

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica

Tesi di Laurea Magistrale
Diagnosi energetica di uno stabilimento industriale



Relatore:

Prof. Salvatore Mancò

Candidato:

Alessandro Seghesio

Anno Accademico 2018/2019

Abstract

In questo elaborato è stata svolta la diagnosi energetica dello stabilimento dell'azienda BITRON, situato a Dronero (CN). BITRON è un'azienda piemontese produttrice di componentistica elettronica al servizio dell'industria dell'automotive, elettrodomestici, caldaie e dell'energia.

Per lo svolgimento dello studio sono state adottate le linee guida fornite da ENEA, riferite al Decreto Legislativo 102/2014.

La prima parte della tesi è composta dallo studio dei consumi con l'obiettivo di individuare le aree più energivore mediante misure e stime. Per l'individuazione lo stabilimento è stato diviso in diversi reparti, e ad ognuno di essi assegnato un certo numero di vettori energetici, relativi al lavoro svolto dal reparto. I vettori energetici utilizzati e trasformati dai reparti derivano dai vettori primari acquistati dall'azienda: energia elettrica, gas naturale e gasolio (i principali).

In conclusione alla prima fase dello studio per ogni vettore energetico primario è stato quantificato il consumo in ogni area, specificandone l'utilizzo.

In seguito all'analisi vengono fornite alcune proposte di efficientamento per le aree e gli utilizzi che richiedono una maggiore quantità di risorse. Tra le indicazioni generali vi sono il rinnovamento dell'impianto di illuminazione, l'isolamento della copertura di un capannone e l'installazione di un impianto fotovoltaico. Altre proposte di miglioramento sono invece rivolte ai processi di produzione, relative alle presse a iniezione per lo stampaggio plastico e all'impianto di refrigerazione del reparto "Plastica".

Sommario

Abstract	1
Sommario	2
1. Introduzione	4
2. Sintesi dei risultati	4
3. Riferimenti normativi	7
4. Dati dell'azienda e del sito produttivo	8
5. Struttura stabilimento	9
5.1. Layout stabilimento	9
5.2. Aree stabilimento	10
5.3. Processo produttivo	11
5.4. Vettori Energetici.....	13
5.4.1. Vettori Primari	14
5.4.2. Vettori Secondari.....	15
5.4.3. Vettori e aree di stabilimento.....	18
6. Analisi consumi.....	19
6.1. Informazioni sul metodo di raccolta dati	20
6.2. Struttura energetica aziendale	21
6.2.1. Consumi globali di stabilimento	21
6.2.2. Analisi statistica	23
6.2.3. Analisi dei consumi nel dettaglio.....	34
6.3. Bilancio energetico	42
6.4. Considerazioni sul consumo energetico.....	48
7. Copertura misurazioni	54
8. Indicatori energetici.....	56
9. Interventi di efficientamento	57
9.1. Interventi già effettuati	57
9.2. Interventi generali di efficientamento	60
9.2.1. Opportunità # 1: Isolamento copertura capannone B	60
9.2.2. Opportunità # 2: Impianto fotovoltaico	61
9.2.3. Opportunità # 3: Illuminazione a LED.....	61
9.3. Interventi di efficientamento relativi ai processi produttivi	62
9.3.1. Opportunità # 1: controllo elettronico frigo.....	62
9.3.2. Opportunità #5: Retrofit su presse a iniezione EHV	66
9.3.3. Opportunità #6: Coibentazione del cilindro di plastificazione	74
10. Conclusioni	85

Allegato A: Profili Orari	87
Allegato B: Modelli di calcolo	91
Allegato C: Indicatori energetici	99
Riferimenti.....	102

1. Introduzione

Il documento riporta la diagnosi energetica applicando il Decreto Legislativo 102/2014. Lo studio è stato effettuato sullo stabilimento di Bitron S.p.A. situato in Via Primo Maggio, 10, 12025, Dronero (CN).

Nella diagnosi vengono analizzati i consumi dello stabilimento al fine di individuare le fasi del processo e le macchine più energivore. Al termine del documento sono stati individuati i possibili recuperi di energia con l'introduzione di tecnologie a elevata efficienza energetica, stimandone la fattibilità tecnico-economica attraverso l'analisi costi-benefici.

Lo studio di diagnosi energetica è stato svolto nel 2019, e rappresenta la prima analisi riguardante lo stabilimento. Il periodo di riferimento su cui è basata l'analisi è l'anno 2018. I sopralluoghi e le campagne di misura necessari alla diagnosi sono stati effettuati periodicamente nel 2018, 2019 e Gennaio 2020.

2. Sintesi dei risultati

Nella presente diagnosi sono stati analizzati i dati di consumo energetico relativi all'anno 2018. Nella seguente figura è riportato un diagramma che sintetizza la struttura energetica aziendale, mettendo in relazione i consumi delle aree dello stabilimento con i diversi impieghi dell'energia. I dati riportati rappresentano l'energia primaria consumata nelle aree più energivore.

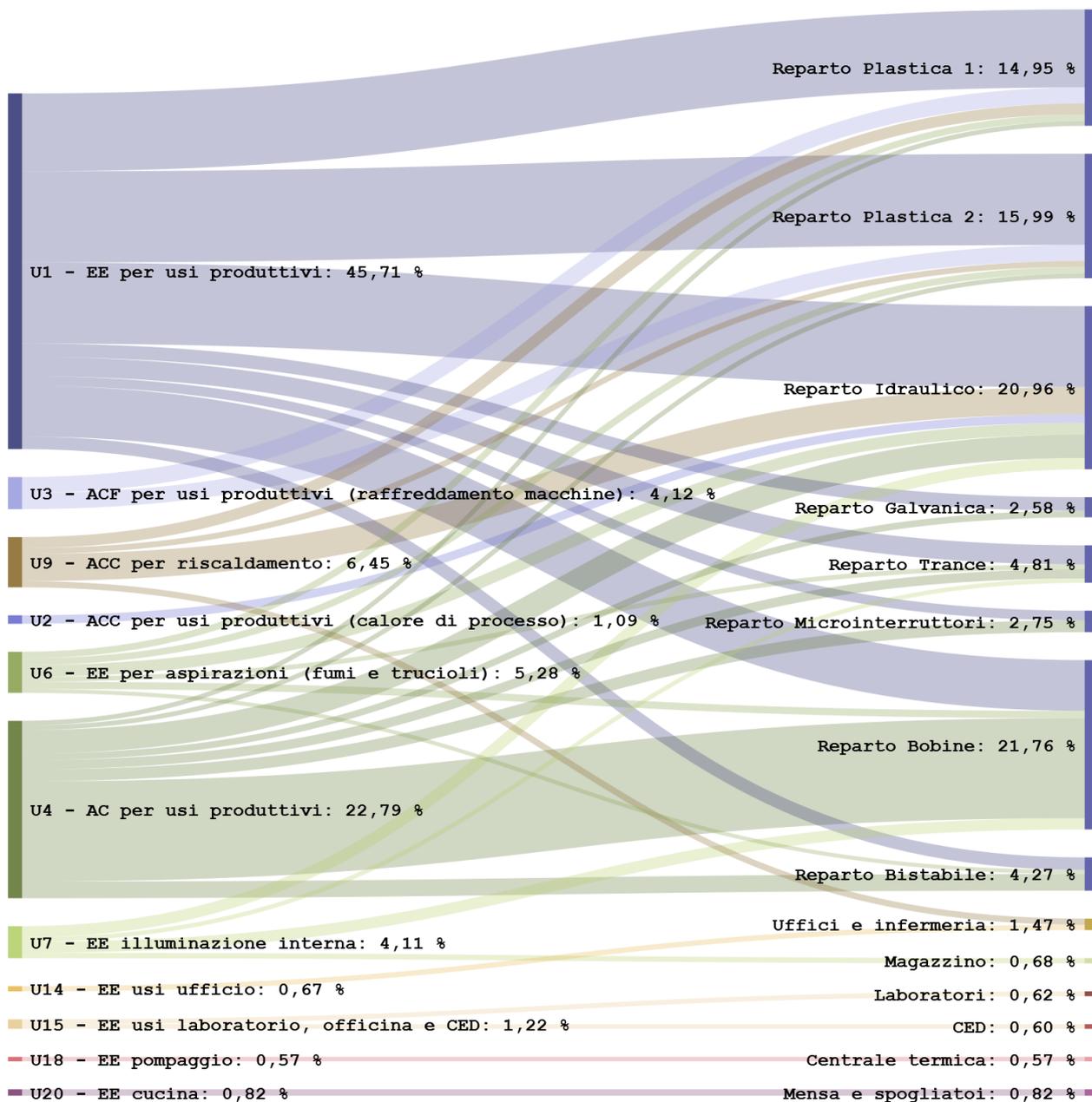


Figura 1: Sintesi dell'analisi dei consumi.

A conclusione della diagnosi energetica sono stati condotti dei calcoli di verifica al fine di fornire suggerimenti su possibili opportunità di miglioramento, anche in relazione ai costi e benefici ed al periodo di ammortamento. Di seguito, in tabella, sono riportati dei confronti tra la configurazione precedente e successiva alla potenziale esecuzione di alcuni interventi proposti.

Opportunità di miglioramento	Tipo investimento
Isolamento della copertura del capannone B	Medio
Impianto fotovoltaico	Alto
Impianto di illuminazione a LED	Basso
Controllo elettronico pompe del gruppo frigo	Basso
Retrofit su presse a iniezione EHV	Basso
Coibentazione cilindro di plastificazione di presse a iniezione	Basso

Tabella 1: Riassunto proposte di efficientamento.

	Consumo energia primaria ante-intervento	Consumo energia primaria post-intervento	Spesa energetica ante-intervento	Spesa energetica post-intervento	Emissione CO2 ante-intervento	Emissione CO2 post-intervento
	TEP/anno	TEP/anno	€/anno	€/anno	ton CO2/ anno	ton CO2/ anno
Totale	1416	1221	1,063,817 €	924,450 €	2288	1939
Risparmio	196		139,366 €		348	
% risparmio	14%		13%		15%	

Tabella 2: Quadro complessivo della spesa attuale e dei potenziali risparmi conseguibili alle proposte di tabella 1

I risultati conseguibili dalle opportunità, approfonditi in seguito, sono riassunti in tabella 3.

	Investimento [€]	Riduzione consumi [TEP]	Risparmio economico [€]	Riduzione emissioni CO2 [ton]	Payback time [anni]	VAN a 5 anni [€]
Opportunità # 1: Isolamento copertura capannone B	108.474 €	56,0	37.359€	134	2,9	37.676 €
Opportunità # 2 : Impianto fotovoltaico	230.600 €	57,0	42.966€	87	4,3	- 11.972 €
Opportunità # 3: Illuminazione a LED	48.256 €	41,5	28.171€	64	1,7	59.464 €
Opportunità #4: Controllo elettronico pompe del gruppo frigo	1.000 €	3,5	2.600€	5	0,4	8.686 €
Opportunità #5 : Retrofit su presse a iniezione EHV	40.000 €	28,7	21.670€	44	1,8	43.077 €
Opportunità #6: Coibentazione cilindro di plastificazione di presse a iniezione	5.800 €	8,8	6.600 €	13	0,9	19.030 €

Tabella 3: Riassunto caratteristiche proposte di efficientamento (investimento, risparmio, tempo di rientro e Valore Attuale Netto).

3. Riferimenti normativi

In seguito, in tabella, viene riportato il riepilogo della legislazione e delle norme tecniche principali ed attinenti agli usi energetici dello stabilimento.

DIRETTIVE EUROPEE			
[1]	Dir. Eu. 2003/87/CE	Direttiva Europea Emission Trading	Istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità e che modifica la direttiva 96/61/CE del Consiglio
[2]	Dir. Eu. 2012/27/UE	Direttiva Europea sull'efficienza energetica	Modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE

Tabella 4: Riepilogo Direttive Europee.

LEGGI ITALIANE			
[3]	Decreto Legislativo 4 aprile 2006, n. 216	Attuazione delle direttive 2003/87 e 2004/101/CE in materia di scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra	-
[4]	D.Lgs 115/08	Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici	Decreto con cui si promuove la diffusione dell'efficienza energetica in tutti i settori.
[5]	D.Lgs 102/14	Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica	In aggiunta l'Allegato 2 che riporta i criteri minimi per gli audit energetici, compresi quelli realizzati nel quadro dei sistemi di gestione dell'energia

Tabella 5: Riepilogo Leggi Italiane.

NORME TECNICHE			
[6]	UNI CEI EN ISO 50001/2011	Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso	E' la versione ufficiale italiana della norma internazionale ISO 50001.
[7]	UNI EN ISO 14001/2004	Sistemi di gestione ambientale – Requisiti e guida per l'uso	La ISO 14001 è una norma internazionale di carattere volontario, applicabile a tutte le tipologie di imprese, che definisce come deve essere sviluppato un efficace Sistema di Gestione Ambientale.
[8]	UNI CEI 11339	Gestione dell'energia. Esperti in gestione dell'energia. Requisiti generali per la qualificazione	E' la norma che stabilisce i requisiti perché una persona possa diventare Esperto in Gestione dell'Energia (EGE): compiti, competenze e modalità di valutazione
[9]	UNI CEI TR 11428/2011	Gestione dell'energia. Diagnosi energetiche: Requisiti generali del servizio di diagnosi energetica	È la norma che regola i requisiti e la metodologia comune per le diagnosi energetiche nonché la documentazione da produrre
[10]	UNI CEI EN 16247/2012		È la norma europea che regola i requisiti e la metodologia comune per le diagnosi energetiche nonché la documentazione da produrre.
[11]	UNI CEI EN 16212/2012	Calcoli dei risparmi e dell'efficienza energetica - Metodi top-down (discendente) e bottom-up (ascendente)	La norma ha lo scopo di fornire un approccio generale per i calcoli dei risparmi e dell'efficienza energetica utilizzando metodologie standard.
[12]	UNI CEI EN 16231/2012	Metodologia di benchmarking dell'efficienza energetica	La norma definisce i requisiti e fornisce raccomandazioni sulla metodologia di benchmarking dell'efficienza energetica.

Tabella 6: Riepilogo Norme Tecniche.

4. Dati dell'azienda e del sito produttivo

Nelle Tabelle sono riportati i dati generali dell'azienda Bitron S.p.A. e dello stabilimento di Dronero preso in oggetto per lo studio di diagnosi energetica (dati presi dal sito internet www.bitron.it).

Denominazione	Bitron S.p.A
Impresa multi-sito	Si
Cod. ATECO 2007	29.31.00
Partita IVA	3731360016
Via	Strada del Portone, 95
Città	Grugliasco
CAP	10095
Provincia	Torino

Tabella 7: Informazioni generali dell'azienda Bitron S.p.a.

Anno fondazione	1971
POD	IT001E00101449
PDR	00881404821520
Latitudine	44,449026
Longitudine	7,394653
Superficie	31500 sq.m. (di cui 13500 sq.m. coperti)
Numero dipendenti	~300
Via	Primo Maggio, 10
Città	Dronero
CAP	12025
Provincia	Cuneo

Tabella 8: Informazioni generali del sito produttivo Unità di Dronero.

5. Struttura stabilimento

Nella figura seguente è riportata l'immagine aerea dello stabilimento Bitron situato a Dronero.

Lo stabilimento si suddivide in tre capannoni:

- Capannone A: presenta reparti produttivi e uffici.
- Capannone B: presenta reparti produttivi e uffici.
- Magazzino esterno.

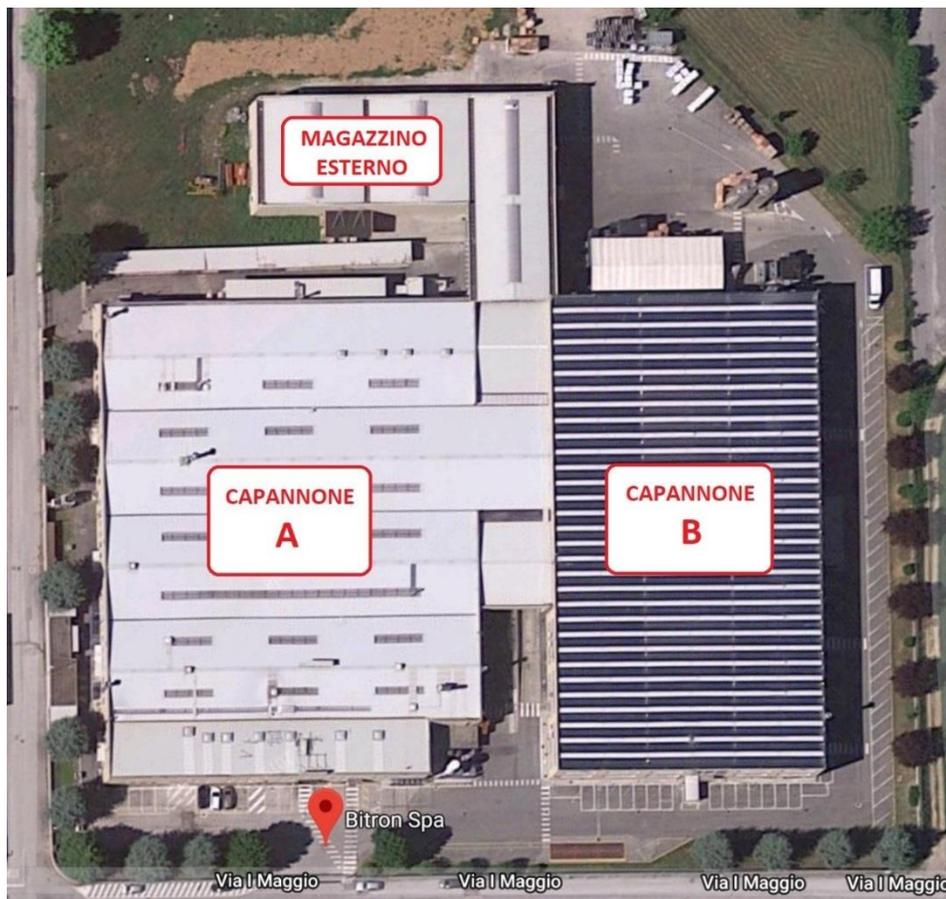


Figura 2: Fotografia aerea del sito produttivo di Dronero (da Google maps).

5.1. Layout stabilimento

In figura si può vedere la suddivisione in aree dello stabilimento. Nei reparti considerati vengono svolte attività che si possono raggruppare in tre macro aree:

- Attività principali: aree legate alla produzione (suddivise per tipologia di prodotto).
- Servizi ausiliari ed accessori: attività a supporto delle attività principali.
- Servizi generali.

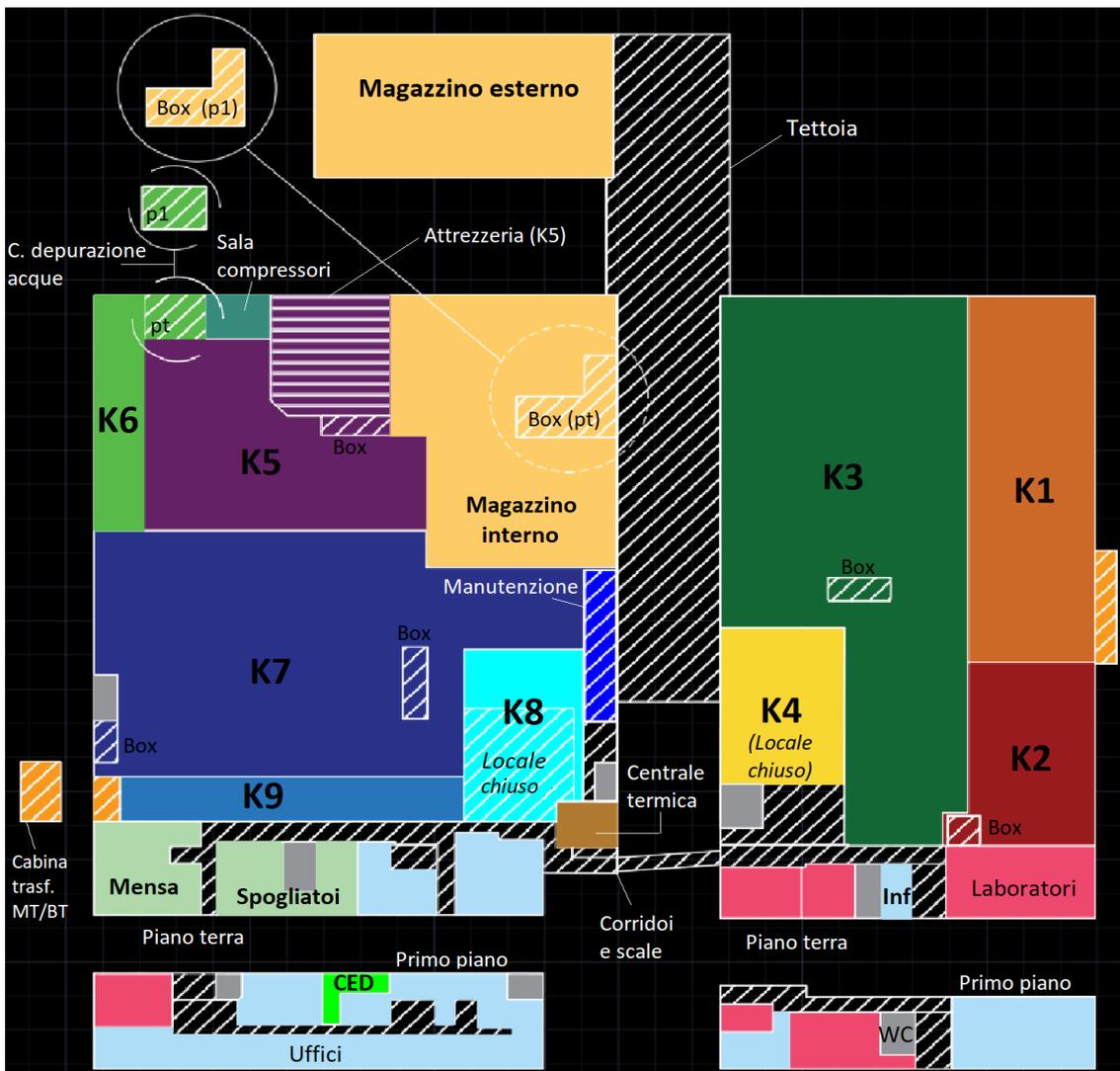


Figura 3: Planimetria dello stabilimento e suddivisione in aree.

5.2. Aree stabilimento

La tabella successiva elenca le aree che costituiscono lo stabilimento, descrivendole in base alla propria funzione all'interno del sistema. Sono inoltre riportate alcune informazioni riguardanti l'area, il volume e le ore annue di attività.

Area	REPARTO	FUNZIONE	Sup. [m ²]	Vol. [m ³]	Ore/anno attività
A1	K1-Plastica	Principale	900	7.027	8.400
A2	K2-Plastica	Principale	480	3.741	8.400
A3	K3-Idraulico	Principale	2.231	17.403	6.800
A4	K4-Microinterruttori	Principale	394	3.073	4.000
A5	K5-Trance	Principale	1.123	6.741	4.000
A6	K6-Galvanica	Principale	290	1.742	7.600
A7	K7-Bobine	Principale	1.970	11.825	6.300
A8	K8-Bistabile	Principale	413	2.479	1.000
A9	K9-HVAC	Principale	306	1.838	2.000
A10	Magazzino	Generale	1.980	13.000	6.000
A11	Centrale termica	Generale	30	150	8.400

A12	Laboratori	Ausiliario	526	1.579	2.000
A13	Uffici e Infermeria	Generale	1.041	2.812	2.000
A14	Officina Manutenzione	Ausiliario	95	567	4.000
A15	Mensa e spogliatoi	Generale	375	1.012	8.400
A16	Piazzale	Generale	-	-	-
A17	CED	Generale	33	89	8.760

Tabella 9: Aree funzionali e caratteristiche operative del 2018.

In tabella sono definiti principali i reparti produttivi dello stabilimento, che dal punto di vista della spesa energetica sono i maggiori consumatori. Di minore importanza è invece il ruolo delle aree che prevedono attività ausiliarie alla produzione ed attività generali.

5.3. Processo produttivo

L'azienda Bitron nel complesso dei suoi stabilimenti produce componenti destinati alle industrie di elettrodomestici, automotive, HVAC (caldaie) ed industrie energetiche.

Nello specifico, nello stabilimento di Dronero la produzione è principalmente costituita da componentistica per l'industria degli elettrodomestici e, in minima quantità, componenti destinati all'integrazione di caldaie. La produzione dunque non si può riassumere in un unico prodotto, ma sono diverse le tipologie poiché ogni reparto produttivo (da K1 a K9 in tabella 9) svolge attività differenti.

Il processo produttivo si può distinguere in diverse fasi di lavorazione:

- Lavorazione meccanica: lavorazione della materia prima, che avviene tramite l'utilizzo di presse orizzontali e verticali, ottenendo semilavorati destinati a reparti interni per ulteriori lavorazioni e l'assemblaggio di un componente finito o alla vendita.
- Lavorazione chimica: lavorazione del semiprodotto per l'attribuzione di proprietà specifiche, utili alla costruzione di certi prodotti finiti.
- Linee di assemblaggio: costruzione del componente finito, partendo da pezzi separati viene assemblato il prodotto finito.

Nel corso delle lavorazioni sono diverse le materie prime utilizzate.

Materia prima	kg
Plastica	1.198.482
Metallo	2.025.563
Resina	182.200
Totale	3.406.245

Tabella 10: Riassunto materie prime utilizzate.

Nella tabella successiva vengono elencate le caratteristiche produttive del sito.

L'unità di misura utilizzata per la contabilità della produzione sono i [kg] di prodotto o l'u.d.m. "pezzo". Tenendo presente che per ogni reparto i prodotti finiti e semilavorati sono di diverse tipologie.

Reparto produttivo	Lavorazione	Prodotti
K1-Plastica	Meccanica	Semilavorati plastici
K2-Plastica	Meccanica	Semilavorati plastici
K3-Idraulico	Assemblaggio	Decalcificatori e Bocce sale
		Valvola Acquastop

K4-Microinterruttori	Assemblaggio	Microinterruttori
K5-Trance	Meccanica	Semilavorati metallici
K6-Galvanica	Chimica	Semilavorati metallici trattati
K7-Bobine	Assemblaggio	Bobine
K8-Bistabile	Assemblaggio	Valvola Bistabile
K9-HVAC	Assemblaggio	Flussostati
		Tubi rame per valvola Bistabile
		Bobine

Tabella 11: Caratteristiche produttive del sito.

Nei reparti K1 e K2 vengono prodotti semilavorati plastici che costituiranno prodotti finiti assemblati in altri reparti dello stabilimento o altrove. I macchinari utilizzati sono le presse di stampaggio plastica orizzontali, in K1 ci sono le presse con tonnellaggio maggiore (fino a 1000 ton), mentre in K2 sono installate le presse con tonnellaggio minore (fino a 160 ton). Le tipologie di pezzi prodotti sono molteplici e variano in funzione della pressa, dello stampo e del materiale plastico utilizzato.

Nel reparto K5 si producono semilavorati metallici tramite l'utilizzo di trance (presse verticali) che incidono dei rotoli di ottone, grazie allo stampo che ha il compito di intagliare il pezzo semilavorato. Questo semiprodotto viene poi trattato nel reparto K6 attraverso una lavorazione chimica (lavaggio, stagnatura e argentatura, ecc).

Nei restanti reparti sono presenti delle linee di assemblaggio "transfer" (con banchi di collaudo) per il montaggio del prodotto finito (componentistica per l'industria degli elettrodomestici e HVAC) a partire dai semiprodotto, con un grande utilizzo di elettricità (per il trasporto, la saldatura, ecc) ed aria compressa.

I prodotti del reparto K3 sono divisi in due famiglie:

- Decalcificatori e Bocce sale per lavatrici: solo linee di assemblaggio e banchi di collaudo.
- Valvola Acquastop per lavatrici: assemblaggio su tre fasi, che sono la composizione del nucleo, la produzione del cavo e la resinatura, che è la fase più complicata e presenta l'utilizzo di un forno ad aria calda (con caldaia dedicata); infine il collaudo.

I reparti K4 e K8 sono locali chiusi e climatizzati per evitare la presenza impurità nel prodotto.

Nel reparto K4 si producono due serie di microinterruttori in due diverse linee di assemblaggio con appositi banchi di collaudo.

Il reparto K8, invece, produce la valvola Bistabile per frigoriferi e prevede un sistema di assemblaggio e collaudo più complicato:

- Fase 1: assemblaggio del nucleo, inserimento tubazioni in rame (da K9) e anello per saldatura.
- Fase 2: assemblaggio corpo centrale (contenitore plastico).
- Fase 3: forno saldo-brasatura con H₂ e N₂, l'anello fuso permette la saldatura tra nucleo e tubazione.
- Fase 4: saldatura laser per legare corpo centrale e nucleo.
- Fase 5: montaggio bobina (da K7).
- Fase 6: collaudo finale della valvola diviso in due fasi; la prima fase per il controllo di perdite interne con aria compressa a elevata pressione; la seconda fase per il controllo di perdite esterne in una campana sottovuoto con l'utilizzo He ad alta pressione.

Il reparto K7 presenta oltre alle linee di assemblaggio anche 5 presse verticali. La catena di montaggio inizia da un componente metallico ottenuto tramite tranciatura nel reparto K5 (dove avviene anche la stagnatura) o direttamente in loco da una pressa verticale predisposta, detto "Faston", impiantato su un rocchetto plastico prodotto nel reparto K2. Successivamente viene avvolto un filo di rame smaltato, dopodichè vengono saldati i capi del filo al "Faston". Passando poi nella pressa di costampaggio, il rocchetto bobinato viene ricoperto da plastica; si conclude il processo produttivo con l'assemblaggio finale e il collaudo.

In totale le tipologie di bobine prodotte sono circa 100.

L'ultimo reparto è il K9 presenta solo linee di assemblaggio, è il reparto con il minor ore di funzionamento annue: per l'industria dell'HVAC vengono prodotti i flussostati per caldaie; inoltre, vengono prodotti tubi di rame utilizzati nel reparto K8 e qualche tipologia di bobina.

5.4. Vettori Energetici

In generale, all'interno di uno stabilimento industriale possiamo classificare i vettori energetici:

- Vettori Primari: rappresentano i vettori acquistati dalla "rete pubblica" di distribuzione, come l'energia elettrica, il gas naturale, gasolio e propano (nel caso di Dronero). Tali vettori energetici possono venire direttamente usati dalle utenze o essere trasformati in vettori secondari.
- Vettori Secondari: vettori energetici prodotti internamente nello stabilimento dalla conversione di vettori primari o vettori autoprodotti; vengono direttamente utilizzati all'interno dello stabilimento. Tra questi vettori sono da considerare l'acqua calda sanitaria, l'acqua calda e fredda, l'aria calda e fredda, e l'aria compressa.
- Autoproduzioni: input energetici prodotti internamente allo stabilimento, destinati al consumo diretto, alla conversione in vettori secondari o alla cessione in rete. Produzione attraverso impianti fotovoltaici, flussi termici di produzione recuperati, o da altre fonti. Per quanto riguarda lo stabilimento preso in analisi, non è presente alcuna autoproduzione interna.

Lo schema nella figura seguente semplifica questa classificazione.

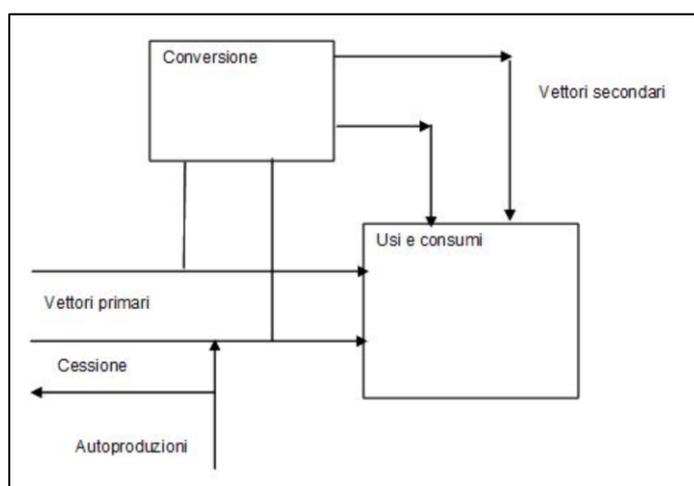


Figura 4: Schema generale dei vettori energetici in uno stabilimento industriale (immagine presa da <http://www.energicna.it/i-vettori-energetici/>).

Nei paragrafi successivi viene fatto un censimento dei vettori primari e secondari presenti nello stabilimento oggetto di diagnosi, e vengono incrociati con le aree dove sono utilizzati.

5.4.1. Vettori Primari

In questo paragrafo verranno elencati tutti i vettori energetici primari in input nello stabilimento.

- **Energia Elettrica (MT, media tensione)**

All'interno dello stabilimento viene distribuita energia elettrica in bassa tensione (BT) e dunque deve essere considerata come vettore energetico secondario, in quanto è il prodotto dell'azione svolta dai trasformatori installati nel sito sul vettore primario: l'energia elettrica MT. L'energia elettrica MT proveniente dalla rete alimenta lo stabilimento da un punto di fornitura (POD), come riassunto in tabella.

Vettore energetico	Energia Elettrica MT
Sigla	EE-MT
Punto di consegna	IT001E00101449
Potenza disponibile	1.320 kW
Voltaggio	1.500 V MT
Fornitore	EDISON
Distributore	E-DISTRIBUZIONE
Tipologia prezzo	Multi-oraria (con contatore orario)
U.d.m.	kWh

Tabella 12: Caratteristiche del POD.

- **Gas Naturale**

Il gas naturale che alimenta lo stabilimento arriva in sito nel punto di riconsegna (PDR); in tabella ne sono riassunte le caratteristiche.

Vettore energetico	Gas Naturale
Sigla	GAS
Punto di riconsegna	00881404821520
Capacità Giornaliera	1.400
Fornitore	EDISON
Cabina REMI	34263400
Distributore	Italgas
U.d.m.	Sm ³

Tabella 13: Caratteristiche del PDR.

- **Gasolio**

Il gasolio acquistato serve ad alimentare i mezzi aziendali.

Vettore energetico	Gasolio
Sigla	GASOLIO
Fornitore	Vari
U.d.m	kg

Tabella 14: Caratteristiche del gasolio.

- **GPL (Propano)**

Il GPL acquistato viene utilizzato nel reparto di tranciatura (K5) per il processo di stagnatura.

Vettore energetico	GPL/Propano
Sigla	GPL
Peso Bombole	50 kg
Fornitore	Vari
U.d.m.	kg

Tabella 15: Caratteristiche del propano.

5.4.2. Vettori Secondari

I vettori secondari sono ottenuti dalla conversione dei vettori primari acquistati; di seguito verranno elencati.

- **Energia elettrica BT**

Come indicato precedentemente l'energia elettrica utilizzata nello stabilimento è in bassa tensione; viene impiegata per usi produttivi, ausiliari e generali.

Vettore secondario	Energia Elettrica BT
Sigla	EE-BT
Vettore primario	Energia Elettrica MT
Caratteristiche	Per ogni capannone è presente una cabina di trasformazione
U.d.m.	kWh

Tabella 16: Caratteristiche dell'energia elettrica in BT.

- **Aria compressa**

L'aria compressa è utilizzata per scopi produttivi in tutti i reparti, in particolare nelle linee di assemblaggio. Viene prodotta tramite compressori che portano l'aria a circa 7 bar e degli essiccatori che hanno il compito di deumidificare e raffreddare l'aria compressa.

Vettore secondario	Aria compressa
Sigla	AC
Vettore primario	Energia Elettrica BT
Caratteristiche	<p>Nella sala compressori sono presenti tre compressori che producono aria compressa a 7 bar, e due essiccatori:</p> <ul style="list-style-type: none"> • GA160 da 160 kW per AC a 7,5 bar del 1998 (in sostituzione nel 2019) • GA160 da 160 kW per AC a 7,5 bar del 2007 <p>Entrambi non modulanti, ma con funzione di baseload, alternativi, attivi circa 4000 ore/anno ciascuno.</p> <ul style="list-style-type: none"> • GA160 da 90 kW per AC a 13 bar del 2010, con inverter <p>Compressore modulante, funzionante circa 7.000 ore/anno.</p> <p>Un compressore dedicato (LT20-30UV BM 400/3/50 CE) nel reparto K8 per la produzione di AC a 20 bar per il collaudo finale, e relativo essiccatore; funzionante 500 ore/anno.</p>
U.d.m.	Sm ³

Tabella 17: Caratteristiche dell'aria compressa.

- **Acqua calda**

L'acqua calda utilizzata per usi generali (riscaldamento) e per usi produttivi nei reparti idraulico (K3) e galvanica (K6).

Vettore secondario	Acqua calda
Sigla	ACC
Vettore primario	Gas naturale
Caratteristiche	<p>Nel locale "Centrale Termica" sono installate due caldaie per usi generali</p> <ul style="list-style-type: none"> • FINTERM AR-BT 500 da 290-580 kW_{th} (in funzione fino ad inizi 2019) con un rendimento del 92% • De Dietrich F-67580 da 350-550 kW_{th} (in funzione da Gennaio 2019) con un rendimento superiore al 98% <p>La prima viene oggi utilizzata come backup. Per il calore di processo sono invece utilizzate due caldaie a condensazione da 30 kW_{th} con un rendimento del 96,3%</p>
U.d.m.	kWh _{th}

Tabella 18: Caratteristiche dell'acqua calda.

- **Acqua Calda Sanitaria**

L'acqua calda sanitaria è prodotta dalla centrale termica.

Vettore secondario	Acqua calda sanitaria
Sigla	ACS
Vettore primario	Gas naturale
U.d.m.	kWh _{th}

Tabella 19: Caratteristiche dell'acqua calda sanitaria.

- **Acqua fredda**

L'acqua fredda è prodotta da impianti frigoriferi per la produzione di freddo di processo, ad esempio per il raffreddamento dello stampo e dell'olio delle presse, e per il raffrescamento estivo degli uffici e laboratori (uso generale).

Vettore secondario	Acqua fredda
Sigla	ACF
Vettore primario	Energia Elettrica BT
Caratteristiche	<p>Per freddo di processo, nei reparti di stampaggio plastica K1 e K2, sono installati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Due unità frigo per il raffreddamento degli stampi delle presse (72,5 kW e 43,5 kW potenza globale installata), con COP di 5,4 e 5,0. • Una batteria adiabatica per il raffreddamento degli stampi in inverno (preraffredda l'acqua), da 18 kW di potenza installata complessiva (COP=12). • Una batteria adiabatica per il raffreddamento dell'olio delle presse, da 60 kW di potenza installata totale. <p>Nei reparto di tranciatura (K5) sono installate 4 unità frigorifere per raffreddare le pinze saldatrici montate su altrettante trince (presse verticali elettriche). Nel reparto bobine (K7) sono presenti 4 frigoriferi dedicate al raffreddamento delle presse installate idrauliche. Si tratta di chiller di piccola taglia. Infine sono installati:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Un frigorifero da 82 kW_{fr} per il reparto galvanica (K6), con COP di 6,1. • Un frigorifero da 28,7 kW_{fr} per raffreddare le saldatrici del reparto bobine (K7), con COP di 5,4. <p>Per il raffrescamento estivo è installato un frigo da 61,1 kW_{fr}, con un COP equivalente di 2,1.</p> <p>I frigoriferi e la batteria adiabatica per il raffreddamento degli stampi sono di marca Industrial Frigo, mentre la batteria adiabatica per il raffreddamento dell'olio delle presse è di marca Frigel.</p>
U.d.m.	kWh _{fr}

Tabella 20: Caratteristiche dell'acqua fredda.

• Aria Calda

L'aria calda è utilizzata per il riscaldamento di locali con condizionatori dedicati.

I condizionatori di seguito elencati svolgono la doppia funzione estiva e invernale (producono sia aria fredda sia aria calda), dove COP indica l'efficienza invernale e EER quella estiva.

Vettore secondario	Aria calda
Sigla	AIRC
Vettore primario	Energia Elettrica BT
Caratteristiche	<p>I condizionatori di maggiore potenza sono quelli dedicati alla climatizzazione dei locali produttivi chiusi, reparto microinterruttori (K4) e bistabile (K8):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reparto K4 : due condizionatori da 27 kW_{th} (COP=3,3) • Reparto K8 : due condizionatori da 16 kW_{th} (COP=3,4) <p>Per Box di reparto, uffici e laboratori sono installati nove condizionatori da potenza installata inferiore (da 4 a 18 kW_{th}), con COP compreso tra 3,3 e 4,2.</p>
U.d.m.	kWh _{th}

Tabella 21: Caratteristiche dell'aria calda.

• Aria fredda

L'aria fredda viene prodotta dai medesimi condizionatori elencati in tabella 17 per il raffrescamento dei locali dedicati.

Vettore secondario	Aria fredda
Sigla	AIRF
Vettore primario	Energia Elettrica BT
Caratteristiche	<ul style="list-style-type: none"> • Reparto K4 : due condizionatori da 22 kW_{fr} (EER=2,6) • Reparto K8 : due condizionatori da 13,4 kW_{fr} (EER=3,0) <p>Per Box di reparto, uffici e laboratori viene prodotta una potenza fredda compresa tra 3 e 15 kW_{fr}, con EER compreso tra 3,0 e 4,0.</p>
U.d.m.	kWh _{fr}

Tabella 22: Caratteristiche dell'aria fredda.

5.4.3. Vettori e aree di stabilimento

I vettori energetici precedentemente descritti vengono distribuiti all'interno del sito tramite una rete interna; nella seguente tabella viene mostrato quali aree sono alimentate da specifici vettori primari e secondari, incrociando aree e vettori energetici.

Area\Vettore	Descrizione	ACC	ACF	ACS	AIRC	AIRF	AC	EE-BT	GAS	GASOLIO	GPL/PROPANO
A1	K1-Plastica	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-
A2	K2-Plastica	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-
A3	K3-Idraulico	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-
A4	K4-Microinterruttori	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-
A5	K5-Trance	X	X*	-	X	X	X	X	-	-	X
A6	K6-Galvanica	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-
A7	K7-Bobine	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-
A8	K8-Bistabile	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-
A9	K9-HVAC	X	-	-	-	-	X*	X	-	-	-
A10	Magazzino	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-
A11	Centrale termica	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-
A12	Laboratori	X	X	-	X	X	X	X	-	-	-
A13	Uffici e Infermeria	X	X	X	-	-	-	X	-	-	-
A14	Officina Manutenzione	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-
A15	Mensa e spogliatoi	X	-	X	-	-	-	X	X	-	-
A16	Piazzale	-	-	-	-	-	-	X	-	X	-
A17	CED	-	-	-	X	X	-	X	-	-	-

Tabella 23: Distribuzione dei vettori energetici all'interno dello stabilimento.

In tabella la "X" indica che quell'area è alimentata dal vettore con cui è incrociata; mentre "X*" determina che l'area è alimentata dal vettore incrociato in tabella, ma il consumo del vettore in quell'area è trascurabile rispetto al consumo globale del vettore.

6. Analisi consumi

L'azienda oggetto di studio non rientra nella classificazione normativa di azienda energivora.

La diagnosi energetica, svolta secondo le prescrizioni del Decreto Legislativo n°102 del 4 luglio 2014, è uno strumento per analizzare il quadro della gestione energetica di un'attività (industriale, servizio, primario e terziario) e rappresenta una valutazione sistematica di come venga utilizzata l'energia dal punto in cui essa viene acquistata al suo punto di utilizzo finale.

La diagnosi energetica descrive come l'energia viene gestita e consumata, fornendo inoltre alcune opportunità di risparmio energetico e conseguenti informazioni sulla fattibilità economica degli interventi proposti con un'analisi costi-benefici.

Di seguito vengono elencati i punti chiave dell'analisi:

- Come e dove l'energia entra nello stabilimento;
- Come l'energia si ripartisce e dove viene utilizzata;
- Come si trasforma tra i punti d'ingresso ed i suoi utilizzi;
- Come può essere utilizzata in modo più efficace ed efficiente;
- Quali possibili interventi possono essere vantaggiosi al fine di un risparmio energetico.

Nella figura successiva viene schematizzato il processo del presente audit energetico.

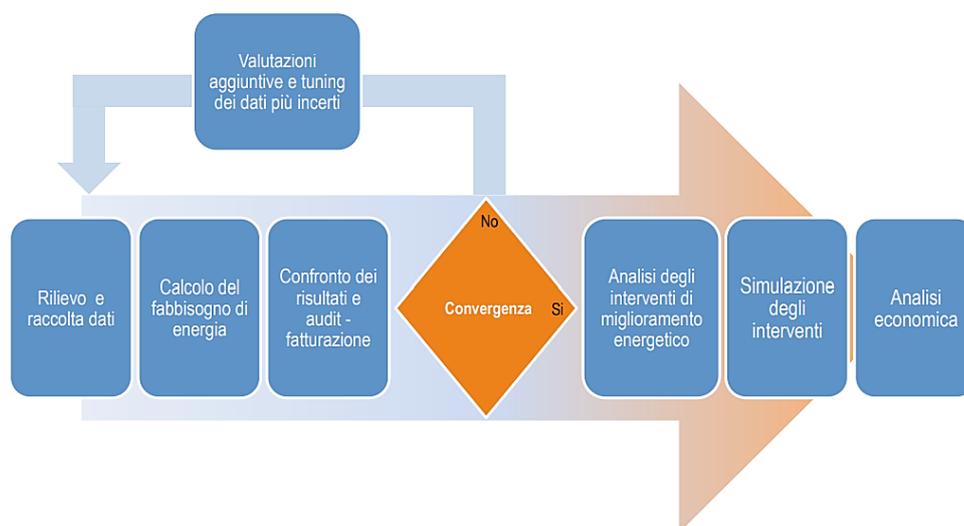


Figura 5: Schema semplificato della diagnosi energetica.

L'analisi energetica parte dalla raccolta dei dati di maggior interesse e rappresentativi al fine di ottenere indicazioni generali sulle modalità di consumo energetico.

Sono considerati i dati di acquisto dei vettori energetici primari dello stabilimento. Successivamente l'analisi è andata maggiormente nel dettaglio suddividendo ogni vettore energetico nei relativi usi: principali, ausiliari e generali, e quindi incrociandoli con le aree dello stabilimento alimentate.

Per quantificare ogni uso energetico, per ogni reparto, sono state effettuate delle campagne di misura e letture di misuratori fissi o, laddove non è stato possibile, sono state sviluppate delle stime sfruttando la documentazione disponibile (schede tecniche, targhe macchinari, ecc.) integrata con valori di riferimento disponibili in letteratura. Viene così prodotta una mappatura dello stabilimento da un punto di vista del consumo energetico.

In generale, l'analisi è considerata conclusa quando i consumi individuati rappresentano una quota percentuale superiore al 95% dei consumi reali per singolo vettore.

Infine si identificano delle proposte di efficientamento degli impianti, al fine di ridurre la spesa energetica: per ogni proposta viene valutata la fattibilità tecnico-economica con l'analisi costi-benefici.

6.1. Informazioni sul metodo di raccolta dati

I dati raccolti per l'analisi globale dei singoli vettori energetici sono derivati dalle letture orarie e giornaliere dei contatori generali al POD e al PRD per il 2018, e dalle fatture per il gasolio e il GPL. La presente analisi è redatta utilizzando le unità di misura del sistema internazionale indicate da ENEA nelle Linee guida per la stesura del rapporto di diagnosi.

Vettore energetico	U.d.m.
Energia Elettrica MT	kWh _{el}
Gas naturale	Sm ³
Gasolio	kg
GPL	kg
Calore	kWh _{th}
Freddo	kWh _{fr}
Consumo energia primaria	TEP

Tabella 24: Unità di misura utilizzate nella diagnosi.

Per l'analisi dettagliata sono state effettuate campagne di misura per brevi periodi (circa una settimana per ogni misurazione) su diversi quadri di alimentazione, con l'utilizzo di una pinza amperometrica. In altri casi sono state fatte delle letture puntuali a misuratori in continuo per alcuni giorni, in orari rappresentativi. Riassumendo, la documentazione completa utilizzata comprende:

- Planimetria generale dello stabilimento;
- Layout di processo;
- Elenco vettori e dei servizi energetici;
- Dati estratti da contatori dell'energia elettrica al POD e del gas naturale al PDR;
- Bollette energia elettrica, gas naturale, gasolio e GPL;
- Dati estratti da campagne di misurazione relative ad un breve periodo;
- Dati estratti da misuratori in continuo;
- Schede tecniche di utenze di maggior rilevanza sul consumo energetico;
- Dati di processo.

I fattori di conversione utilizzati nello studio sono elencati nella tabella seguente.

Vettore energetico primario	U.d.m.	PCI [kJ/kg]	Fattore di conversione TEP [TEP/Udm]	Fattore di conversione € [€/Udm]	Fattore di conversione ton CO ₂ [ton CO ₂ /Udm]
EE-MT	kWh	-	0,000187	0,14	0,000287
GAS	Sm ³	47.200	0,000825	0,55	0,001975
GASOLIO	kg	42.611	0,001018	1,77	0,003173
GPL	kg	46.000	0,001099	1,50	0,002850

Tabella 25: Riepilogo fattori di conversione.

Come riferimenti sono stati presi:

- Per il PCI e i fattori di conversione TEP la circolare MISE del 18 dicembre 2014 e la Gazzetta ufficiale della repubblica italiana. Per il gas naturale si considera il fattore in Sm³ indicato nel foglio elettronico di riepilogo ENEA (rif. 2019-05-09_rev12 - Excel riepilogo dati – Industriale).
- Per la conversione in € si fa riferimento al costo medio sostenuto dall'azienda per il periodo di riferimento.

Sono indicati i giorni lavorativi/mese e la suddivisione del consumo di energia reattiva secondo le 3 fasce orarie come da delibera AEEG 181/2006 (applicate su tutti i contatori orari):

- F1: Ore di punta - Nei giorni dal Lunedì al Venerdì dalle ore 8.00 alle ore 19.00.
- F2: Ore intermedie - Nei giorni dal Lunedì al Venerdì: dalle ore 7.00 alle ore 8.00 e dalle ore 19.00 alle ore 23.00. Il Sabato dalle ore 7.00 alle ore 23.00.
- F3: Ore fuori punta.

Secondo le fasce orarie Peak/Off-Peak (applicabili solo a contatori orari con rilievo della curva oraria):

- Peak: Ore di punta - Nei giorni dal Lunedì al Venerdì dalle ore 8.00 alle ore 20.00.
 - Off-Peak: Ore fuori punta.
- Per i fattori di conversione in tonnellate di CO₂: dalla "Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale ISPRA" il foglio excel "Fattori emissione produzione e consumo elettricità 2018"; e da <http://www.energiolombardia.eu> "SIRENA".

6.2. Struttura energetica aziendale

In questa sezione sono descritti i dati generali di consumo del 2018 in TEP, e di produzione industriale in kg, espressa come consumo di materie prime plastiche e metalliche.

Consumo energetico globale 2018 [TEP]	1.416
Produzione industriale (consumo di materie prime plastiche e metalliche) 2018 [kg]	3.406.245

Tabella 26: Dati di consumo e produzione globale-Livello A.

6.2.1. Consumi globali di stabilimento

Nella seguente figura viene definita la struttura energetica dello stabilimento (Livello B nei criteri ENEA).

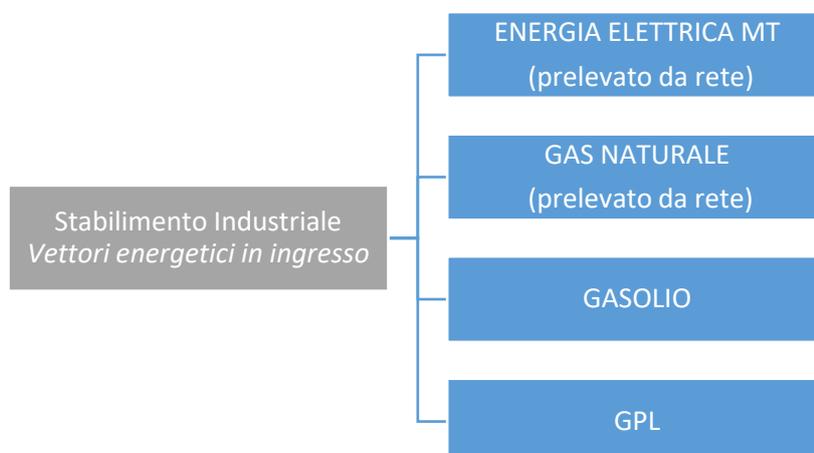


Figura 6: Struttura energetica aziendale - Livello B.

In tabella sono riportati i dati di acquisto dei vettori energetici primari (consuntivo 2018).

Vettore energetico primario	U.d.m	Quantità annua acquistata [U.d.m./anno]	Quantità annua acquistata [TEP/anno]	Spesa annua [€/anno]
EE-MT	MWh	6.891	1.289	971.631
GAS	Sm ³	146.163	121	80.390
GASOLIO	kg	6.481	6,6	11.497
GPL	kg	200	0,2	300

Tabella 27: Dati d'acquisto dei vettori energetici primari del 2018.

La spesa maggiore è stata destinata all'acquisto dell'energia elettrica (circa il 90%), in quantità minore è la spesa per il gas naturale e per il gasolio, mentre è trascurabile l'acquisto del GPL/propano. In figura, il grafico a torta riassume i consuntivi del 2018.

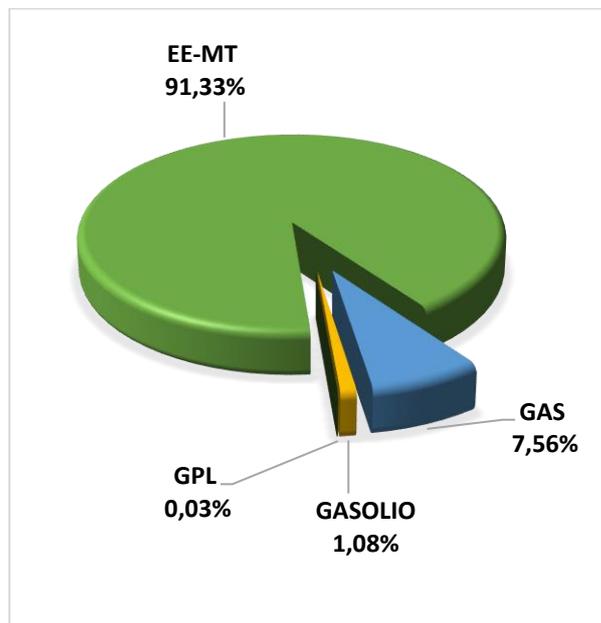


Figura 7: Spesa energetica percentuale del 2018 dello stabilimento (% del costo totale in €).

Di seguito sono riportati i profili orari forniti dalla lettura dei contatori al POD e PDR.

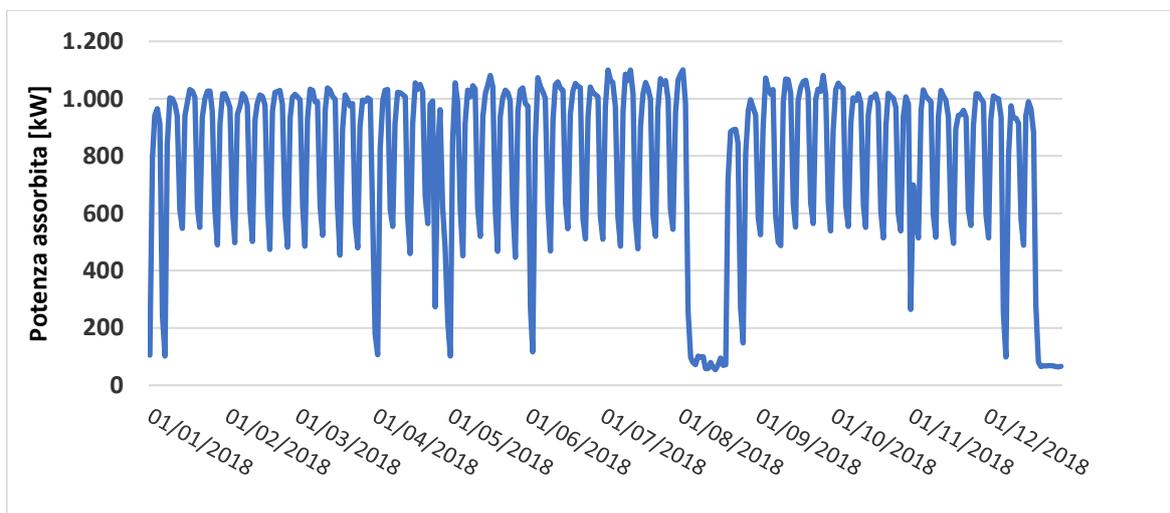


Figura 8: Profilo della potenza media giornaliera al POD 2018 (potenza media giornaliera ottenuta da letture orarie).

Dal grafico si nota la variazione settimanale dell'assorbimento elettrico: nei giorni feriali è presente il massimo assorbimento, superiore a 1000 kW medi giornalieri; nel fine settimana, durante i quali il carico di lavoro diminuisce di oltre il 50%, la potenza media giornaliera è di circa 500 kW. Nei giorni di chiusura, la produzione si azzerava, ma è comunque presente un consumo minimo (la potenza assorbita è di circa 100 kW) dovuto alle luci notturne, al quadro antincendio, alla costante alimentazione per il mantenimento della resina in condizione di essere lavorata, all'accensione del gruppo di salvataggio dell'energia elettrica per evitare blackout e ai server. Inoltre si osserva che durante i mesi estivi (principalmente a Luglio) la potenza media raggiunge un picco, a causa della maggiore richiesta dei frigo e dei condizionatori.

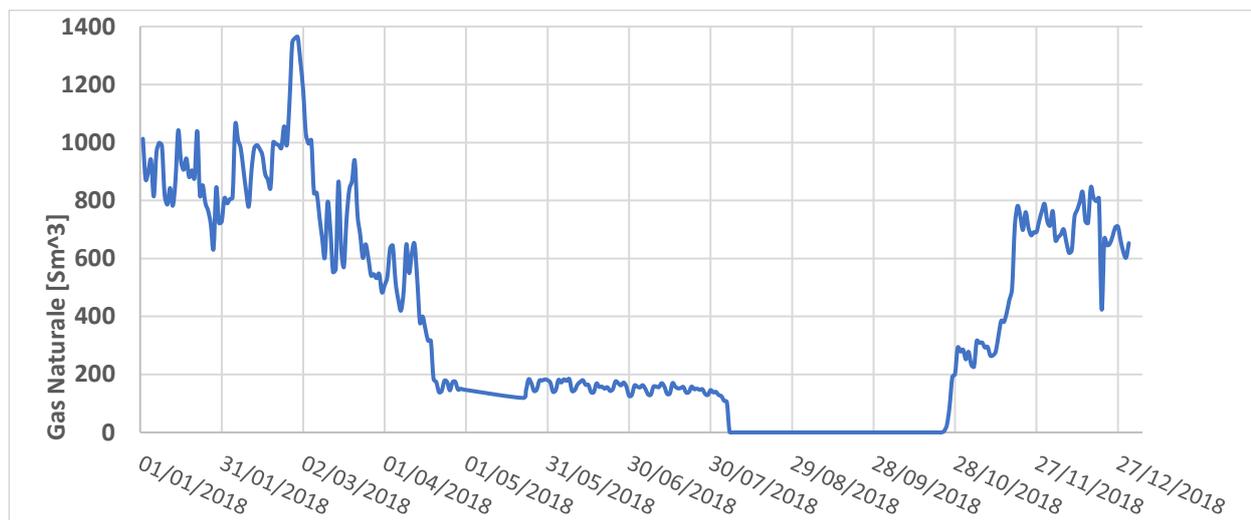


Figura 9: Profilo giornaliero di prelievo gas al PDR, in Sm³ (2018). Non sono indicate le letture giornaliere di maggio, agosto e settembre (non pervenute dal distributore locale).

Prima di analizzare nel dettaglio come i consumi si differenziano per aree e usi, si studia a livello macroscopico quali fattori possono influenzare e come influenzano la spesa energetica, dei due vettori energetici principali: elettricità e gas naturale.

6.2.2 Analisi statistica

Con l'analisi statistica dei consumi di elettricità e gas naturale vengono introdotti gli energy driver. Gli energy driver sono le variabili che possono influenzare i consumi. Nel caso dell'energia sono i pezzi prodotti e i turni lavorati, mentre per il gas naturale, utilizzato prevalentemente per il riscaldamento dei reparti e degli uffici (solo in minima parte per il calore di processo), la variabile è relativa alla temperatura esterna: i gradi giorno.

➤ **POD**

- Energy driver: Produzione (Pezzi mensili)

Nella tabella successiva sono riportati, in termini temporali, il consumo elettrico dell'intero stabilimento e i pezzi prodotti totali nel 2018 e 2019. I prodotti dell'azienda in questione sono molteplici e diversi tra di loro, ma in questo capitolo non verranno differenziati perché si tratta di un'analisi a livello macroscopico.

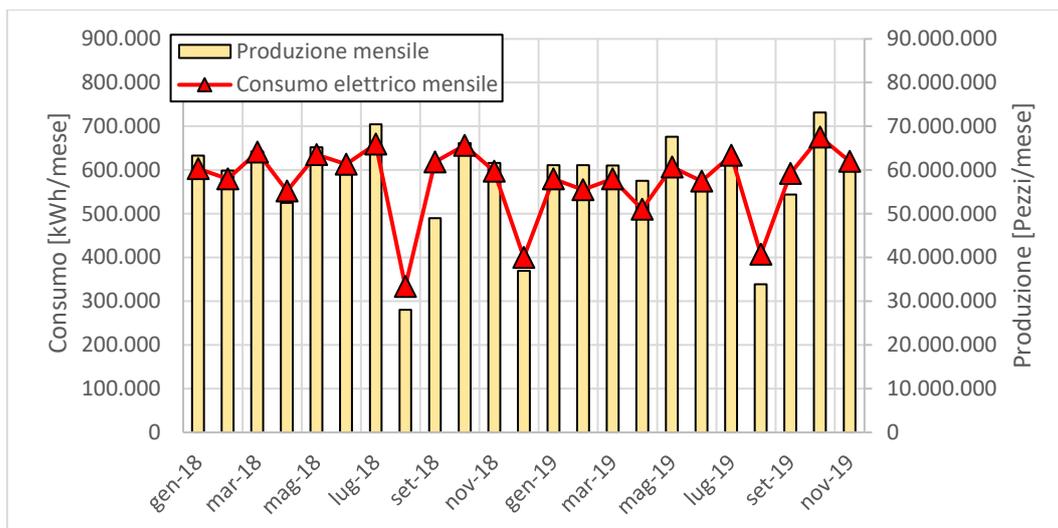


Figura 10: Grafico del consumo elettrico mensile con relativi pezzi prodotti.

Per studiare se la variabile scelta sia un buon indicatore dei consumi si utilizza il grafico “Consumo elettrico in relazione con la Produzione”.

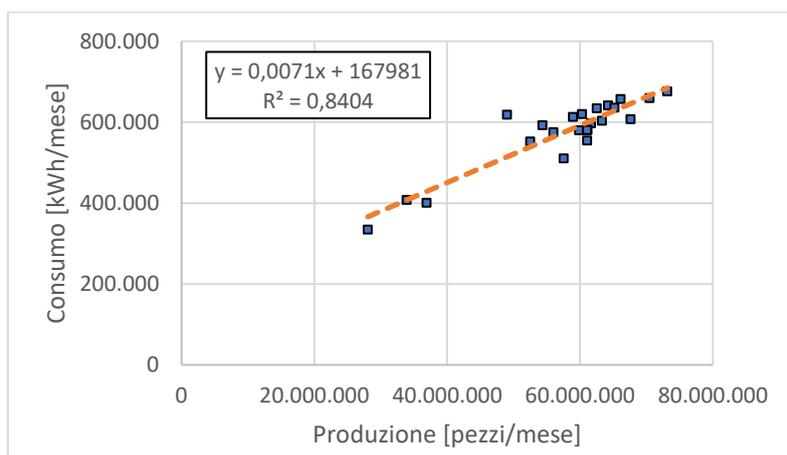


Figura 11: Legame lineare tra consumo e produzione

Come è visibile in figura, i dati tendono ad allinearsi su una retta, la caratteristica che riporta il consumo elettrico (variabile dipendente) in funzione della produzione (variabile indipendente).

$$En. Elettrica = 0,0071 * Produzione + 167.981 \quad (1.1)$$

La regressione tra l'energy driver e i consumi energetici deve essere avvalorata dall'analisi statistica per essere significativa e quindi per essere assunta a modello di riferimento del sistema in esame. Questo perché le analisi successive (future) si baseranno su questo modello trovato, quindi la probabilità che i dati misurati rappresentino effettivamente il comportamento del sistema deve essere elevata.

Per lo studio di significatività della retta e della bontà della correlazione delle variabili, viene utilizzata la funzione “Analisi dati” di Excel; di seguito sono riportati i risultati.

Statistica della regressione	
R multiplo	0,92
R al quadrato	0,84
R al quadrato corretto	0,83
Errore standard	35434,9
Osservazioni	23

ANALISI VARIANZA					
	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	1	1,38893E+11	1,38893E+11	110,6161725	7,95139E-10
Residuo	21	26368291783	1255632942		
Totale	22	1,65262E+11			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95.0%	Superiore 95.0%
Intercetta	167981,12	39403,81341	4,26306762	0,000346374	86036,41	249925,8
Variabile	0,0070646	0,000671707	10,51742233	7,95139E-10	0,005668	0,008462

Tabella 28: Analisi statistica con "Analisi Dati – Excel".

La correlazione tra le due variabili è piuttosto elevata: il fattore di determinazione R^2 è maggiore dell'80%. Mentre i coefficienti della retta di regressione sono significativi: sia l'intercetta che il fattore moltiplicativo della variabile. I valori di significatività sono inferiore al 5%, in caso contrario l'analisi statistica non avrebbe potuto escludere intercetta e coefficiente variabile nulli. In ultima analisi i coefficienti si trovano all'interno dell'intervallo di fiducia al 95%.

La caratterizzazione energetica ottenuta può tuttavia non rappresentare al meglio il sistema e può risultare imprecisa, nonostante le due variabili siano correlate e la retta di regressione sia significativa, se il sistema sta cambiando nel tempo. Per trovare la caratteristica che dovrà poi essere adottata in futuro per la stima dei consumi (utile per la costruzione del budget energetico) si devono rispettare due requisiti: stabilità e attualità. Stabilità significa che i coefficienti non cambiano nel tempo e per attualità si intende di far riferimento al periodo più recente in cui il sistema è stabile.

Per aumentare la precisione e la l'affidabilità della caratterizzazione si utilizza la tecnica del CUSUM (somme cumulate dei residui). Dove lo scarto residuo ("e") è la differenza tra il valore di consumo effettivo e il valore previsto.

$$\text{Valore previsto: } \hat{Y} = b_0 + b_1 * X \quad (1.2)$$

$$\text{Valore effettivo: } \hat{Y} = b_0 + b_1 * X + e \quad (1.3)$$

Adottando il metodo dei minimi quadrati, i residui avranno media nulla, perché appartengono ad una distribuzione di probabilità normale con media nulla.

Nella figura successiva viene riportato il CUSUM.

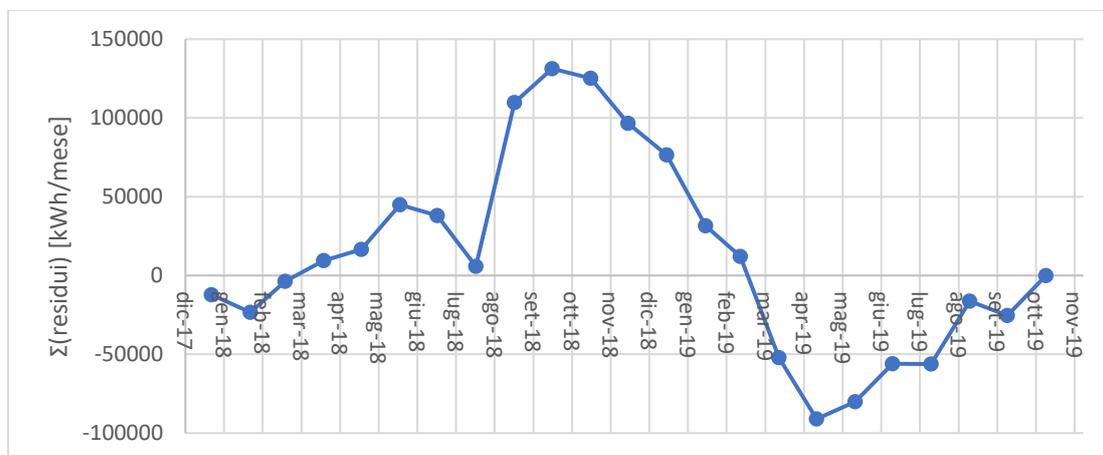


Figura 12: CUSUM energia elettrica.

Per analizzare i cambiamenti del sistema si utilizza la carta di controllo, che confronta le singole letture rispetto alla media generale delle osservazioni, stabilendo che il processo è fuori controllo quando la deviazione rispetto alla media supera determinati limiti. Con il fuori controllo il sistema cambia il modello previsionale, e di conseguenza anche i coefficienti della curva di regressione.

La carta di controllo utilizzata è il CUSUM tabulare. Per la sua costruzione vengono accumulate le somme dei residui in due statistiche unilaterali:

$$C_i^+ = \max(0, e_i - (\bar{e} + K) + C_{i-1}^+) \quad (1.1)$$

$$C_i^- = \max(0, (\bar{e} - K) - e_i + C_{i-1}^-) \quad (1.2)$$

Dove $C_0^+ = C_0^- = 0$ e la media dei residui (" \bar{e} ") è nulla.

Un importante parametro per l'analisi è la deviazione standard dei residui nel periodo di riferimento preso in considerazione (periodo di setup):

$$s_e = \frac{\overline{MR}}{1.128} \quad (1.3)$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=2}^{n(\text{periodo di setup})} |e_i - e_{i-1}|}{n-1} \quad (1.4)$$

Da s_e derivano due valori fondamentali per l'analisi:

- Valore di riferimento del CUSUM: $K = 0,5 * s_e$
- Limite della carta: $H = h * s_e$, con $h = 4 \div 5$. Un elevato valore di H permette al sistema di non incorrere in falsi allarmi (frequenti fuori controllo), mentre un valore basso permette un'elevata tempestività nel segnalare un fuori controllo.

Di seguito sono studiati i cambiamenti nel tempo con la carta di controllo; tutte le caratteristiche individuate nei diversi periodi di setup possiedono coefficienti significativi. Lo studio del fuori controllo può essere fatto monitorando il periodo successivo a quello di setup, o analizzando il periodo precedente a quello di riferimento.

- Primo periodo

Periodo di setup: da Gennaio 2018 a Luglio 2018. Monitorando il periodo successivo si osserva che a Agosto il sistema è ancora in controllo, il fuori controllo avviene a Settembre.

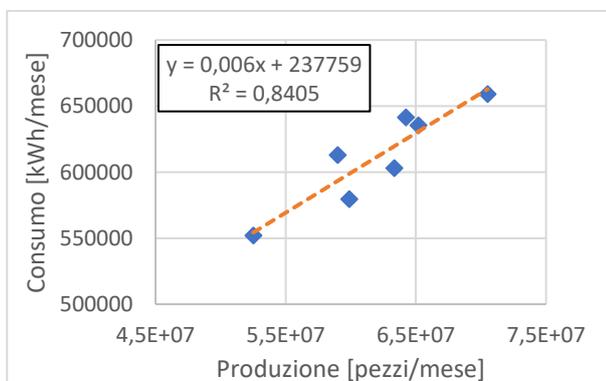


Figura 13: Legame tra consumo e produzione nel primo periodo.

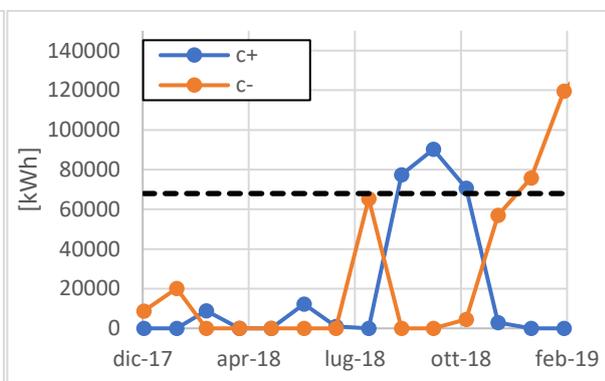


Figura 14: Carta di controllo del primo periodo

- Secondo periodo

Periodo di setup: da Novembre 2019 a Maggio 2019. Doppio monitoraggio: uno in avanti e uno all'indietro. Il monitoraggio in avanti mostra che il sistema è in controllo fino ad Agosto 2019, mentre l'analisi del periodo precedente indica che nei mesi di Settembre e Ottobre 2018 il sistema segue il modello di riferimento.

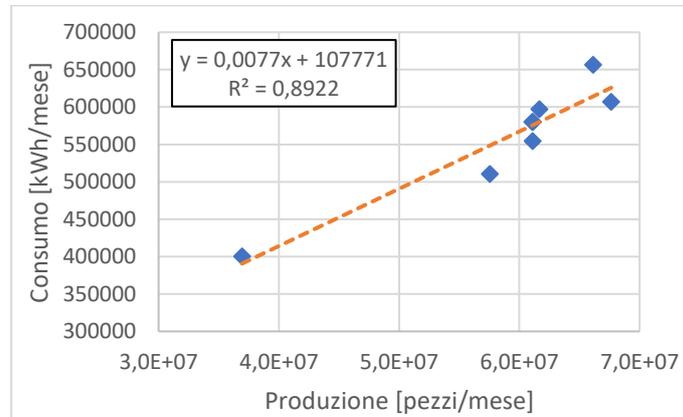


Figura 13: Legame tra consumo e produzione nel secondo periodo.

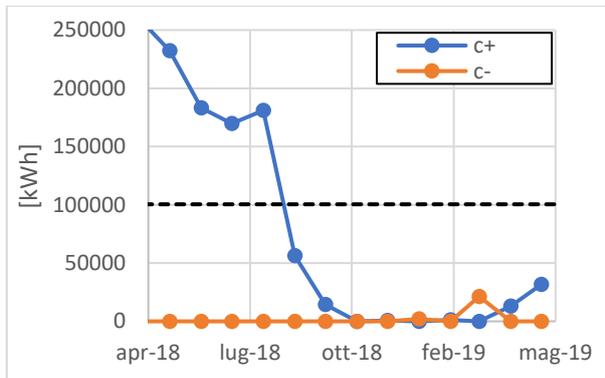


Figura 146: Carta di controllo del secondo periodo – all'indietro.

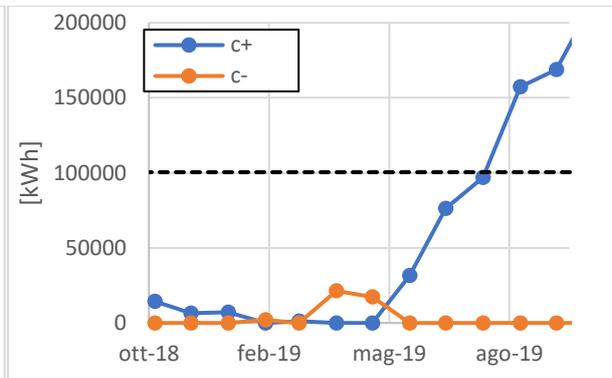


Figura 17: Carta di controllo del secondo periodo - - in avanti.

- Terzo periodo

Periodo di setup: da Giugno 2019 a Novembre 2019. Monitoraggio all'indietro: supera definitivamente il limite a Febbraio 2019.

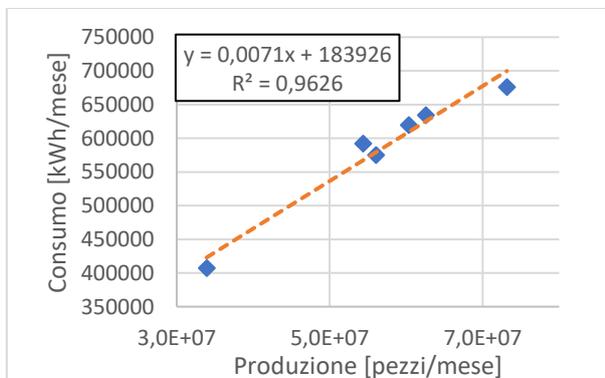


Figura 18: Legame tra consumo e produzione nel terzo periodo.

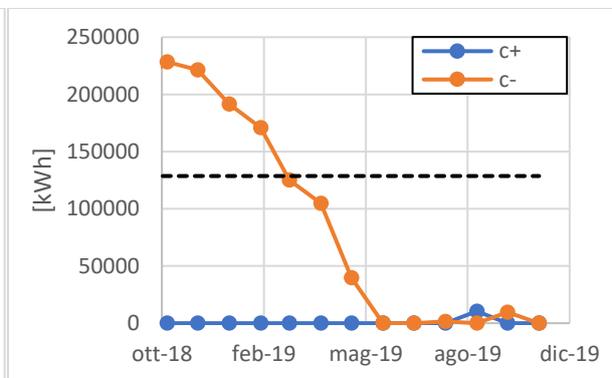


Figura 19: Carta di controllo del terzo periodo.

Sono stati dunque individuati 3 diversi periodi, che mostrano 3 diverse caratteristiche del sistema, durante i 23 mesi presi in analisi.

Per la costruzione del budget energetico dell'anno successivo si deve dunque fare riferimento alla caratteristica stabile più recente: caratteristica del terzo periodo.

- Energy driver: Turni lavorati

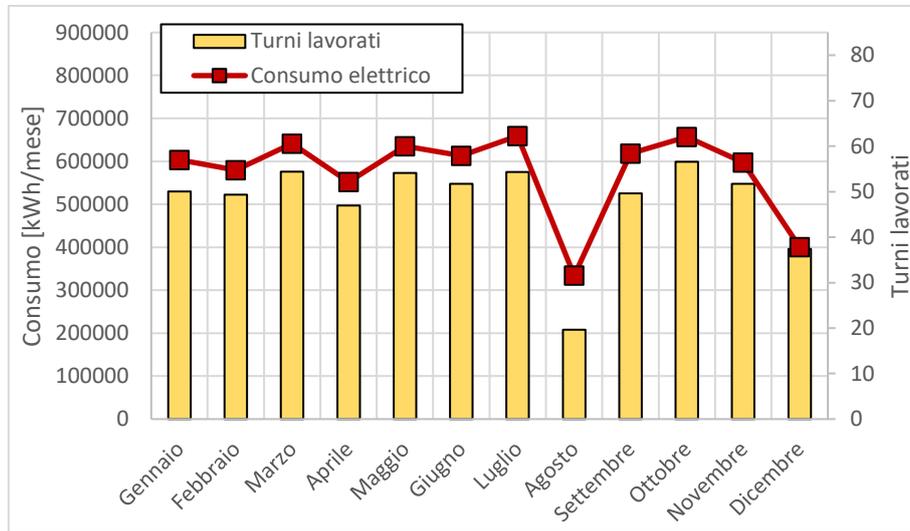


Figura 15: Grafico del consumo elettrico e turni lavorati mensili.

L'energy driver "turni lavorati" (TL) è il parametro che meglio definisce la durata dell'attività lavorativa nel mese. Tale parametro è espresso così:

$$TL = \sum_i(Turni\ pieni)_i + \sum_i(Turni\ parziali)_i \quad (1.5)$$

Dove i turni pieni sono dati dall'insieme dei primi due turni lavorativi non festivi e prefestivi, al netto delle ore perse per scioperi e assemblee. I turni parziali sono i terzi turni e quelli nei giorni festivi e prefestivi: in tal caso la produzione sarà minore rispetto ai turni pieni.

I turni parziali sono così calcolati:

$$\frac{N^{\circ}addetti\ nei\ turni\ parziali}{N^{\circ}addetti\ standard} < 1 \quad (1.6)$$

Nella figura successiva è riportato come varia la spesa energetica nel tempo insieme ai turni lavorati mese per mese.

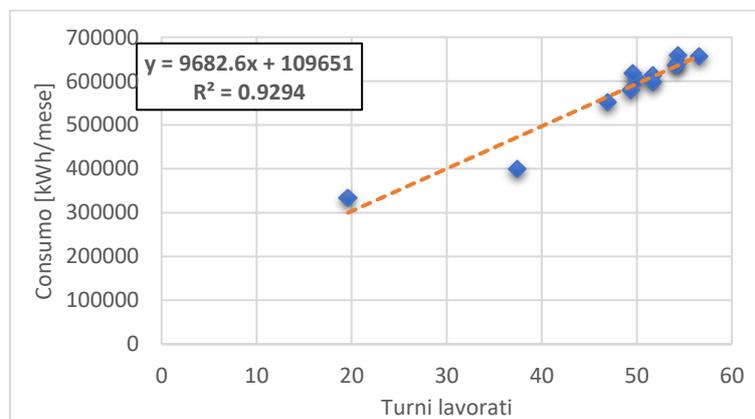


Figura 16: Legame lineare tra consumo e turni lavorati.

I coefficienti della retta di regressione sono significativi. Anche in questo caso le variabili, dipendente e indipendente, hanno un'ottima correlazione.

➤ **PDR**

- Energy driver: Gradi giorno

Il consumo di Gas Naturale al PDR mensile tra Ottobre del 2016 e Novembre del 2019; i dati ottenuti non sono completi, non sono disponibili le rilevazioni di Maggio 2017 e quelle relative ai mesi di Agosto, Settembre e Ottobre del 2018.

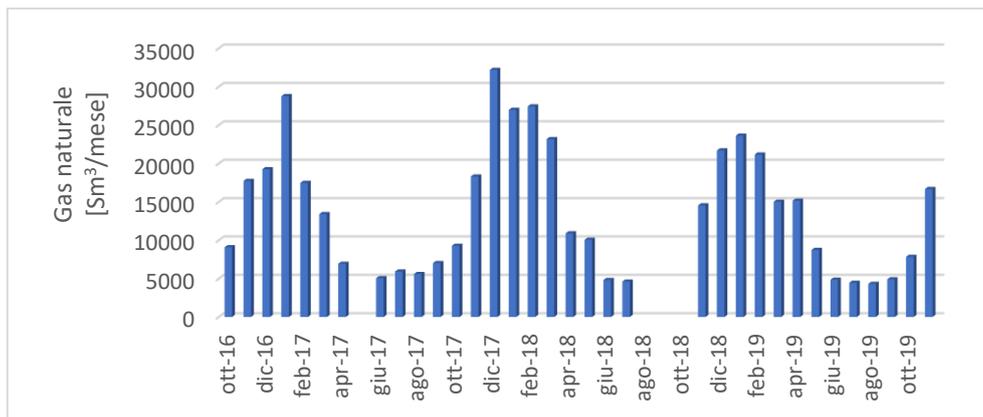


Figura 17: Lettura mensile al PDR.

Il gas naturale nello stabilimento viene prevalentemente utilizzato per il riscaldamento degli ambienti in inverno e per la produzione acqua calda sanitaria. Mentre in parte minore il gas viene consumato per il calore di processo.

Quindi parlando di riscaldamento l'energy driver, che influenza il consumo di gas naturale sono i gradi giorno, indicati con GG (mantenendo una temperatura interna di 20°C):

$$GG = T_{interna} - T_{esterna\ media\ giornaliera} \quad (1.7)$$

Per la temperatura esterna media è stato fatto riferimento alla banca dati "Agrometeo" della pagina web www.sistemapiemonte.it.

Nel grafico seguente vengono quindi messi in relazione: il consumo di gas naturale giornaliero con i corrispettivi gradi giorno.

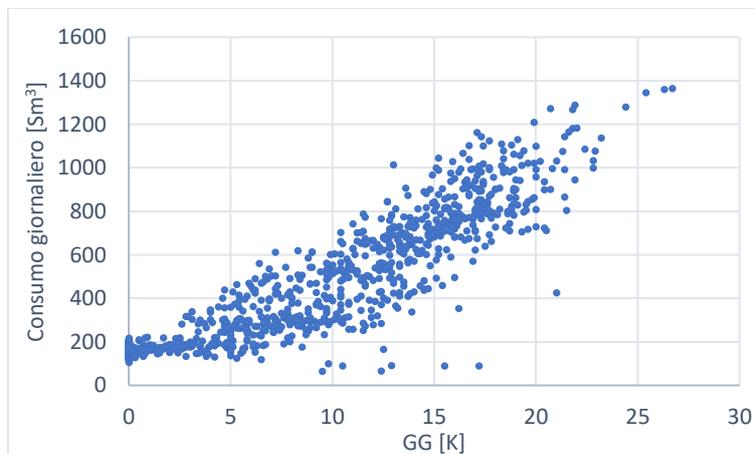


Figura 18: Lettura giornaliera al POD in funzione dei gradi giorno.

Così facendo alcuni punti presentano una dispersione troppo accentuata, e in questo caso i gradi giorno, seppur buoni energy driver, non influenzano in modo preciso i consumi. Per ovviare a questo problema si utilizzano i gradi giorno corretti. L'energy driver viene moltiplicato per il fattore di corrispondenza dei gradi giorno (F), che è funzione delle numero di ore di riscaldamento giornaliero e del fattore di inerzia termica. In questo modo si considerano i gradi giorno reali: nulli quando l'impianto di riscaldamento è spento (nei giorni di chiusura); $F < 1$ considerando che nelle ore notturne o nei fine settimana l'impianto lavora in modo intermittente, perché la maggior parte dei dipendenti è assente; mentre $F = 1$, per un riscaldamento continuo.

Assegnando il fattore F ad ogni giorno della settimana e per i giorni di chiusura, si ottiene un grafico con una dispersione minore e un maggiore coefficiente di determinazione (R^2).

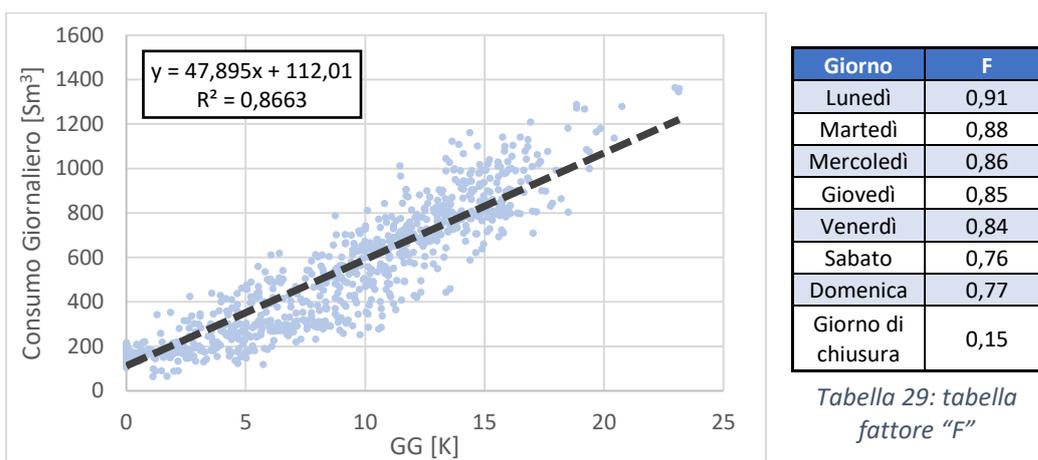


Figura 19: Lettura giornaliera del POD in funzioni dei gradi giorno corretti.

Il fattore di corrispondenza dei gradi giorno trovato per i diversi giorni della settimana, rispecchia quanto viene indicato in letteratura [2]: per un edificio leggero, quale può essere considerato un capannone industriale, il fattore va da 0,85 a 0,90. Ciò significa che nei giorni invernali lavorativi a pieno regime, l'impianto rimane acceso dalle 20 alle 22 ore giornaliere. Questo vale soprattutto nei giorni di lavoro da Lunedì a Venerdì; mentre Sabato e Domenica, la presenza di meno dipendenti e quindi minor numero di ore lavorate influisce sul consumo e il fattore F sarà inferiore. L'impianto è invece acceso per poche ore nei giorni di chiusura.

Per condurre l'analisi sull'evoluzione dei consumi dal 2016 al 2019, i dati vengono raggruppati su base mensile, sia la spesa di gas che i gradi giorno corretti. Nella figura successiva sono riportati i consumi mensili di gas e l'insieme sullo stesso periodo dei gradi giorno, ottenendo una retta che definisce bene la correlazione tra le due variabili.

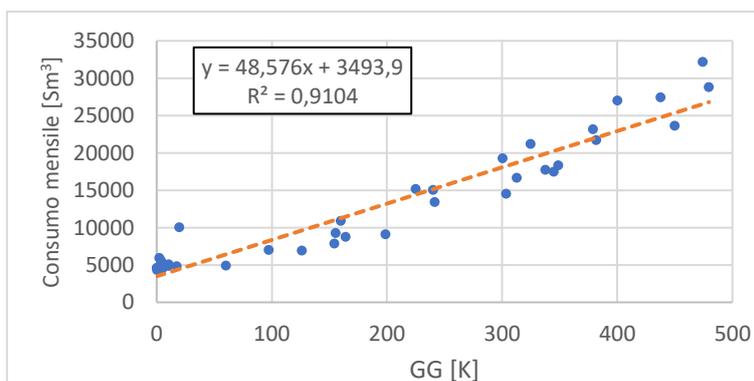


Figura 20: Legame lineare tra consumo di gas e gradi giorno corretti (al mese).

La retta trovata può approssimare bene qualche punto e meno bene altri, questo perché durante il periodo di monitoraggio (3 anni) il sistema può aver subito dei cambiamenti. Viene analizzato quindi il modello trovato nel tempo, costruendo il Cusum.

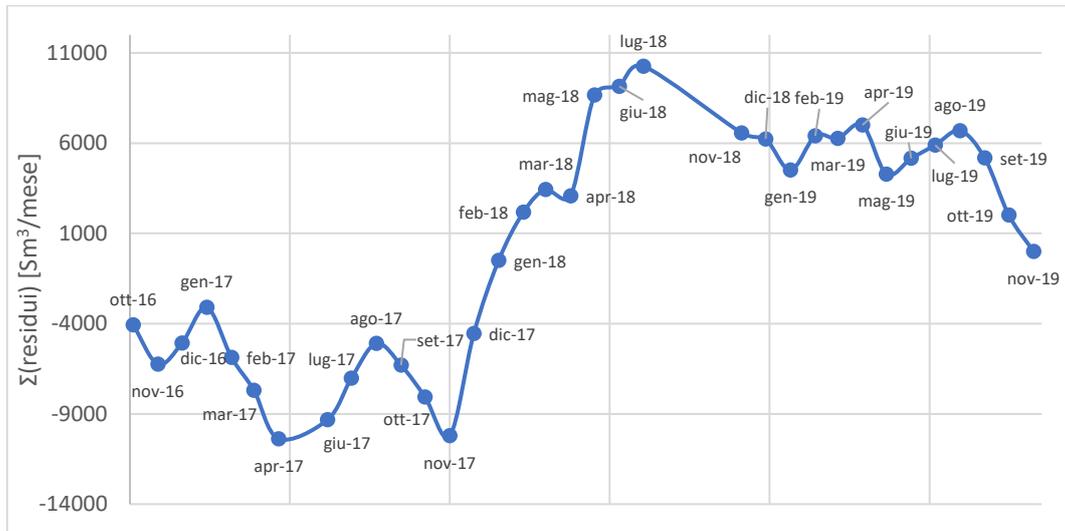


Figura 21: CUSUM gas naturale.

Dal grafico si evidenziano diversi andamenti, con un'elevata frequenza di nodi: possibili cambiamenti del sistema. Per sapere se i cambi di pendenza siano dei cambiamenti del sistema oppure no, anche in questo caso viene utilizzata la carta di controllo. Nell'analisi i coefficienti di tutte le caratteristiche trovate sono significativi.

- Primo periodo

Il primo periodo scelto è quello tra Ottobre 2016 e Aprile 2017. La caratteristica del periodo di riferimento viene applicata per il monitoraggio del periodo successivo. A Luglio 2017, il sistema non è più in controllo, quindi il modello del primo periodo non è più valido, perché è avvenuto un cambiamento.

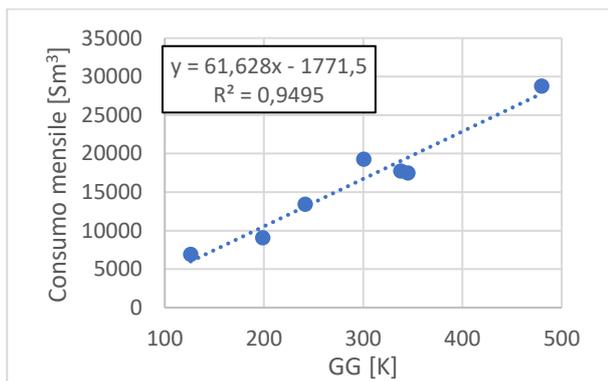


Figura 23: Legame lineare tra consumi e gradi giorno corretti nel primo periodo

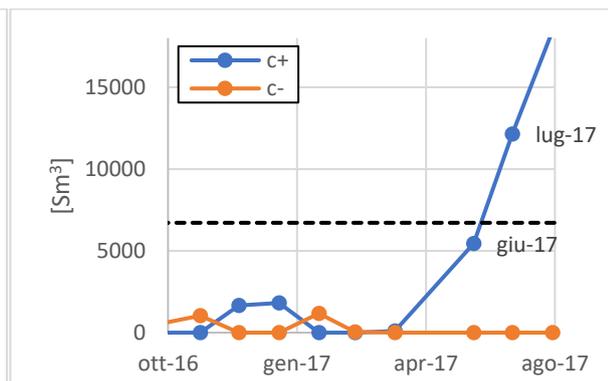


Figura 22: Carta di controllo del primo periodo

- Secondo periodo

Il secondo periodo va da Novembre 2017 a Maggio 2018, effettuando l'analisi in avanti e all'indietro, si vede come la caratteristica trovata in questo periodo di riferimento mantenga il controllo del sistema a lungo. Il fuori controllo definitivo è a Ottobre 2016 e a Ottobre 2019, mentre nell'intervallo interno a questi due estremi il sistema rimane in controllo. Nell'analisi di monitoraggio in avanti, il modello inizia a cambiare verso

la fine del 2018 e l'inizio del 2019, periodo in cui la caldaia è stata sostituita con una di nuova generazione a condensazione.

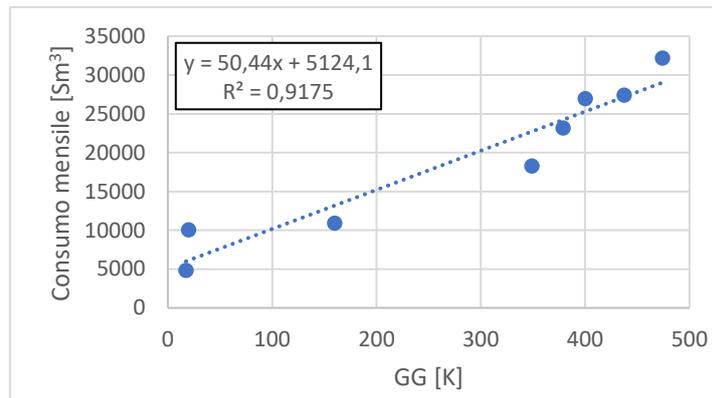


Figura 24: Legame lineare tra consumi e gradi giorno corretti nel secondo periodo.

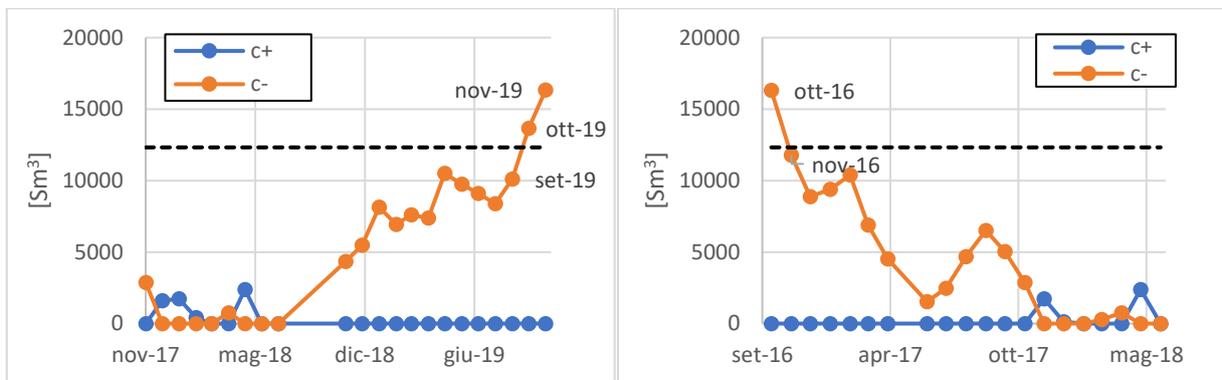


Figura 26: Carta di controllo del secondo periodo – in avanti.

Figura 25: Carta di controllo del secondo periodo – all'indietro.

- Terzo periodo

Per evidenziare la sostituzione della caldaia e per coprire gli ultimi mesi del 2019, si prende in considerazione il periodo di monitoraggio da Gennaio a Agosto 2019. Il modello trovato mantiene il controllo di tutto il 2019.

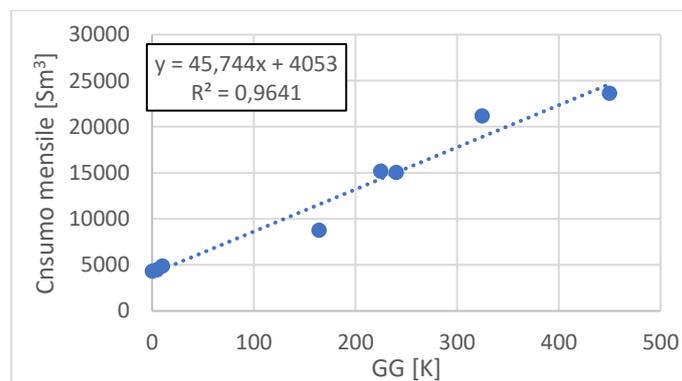


Figura 27: Legame lineare tra consumi e gradi giorno corretti nel terzo periodo.

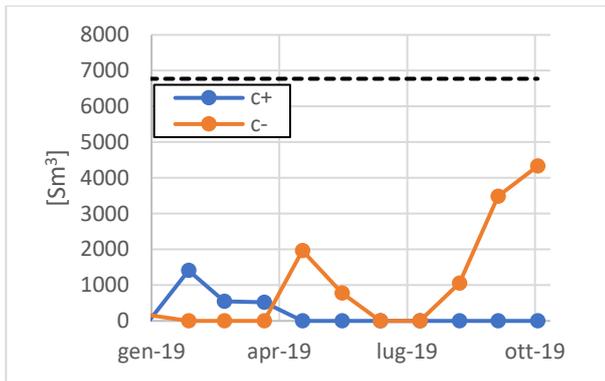


Figura 28: Carta di controllo del terzo periodo - in avanti

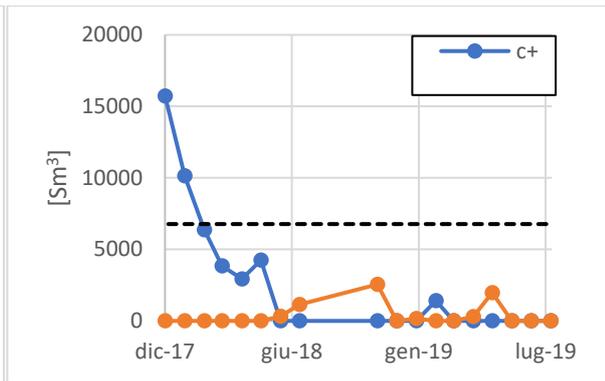


Figura 29: Carta di controllo del terzo periodo - all'indietro.

➤ Reparti Produttivi di trasformazione

A valle dell'analisi statistica vengono analizzati i consumi dei reparti di trasformazione in funzione della variabile che li influenza. L'energy driver adottato è la produzione in termini di kg di materiale prodotto. Essa è una variabile più influente dei pezzi prodotti, perché la massa del materiale prodotto tiene conto anche della taglia della macchina, che produce meno pezzi in un certo periodo di una pressa piccola, possedendo un tempo ciclo maggiore, ma consuma più elettricità perché ha una potenza installata maggiore.

Per analizzare l'influenza della variabile, i dati orari disponibili (i consumi orari visti precedentemente e la produzione) sono stati raggruppati fasce orarie: da 4 o 8 ore, per andare a ridurre la dispersione dei dati orari. I dati disponibili sono molto ridotti (solo pochi giorni di rilevamenti) per creare un modello significativo, ma può essere comunque indicativo per comprendere come la spesa varia.

In futuro questa analisi dovrebbe essere affinata, acquisendo dati su un arco temporale più ampio.

- Consumo e massa di prodotto lavorata dal reparto di stampaggio plastica 1 (K1), dati aggregati di 4 ore in 4 ore.

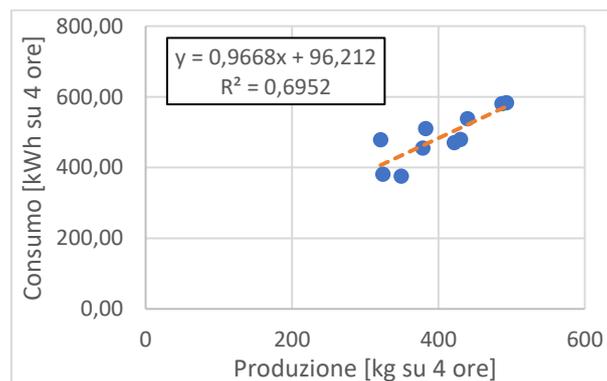


Figura 30: Legame tra consumo e produzione nel reparto stampaggio-K1

- Consumo e massa di prodotto lavorata dal reparto di stampaggio plastico 2 (K2), dati aggregati in un periodo di 8 ore.

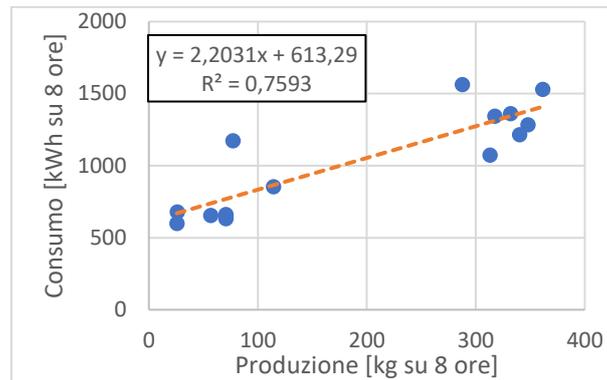


Figura 31: Legame tra consumo e produzione nel reparto stampaggio-K2

- Consumo e massa di prodotto lavorata dal reparto di tranciatura (K5), dati aggregati ogni 4 ore.

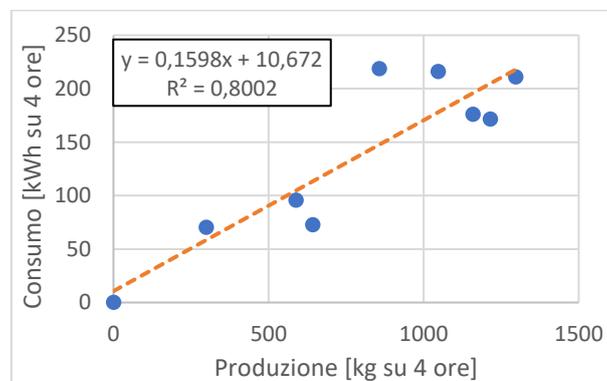


Figura 32: Legame tra consumo e produzione nel reparto tranciatura-K5

Come si vede dai grafici, l'energy driver "massa [kg] di prodotto" influenza in modo significativo i consumi, bensì i dati a disposizione siano minimi. Con una acquisizione più ampia dei dati, mediante misure o installando analizzatori di rete fissi con capacità di memorizzare i dati, il sistema reparto per reparto verrebbe studiato in modo più approfondito. Lo scopo di questi studi è quello di approfondire i consumi e valutare i consumi futuri, consentendo di stanziare un budget energetico più aderente alla realtà e valutare possibili interventi per accrescere l'efficienza del sistema.

6.2.3. Analisi dei consumi nel dettaglio

Per l'analisi nel dettaglio per ogni vettore energetico si individuano i rispettivi usi (vedi tabella), che comprendono utilizzi di vettori energetici diretti senza trasformazioni (vettori primari) e provenienti da conversioni (vettori secondari). L'utilizzo diretto di energia elettrica all'interno dell'azienda avviene conseguentemente alla conversione da media a bassa tensione avvenuta nella cabina di trasformazione.

Inoltre, gli usi vengono raggruppati in tre macro-attività:

- Attività principali;
- Servizi ausiliari e accessori;
- Servizi generali.

SIGLA	ATTIVITA'	USO	VEETTORE SECONDARIO	UDM	VEETTORE PRIMARIO	UDM	VARIABILITA' CON I VOLUMI PRODUTTIVI	VARIABILITA' GIORNO / NOTTE	VARIABILITA' ESTATE / INVERNO
U1	Principale	EE per usi produttivi	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh	X		
U2	Principale	ACC per usi produttivi (calore di processo)	ACQUA CALDA	kWh caldo	GAS	Sm ³	X		
U3	Principale	ACF per usi produttivi (raffreddamento macchine)	ACQUA FREDDA	kWh freddo	EE-MT	kWh	X		
U4	Ausiliare	AC per usi produttivi	ARIA COMPRESSA	Nm ³	EE-MT	kWh	X		
U5	Ausiliare	EE carroponti e area ricarica muletti	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh	X		
U6	Ausiliare	EE per aspirazioni (fumi e trucioli)	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh	X		
U7	Generale	EE illuminazione interna	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh		X	X
U8	Generale	EE illuminazione esterna	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh		X	X
U9	Generale	ACC per riscaldamento	ACQUA CALDA	kWh caldo	GAS	Sm ³		X	X
U10	Generale	ACS (bagni, lab)	ACQUA CALDA SANITARIA	kWh caldo	GAS	Sm ³			
U11	Generale	ACF raffrescamento	ACQUA FREDDA	kWh freddo	EE-MT	kWh		X	X
U12	Generale	AIRC per riscaldamento	ARIA CALDA	kWh caldo	EE-MT	kWh		X	X
U13	Generale	AIRF per raffrescamento	ARIA FREDDA	kWh freddo	EE-MT	kWh		X	X
U14	Generale	EE usi ufficio	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh		X	
U15	Generale	EE usi laboratorio, officina e CED	EE	kWh	EE-MT	kWh		X	
U16	Generale	GAS per mensa	GAS	Sm ³	GAS	Sm ³		X	
U17	Generale	GASOLIO per automezzi	GASOLIO	kg	GASOLIO	kg			
U18	Generale	EE pompaggio	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh			X
U19	Ausiliare	PROPANO per stagnatura	PROPANO	kg	PROPANO	kg	X		
U20	Generale	EE cucina (forno e frigo)	EE-BT	kWh	EE-MT	kWh			X

Tabella 30: Principali usi energetici all'interno del sito.

Sono riportati di seguito i diagrammi che descrivono la struttura energetica aziendale: ad ogni vettore primario è associata la relativa schematizzazione.

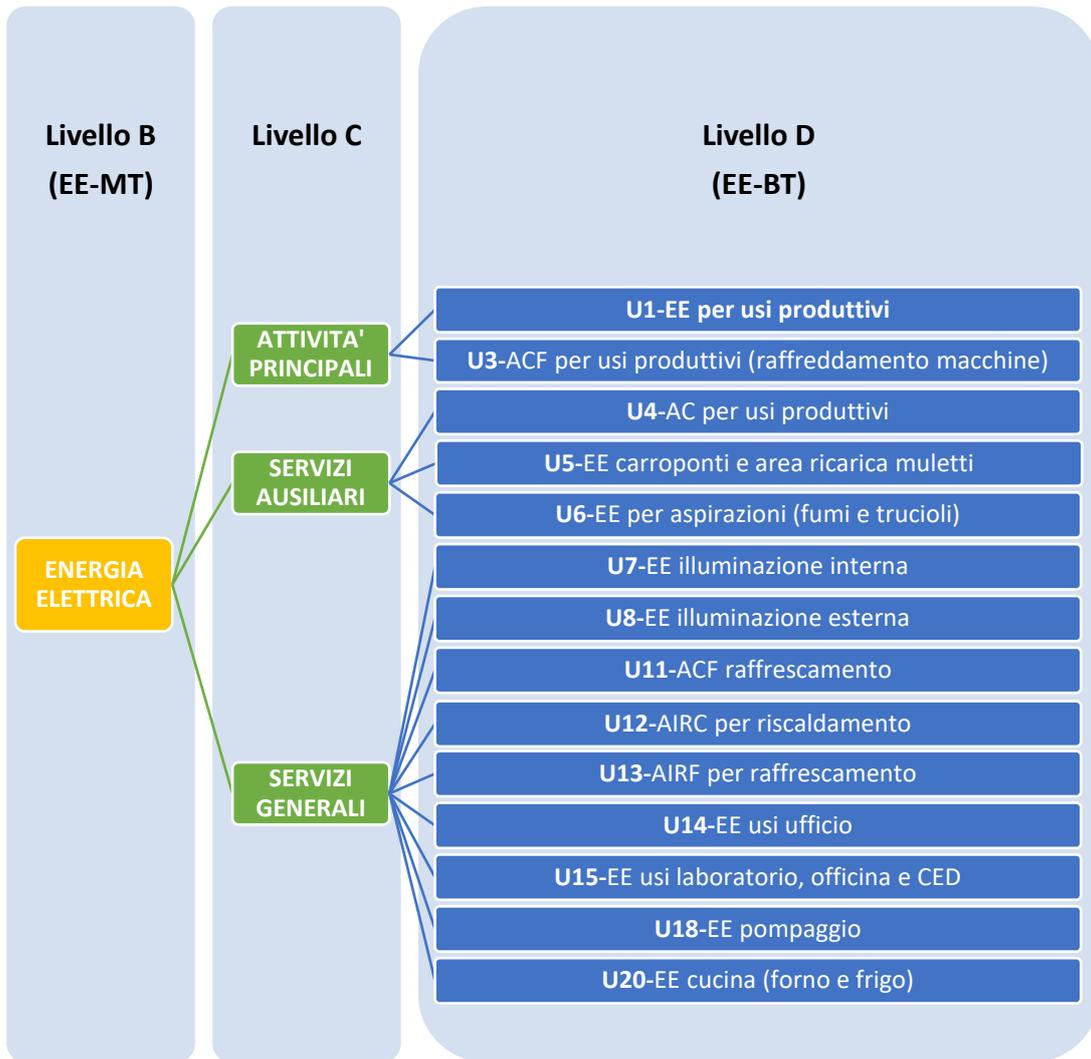


Figura 33: Struttura energetica del vettore Energia Elettrica.

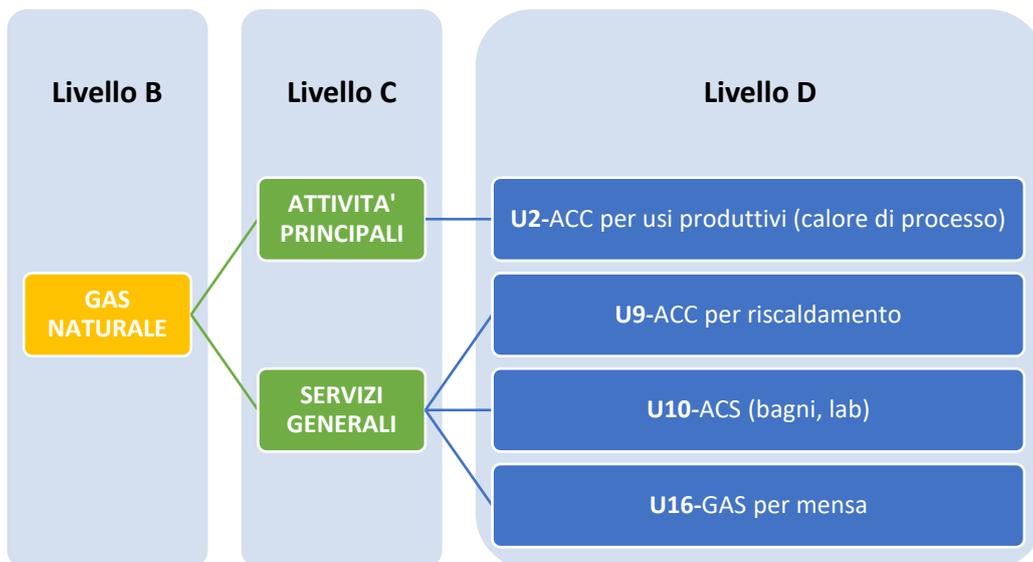


Figura 34: Struttura energetica del vettore Gas Naturale.

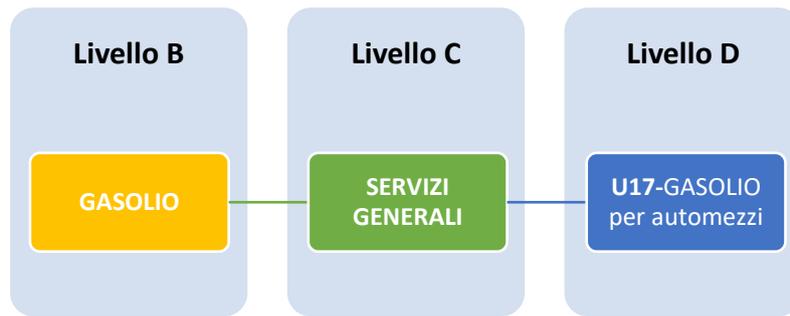


Figura 35: Struttura energetica del vettore Gasolio.

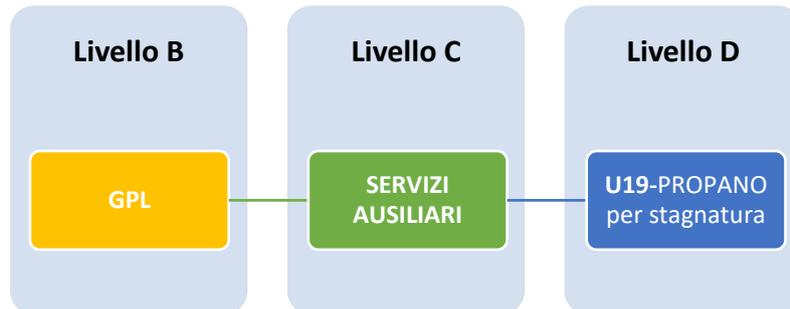


Figura 36: Struttura energetica del vettore GPL.

È riportato di seguito l'incrocio tra le aree dello stabilimento e i diversi usi energetici del sito, per ottenere una mappatura completa dei consumi energetici nello stabilimento.

In tal modo si rende più semplice l'individuazione delle aree e utenze energivore, dove si dovrà agire con interventi di efficientamento.

AREA \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
ATTIVITA'	P	P	P	A	A	A	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	A	G
Vettori Secondari	EE-BT	ACC	ACF	AC	EE-BT	EE-BT	EE-BT	EE-BT	ACC	ACS	ACF	AIRC	AIRF	EE-BT	EE-BT	GAS	Gasolio	EE-BT	GPL	EE-BT
udm	kWh	kWh th	kWh fr	Nm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh th	kWh th	kWh fr	kWh th	kWh fr	kWh	kWh	Sm ³	kg	kWh	kg	kWh
Vettori Primari	EE-MT	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	Gasolio	EE-MT	GPL	EE-MT
udm	kWh	Sm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Sm ³	Sm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Sm ³	kg	kWh	kg	kWh
A1	X		X	X	X	X	X		X											
A2	X		X	X	X	X	X		X					X						
A3	X	X		X		X	X		X					X						
A4	X			X		X	X					X	X							
A5	X			X		X	X		X			X	X	X					X	
A6	X	X	X	X		X	X		X											
A7	X		X	X		X	X		X			X	X	X						
A8	X			X		X	X		X			X	X							
A9	X					X	X		X											
A10							X		X			X	X	X						
A11																		X		
A12				X			X		X		X	X	X		X					
A13							X		X	X	X	X	X	X						
A14							X		X			X	X		X					
A15							X		X	X						X				X
A16					X			X									X			
A17													X		X					

Tabella 31: Mappatura Usi Energetici per le rispettive Aree del Sito.

6.2.3.1. Modelli energetici e Misurazioni

Per l'analisi dettagliata occorre ottenere una copertura del 95% del totale consumato realmente dall'azienda. I metodi adottati per ottenere questi dati sono stati:

- Misurazione di brevi periodi:
 - Misurazioni di specifici usi in specifiche aree. Condizione ottimale. Nella diagnosi in oggetto:
 - Elettricità consumata nell'area ricarica muletti (U5) nel piazzale (A17).
 - Misurazioni di specifici usi su aggregati di aree. In questi casi viene disaggregato il valore totale sulle utenze in base a criteri logici. Nella presente trattazione:
 - Acqua fredda per usi produttivi (U3) nel reparto di stampaggio plastica (A1 e A2): suddivisione equa nelle due aree.
 - U4 : aria compressa dalla sala compressori, per usi produttivi

Capannone	% AC (da lettura portata istantanea)
A	74%
B	26%

Tabella 32: Suddivisione AC % per capannoni – lettura istantanea.

Cap. A	% AC	Cap. B	% AC
A1-K1-Plastica	10%	A5- K5-Trance	5-10%
A2-K2-Plastica	10%	A6- K6-Galvanica	5%
A3-K3-Idraulico	50%	A7- K7-Bobine	70-80%
A4-K4-Microinterruttori	25%	A8- K8-Bistabile	10-15%
A12-Laboratori	5%	-	-

Tabella 33: Suddivisione AC % per aree - stime

- Misurazioni su quadri generali di reparto comprendenti usi differenti. In questi casi si adotta un metodo di scorporamento degli usi minori (calcolati o misurati nello specifico) da quelli di maggiore importanza. Un esempio può essere lo scorporamento del consumo di energia elettrica per illuminazione del reparto dal consumo generale del quadro, per ottenere l'energia elettrica usata per scopi produttivi. Nella presente analisi si è adottato questo metodo per ottenere i consumi U1 (usi produttivi) nei vari reparti produttivi:
 - Elettricità per usi produttivi (U1) in nei reparti produttivi "Plastica", "Idraulico", "Trance", "Galvanica" e "Bobine" (A1, A2, A3, A5, A6, A7).
- Misurazione istantanea della potenza per definire il rapporto potenza assorbita su potenza installata.
 - Elettricità per aspirazione di fumi e trucioli (U6) in tutti i reparti produttivi (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9).
- Letture istantanee di potenza o portata su misuratori fissi installati su quadri di reparto e altre utenze
 - Lettura della potenza delle due caldaie a condensazione per il calore di processo (U2) nei reparti "Idraulico" e "Galvanica" (A3 e A6).
 - Lettura della % portata aria compressa riportata in tabella 26.
 - Quadri elettrici nel reparto "Microinterruttori" e "Bistabile" (A4 e A8) per ottenere mediante scorporamento di diversi fattori il consumo per usi produttivi (U1).
- Acquisizione delle potenze installate mediante targhe e schede tecniche delle utenze.
 - Usi produttivi (U1) nel reparto "HVAC" (A9).
 - Acqua fredda per usi produttivi (U3) nei reparti "Galvanica" e "Bobine" (A6 e A7).
 - U7 e U8: per illuminazione interna e esterna la potenza assorbita è valutata dalla potenza installata di ogni corpo illuminante e il numero presente in ogni area.

- U15: Elettricità per alimentazione dei laboratori, dell'officina di manutenzione e del CED (server)
- U18: Consumo per il pompaggio dell'acqua (A11-Centrale termica).
- Creazione di semplici modelli energetici per la stima di usi energetici:
 - Produzione di acqua e aria calda o fredda (U9, U11, U12, U13): calcolo di kWh_{th} e kWh_{fr} per riscaldare e raffreddare le differenti aree del sito.

Modello termico:

$$\circ \quad Q_{risc} = F * (Q_{disp} + Q_{vent}) - Q_{sole} - Q_{int} \quad (1.1)$$

Rappresenta il fabbisogno energetico [kWh_{th}] di cui ha bisogno un edificio per mantenere una ben definita temperatura (20°C per gli uffici e 18°C per i capannoni industriali).

- F : Fattore di corrispondenza dei gradi giorno, è un fattore che tiene conto del fatto che l'impianto di climatizzazione si accenda a intermittenza e dipende dalle ore di accensione giornaliera e dal fattore di inerzia termica. F = 0.85 – 0.90, per i capannoni considerati edifici leggeri. Verrà però omesso dal calcolo perché inglobato considerando i gradi giorno corretti.
- $Q_{disp} = \Sigma(U_i * A_i) * 24h * \Sigma_{j=1}^{NG} GG_j$ (1.2)

Equazione che indica il calore disperso.

- U_i [W/m²*K] e A_i [m²] sono il coefficiente globale di scambio termico (dati letteratura, conoscendo la composizione di pareti, finestre e copertura) e l'area della superficie isesima.
- $\Sigma_{j=1}^{NG} GG_j$: gradi giorno corretti di tutto il periodo considerato su Dronero. Per il riscaldamento si prendono come giorni di riferimento dal 15 Ottobre a 15 Aprile, essendo Dronero nella Zona Climatica E.

$$\circ \quad Q_{vent} = \Sigma N_i * V_i * \rho_i * c_p * 24h * \Sigma_{j=1}^{NG} GG_j \quad (1.3)$$

Equazione che descrive il calore scambiato per ventilazione.

- N : Ricambi d'aria orari
- V : Volume edificio
- ρ e c_p : densità e il calore specifico dell'aria
- Q_{sole}: contributo solare, che nella presente diagnosi viene trascurato
- Q_{int}: apporti endogeni sensibili e latenti (dati letteratura)

Fonte del modello: "Dispense del corso di Gestione dei sistemi energetici" del Politecnico di Torino.

- U10: Acqua calda sanitaria; la costruzione del modello termico parte dall'ipotesi di utilizzo a persona giornaliero di 5 litri di acqua calda a una temperatura di 40°C.
- Ricerca di valori da Letteratura
 - Elettricità per usi d'ufficio (U14): 20 W/m² per le installazioni negli uffici (da [2]);
 - Gas per mensa (U16) e elettricità utilizzata in cucina (U20).

I dati trovati sono però valori istantanei (potenza assorbita) o riferiti ad un breve periodo (energia assorbita), vengono dunque introdotti dei fattori di aggiustamento:

- Ore di lavoro giornaliero nei reparti produttivi;
- Ore di lavoro giornaliero negli uffici;
- Numero di giorni lavorati all'anno (chiusura estiva di due settimane).

Per dimostrare l'utilizzo dei fattori d'aggiustamento, ovvero considerare che per tutte le settimane operative la spesa energetica è piuttosto costante, prendiamo come esempio l'energia elettrica acquistata, il vettore energetico principale del sito (> 90% della spesa energetica), e i dati orari prelevati dal contatore.

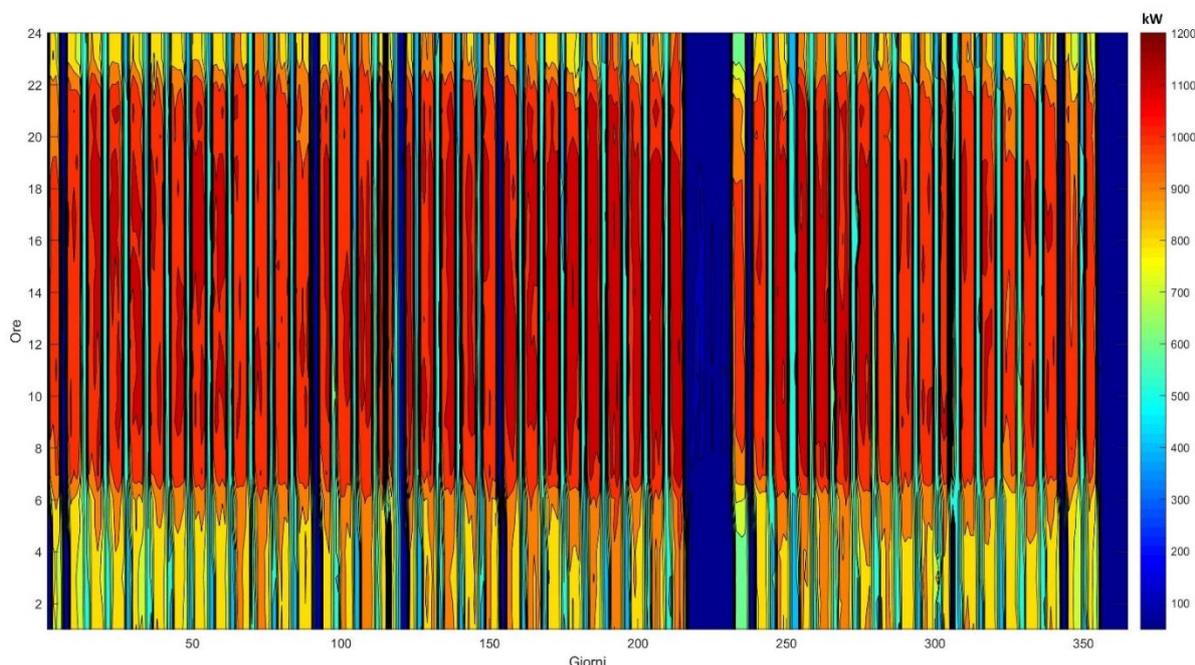


Figura 37: Carpet plot Energia elettrica consumata (2018).

Come si può notare dalla figura precedente, il consumo di energia elettrica settimanale è stabile nelle settimane di funzionamento dei reparti. Il grafico è ottenuto con Matlab.

La richiesta maggiore di elettricità (come si vede in figura) è massima e costante durante i due turni (dalle 6 alle 14 e dalle 14 alle 22) da lunedì a venerdì; mentre diminuisce al terzo turno (di notte) e nei fine settimana; quasi nulla nei giorni festivi in cui lo stabilimento chiude. Importante evidenziare come già verso le 4 di mattina l'assorbimento di energia cresca, dovuto all'accensione preventiva dei macchinari spenti durante la notte e nei weekend, che richiedono un determinato periodo di tempo per portarsi alla temperatura di lavorazione. Ad esempio la pressa da 1000 tonnellate, richiede più di un'ora per portare in temperatura la camera di plasticizzazione, dove il materiale plastico raggiunge la condizione di fusione. Inoltre al mattino si accendono anche le pompe di circolazione dell'acqua per il riscaldamento, che di notte invece sono spente.

Per l'analisi si considerano dei modelli energetici per la conversione dei vettori da secondari a primari.

In allegato A e B sono riportati rispettivamente i profili orari ottenuti dalle campagne di misurazione e i calcoli adottati per lo svolgimento della diagnosi.

Di seguito in tabella, sono riportati i fattori di conversione adottati nell'analisi.

Vettore secondario	Fattore conversione	Descrizione area	Valore	Note
Aria compressa	Rendimento di produzione compressori	Sala compressori	0,12	kWh/Nm ³
		Compressore dedicato a K8	0,26	kWh/Nm ³

Acqua Calda	Rendimento caldaie	Centrale termica	92%	Caldaia attiva fino a 2019, per riscaldamento e ACS
		Caldaie in K3 e K6	96%	Caldaie a condensazione, per calore di processo
	Potere calorifico del Gas Naturale	-	9,5	kWh/Sm ³
Acqua fredda	COP	Gruppo frigo K1 e K2	5,4 e 5	Raffreddamento stampi e olio presse
		Frigo K6	6,1	Freddo di processo
		Frigo K7	5,4	Freddo di processo
		Frigo MTA (COP equivalente)	2,0	Raffrescamento estivo locali
Aria calda	COP	Condizionatore K4	3,3	Riscaldamento
		Condizionatore K8	3,4	Riscaldamento
		Condizionatori Box di reparto	4,0	Riscaldamento
		Condizionatori laboratori e uffici	3,2	Riscaldamento
Aria fredda	EER	Condizionatore K4	2,6	Raffrescamento
		Condizionatore K8	3,0	Raffrescamento
		Condizionatori Box di reparto	3,6	Raffrescamento
		Condizionatori laboratori e uffici	3,4	Raffrescamento
EE-MT/BT	Rendimento di trasformazione dell'energia elettrica MT/BT	Cabina di trasformazione MT/BT	95%	Rendimento di trasformazione dell'energia elettrica da media a bassa tensione (comprese le perdite di distribuzione interne)

Tabella 34: Principali parametri relativi alla conversione dei vettori primari in secondari e viceversa.

6.2.3.2. Modelli energetici e Misurazioni

Riprendendo come riferimento la tabella 25, si quantificano i vettori secondari e conseguentemente i vettori primari. I risultati sono riportate nelle tabelle che seguono, ottenuti attraverso calcoli e stime riportate nell'allegato B.

Con questa analisi differenziata di tutti i consumi, si ottiene la copertura totale dei consumi reali, da bolletta. Nello specifico per l'elettricità si trova il 101% di copertura, mentre per il gas naturale il 105%. L'errore è contenuto perché non supera il 5%.

6.3. Bilancio energetico

Il bilancio energetico dello stabilimento in TEP, € e tonnellate di CO₂ prodotta viene riportato nelle sezioni successive.

AREE \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
Vettori Secondari	EE-BT	ACC	ACF	AC	EE-BT	EE-BT	EE-BT	EE-BT	ACC	ACS	ACF	AIRC	AIRF	EE-BT	EE-BT	GAS	Gasolio	EE-BT	GPL	EE-BT
udm	kWh	kWh _{th}	kWh _{fr}	Nm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh _{th}	kWh _{th}	kWh _{fr}	kWh _{th}	kWh _{fr}	kWh	kWh	Sm ³	kg	kWh	kg	kWh
A1	735327	-	697524	363776	9375	63000	29702	-	215980	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	860063	-	697524	363776	9375	63000	30912	-	114994	-	-	-	-	368	-	-	-	-	-	-
A3	763187	174983	-	1818880	-	110880	106781	-	534866	-	-	-	-	1425	-	-	-	-	-	-
A4	91183	-	-	909440	-	27720	16266	-	-	-	-	16853	1852	-	-	-	-	-	-	-
A5	180861	-	-	715290	-	45000	40454	-	31198	-	-	-	39	1257	-	-	-	-	200	-
A6	126796	2214	69349	510921	-	30000	10000	-	8246	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	478615	-	43624	7766002	-	68400	104731	-	54614	-	-	-	69	2385	-	-	-	-	-	-
A8	118998	-	-	1256811	-	37800	9358	-	4260	-	-	6025	1225	-	-	-	-	-	-	-
A9	14863	-	-	-	-	28000	12768	-	8704	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	49938	-	12880	-	-	-	264	8940	-	-	-	-	-	-
A11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42000	-	-
A12	-	-	-	181888	-	-	4986	-	27808	-	41	10881	40	-	45518	-	-	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	17802	-	123145	7427	100	1683	12	49209	-	-	-	-	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	1704	-	2679	-	-	-	53	-	6776	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	-	4500	-	23601	7427	-	-	-	-	-	614	-	-	-	60101
A16	-	-	-	-	17740	-	-	17422	-	-	-	-	-	-	-	-	6481	-	-	-
A17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5635	-	43800	-	-	-	-	-

Tabella 35: Consumi dei vettori energetici secondari suddivisi per usi energetici e aree.

Nel caso dell'uso U12 (aria calda per riscaldamento) di box interni ai reparti, il consumo viene considerato trascurabile perché il capannone è già riscaldato.

AREE \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
<i>Vettori Primari</i>	EE-MT	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	Gasolio	EE-MT	GPL	EE-MT
<i>U.d.m.</i>	kWh	Sm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Sm ³	Sm ³	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Sm ³	kg	kWh	kg	kWh
A1	774029	-	159158	46625	9868	66316	31266	-	24712	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	905330	-	159158	46625	9868	66316	32539	-	13157	-	-	-	-	387	-	-	-	-	-	-
A3	803354	19127	-	233127	-	116716	112401	-	61197	-	-	-	-	1500	-	-	-	-	-	-
A4	95982	-	-	116563	-	29179	17122	-	-	-	-	6725	592	-	-	-	-	-	-	-
A5	190380	-	-	91679	-	47368	42584	-	3570	-	-	-	11	1323	-	-	-	-	200	-
A6	133469	242	21600	65485	-	31579	10526	-	943	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	503805	-	28042	995373	-	72000	110243	-	6249	-	-	-	18	2511	-	-	-	-	-	-
A8	125261	-	-	165585	-	39789	9850	-	-	-	-	2082	384	-	-	-	-	-	-	-
A9	15646	-	-	-	-	29474	13440	-	996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	52566	-	1474	-	-	-	81	9410	-	-	-	-	-	-
A11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44211	-	-
A12	-	-	-	23313	-	-	5248	-	3182	-	21	3500	34	-	47914	-	-	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	18739	-	14090	850	52	557	3	51799	-	-	-	-	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	1794	-	307	-	-	-	17	-	7133	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	-	4737	-	2700	850	-	-	-	-	-	614	-	-	-	63264
A16	-	-	-	-	18674	-	-	18339	-	-	-	-	-	-	-	-	6481	-	-	-
A17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1941	-	46105	-	-	-	-	-

Tabella 36: Consumi dei vettori energetici **primari** suddivisi per usi energetici e aree.

AREE \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
<i>Vettori Primari</i>	EE-MT	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	Gasolio	EE-MT	GPL	EE-MT
<i>U.d.m.</i>	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP	TEP
A1	144,743	-	29,763	8,719	1,845	12,401	5,847	-	20,387	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	169,297	-	29,763	8,719	1,845	12,401	6,085	-	10,855	-	-	-	-	0,072	-	-	-	-	-	-
A3	150,227	15,780	-	43,595	-	21,826	21,019	-	50,488	-	-	-	-	0,280	-	-	-	-	-	-
A4	17,949	-	-	21,797	-	5,456	3,202	-	-	-	-	1,258	0,111	-	-	-	-	-	-	-
A5	35,601	-	-	17,144	-	8,858	7,963	-	2,945	-	-	-	0,002	0,247	-	-	-	-	0,220	-
A6	24,959	0,200	4,039	12,246	-	5,905	1,968	-	0,778	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	94,212	-	5,244	186,135	-	13,464	20,616	-	5,155	-	-	-	0,003	0,469	-	-	-	-	-	-
A8	23,424	-	-	30,964	-	7,441	1,842	-	-	-	-	0,389	0,072	-	-	-	-	-	-	-
A9	2,926	-	-	-	-	5,512	2,513	-	0,822	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	9,830	-	1,216	-	-	-	0,015	1,760	-	-	-	-	-	-
A11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,267	-	-
A12	-	-	-	4,359	-	-	0,981	-	2,625	-	0,004	0,654	0,006	-	8,960	-	-	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	3,504	-	11,624	0,701	0,010	0,104	0,001	9,686	-	-	-	-	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	0,335	-	0,253	-	-	-	0,003	-	1,334	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	-	0,886	-	2,228	0,701	-	-	-	-	-	0,506	-	-	-	11,830
A16	-	-	-	-	3,492	-	-	3,429	-	-	-	-	-	-	-	-	6,592	-	-	-
A17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,363	-	8,622	-	-	-	-	-

Tabella 37: Bilancio energetico – TEP.

AREE \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
<i>Vettori Primari</i>	EE-MT	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	Gasolio	EE-MT	GPL	EE-MT
<i>U.d.m.</i>	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€	€
A1	109138,1	-	22441,3	6574,2	1391,4	9350,5	4408,5	-	13591,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	127651,5	-	22441,3	6574,2	1391,4	9350,5	4588,0	-	7236,5	-	-	-	-	54,5	-	-	-	-	-	-
A3	113273,0	10519,9	-	32870,9	-	16456,9	15848,5	-	33658,6	-	-	-	-	211,4	-	-	-	-	-	-
A4	13533,5	-	-	16435,4	-	4114,2	2414,2	-	-	-	-	948,3	83,5	-	-	-	-	-	-	-
A5	26843,6	-	-	12926,8	-	6678,9	6004,3	-	1963,2	-	-	-	<50	186,6	-	-	-	-	300,0	-
A6	18819,1	133,1	3045,6	9233,4	-	4452,6	1484,2	-	518,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	71036,5	-	3953,9	140347,6	-	10152,0	15544,3	-	3436,8	-	-	-	<50	354,0	-	-	-	-	-	-
A8	17661,8	-	-	23347,5	-	5610,3	1388,9	-	-	-	-	293,6	54,1	-	-	-	-	-	-	-
A9	2206,0	-	-	-	-	4155,8	1895,0	-	547,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	7411,9	-	810,5	-	-	-	<50	1326,9	-	-	-	-	-	-
A11	-	-	-	-	-	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6233,7	-
A12	-	-	-	3287,1	-	-	740,0	-	1750,0	-	<50	493,5	<50	-	6755,8	-	-	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	2642,1	-	7749,4	467,4	<50	78,5	<50	7303,6	-	-	-	-	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	252,9	-	168,6	-	-	-	<50	-	1005,8	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	-	667,9	-	1485,2	467,4	-	-	-	-	-	337,5	-	-	-	8920,3
A16	-	-	-	-	2633,0	-	-	2585,7	-	-	-	-	-	-	-	-	11496,8	-	-	-
A17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	273,7	-	6500,8	-	-	-	-	-

Tabella 38: Bilancio energetico - €

AREE \ USI	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	U12	U13	U14	U15	U16	U17	U18	U19	U20
<i>Vettori Primari</i>	EE-MT	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	GAS	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	EE-MT	GAS	Gasolio	EE-MT	GPL	EE-MT
<i>U.d.m.</i>	ton. CO2																			
A1	222,15	-	45,68	13,38	2,83	19,03	8,97	-	48,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	259,83	-	45,68	13,38	2,83	19,03	9,34	-	25,99	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-	-
A3	230,56	37,78	-	66,91	-	33,50	32,26	-	120,87	-	-	-	-	0,43	-	-	-	-	-	-
A4	27,55	-	-	33,45	-	8,37	4,91	-	-	-	-	1,93	0,17	-	-	-	-	-	-	-
A5	54,64	-	-	26,31	-	13,59	12,22	-	7,05	-	-	-	<0,01	0,38	-	-	-	-	0,57	-
A6	38,31	0,48	6,20	18,79	-	9,06	3,02	-	1,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	144,59	-	8,05	285,67	-	20,66	31,64	-	12,34	-	-	-	0,01	0,72	-	-	-	-	-	-
A8	35,95	-	-	47,52	-	11,42	2,83	-	-	-	-	0,60	0,11	-	-	-	-	-	-	-
A9	4,49	-	-	-	-	8,46	3,86	-	1,97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A10	-	-	-	-	-	-	15,09	-	2,91	-	-	-	0,02	2,70	-	-	-	-	-	-
A11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,69	-	-
A12	-	-	-	6,69	-	-	1,51	-	6,28	-	0,01	1,00	0,01	-	13,75	-	-	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	5,38	-	27,83	1,68	0,01	0,16	<0,01	14,87	-	-	-	-	-	-
A14	-	-	-	-	-	-	0,51	-	0,61	-	-	-	<0,01	-	2,05	-	-	-	-	-
A15	-	-	-	-	-	-	1,36	-	5,33	1,68	-	-	-	-	-	1,21	-	-	-	18,16
A16	-	-	-	-	5,36	-	-	5,26	-	-	-	-	-	-	-	-	20,57	-	-	-
A17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	-	13,23	-	-	-	-	-

Tabella 39: Bilancio energetico - tonnellate di CO₂

6.4. Considerazioni sul consumo energetico

Il bilancio energetico complessivo è così riassunto:

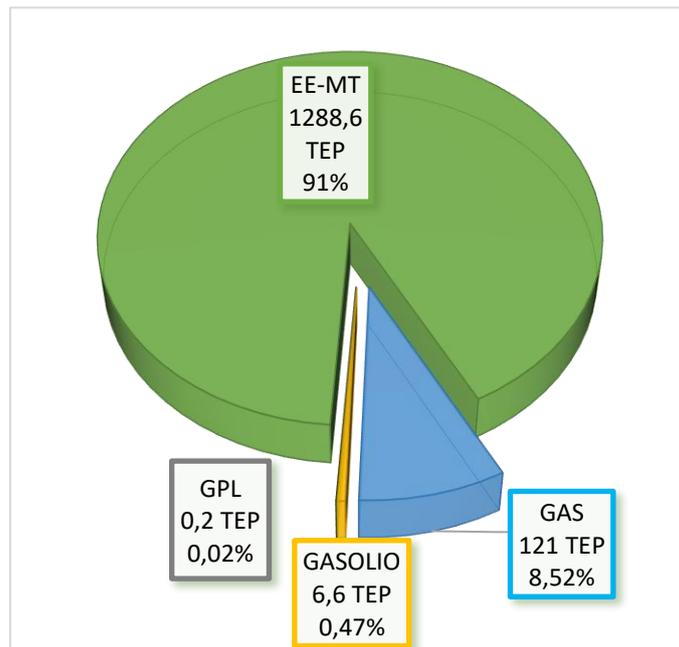


Figura 38: Riassunto bilancio energetico in TEP.

Dalla situazione complessiva è possibile evidenziare quali sono le aree e gli usi energetici che incidono maggiormente sul bilancio energetico.

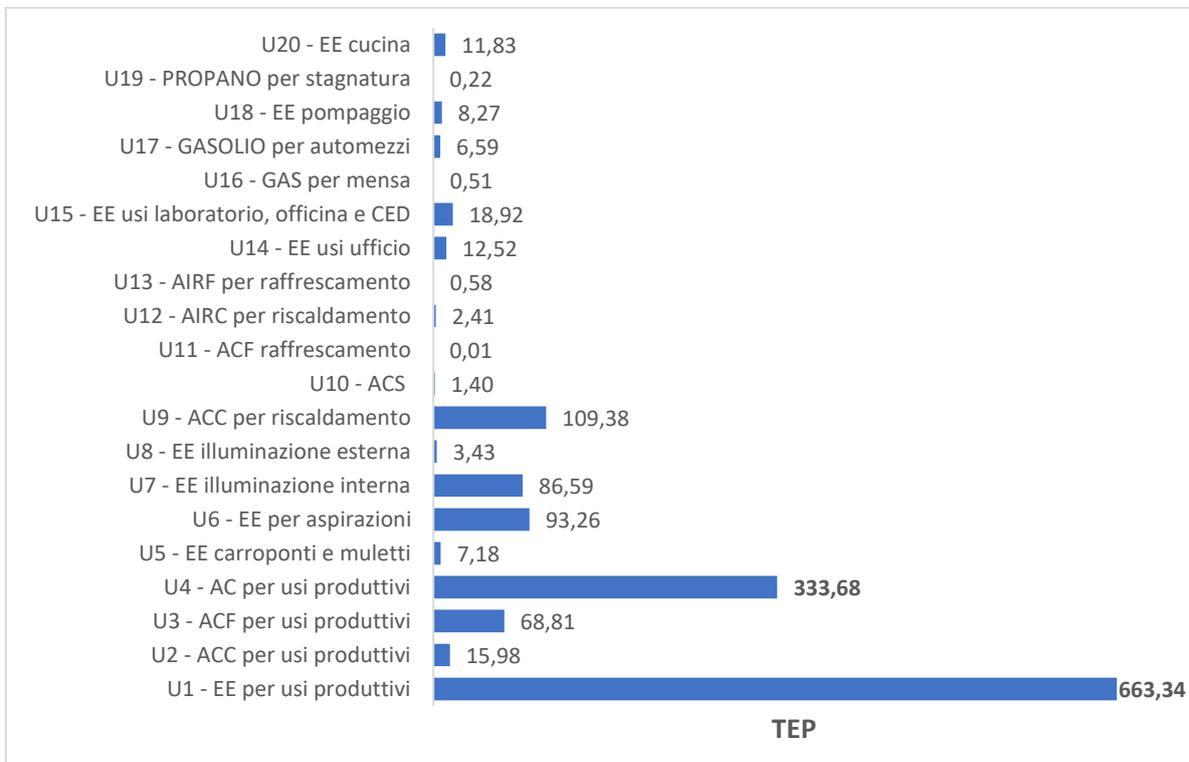


Figura 39: Ripartizione dei consumi in energia primaria per Usi energetici.

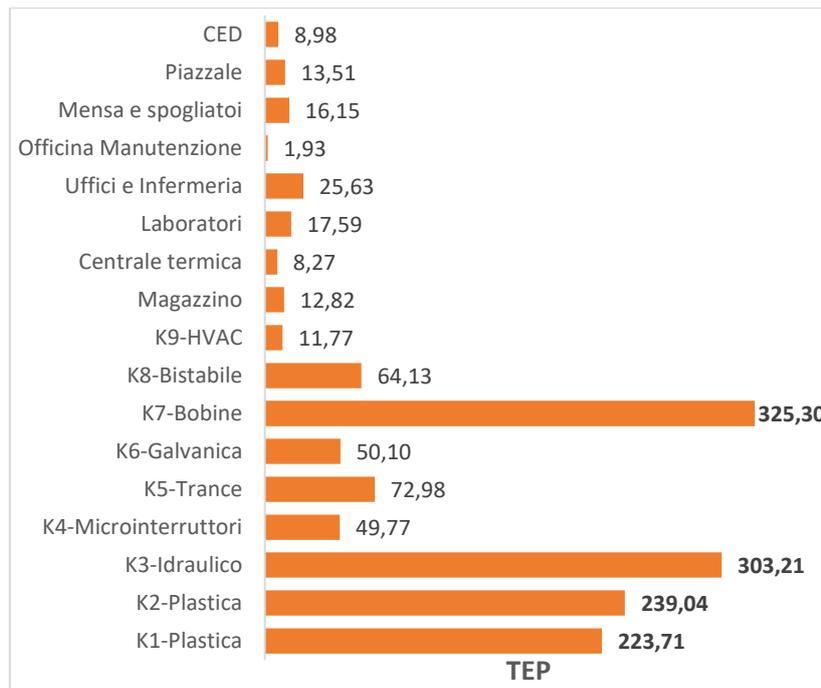


Figura 40: Ripartizione dei consumi in energia primaria per Aree.

Sono presentati due grafici distinti: uno per gli usi e l'altro per le aree. Al fine di integrare le due rappresentazioni è possibile utilizzare il Sankey Diagram.

Sono trascurati i consumi energetici quantificati con un peso < 0.5% del consumo complessivo dello stabilimento (1416 TEP). La somma dei consumi rimanenti rappresenta > del 92% dei consumi totali.

Come si può notare dalle figure, i maggiori consumi sono dovuti all'energia elettrica per usi produttivi nei reparti principali: il reparto di stampaggio plastico (K1 e K2) per la presenza di circa 24 presse; i reparti "idraulico e "Bobine" (K3 e K7) dove sono collocate più linee di assemblaggio e collaudo. Inoltre in K7 è elevato il consumo elettrico per l'utilizzo di grossi volumi di aria compressa.

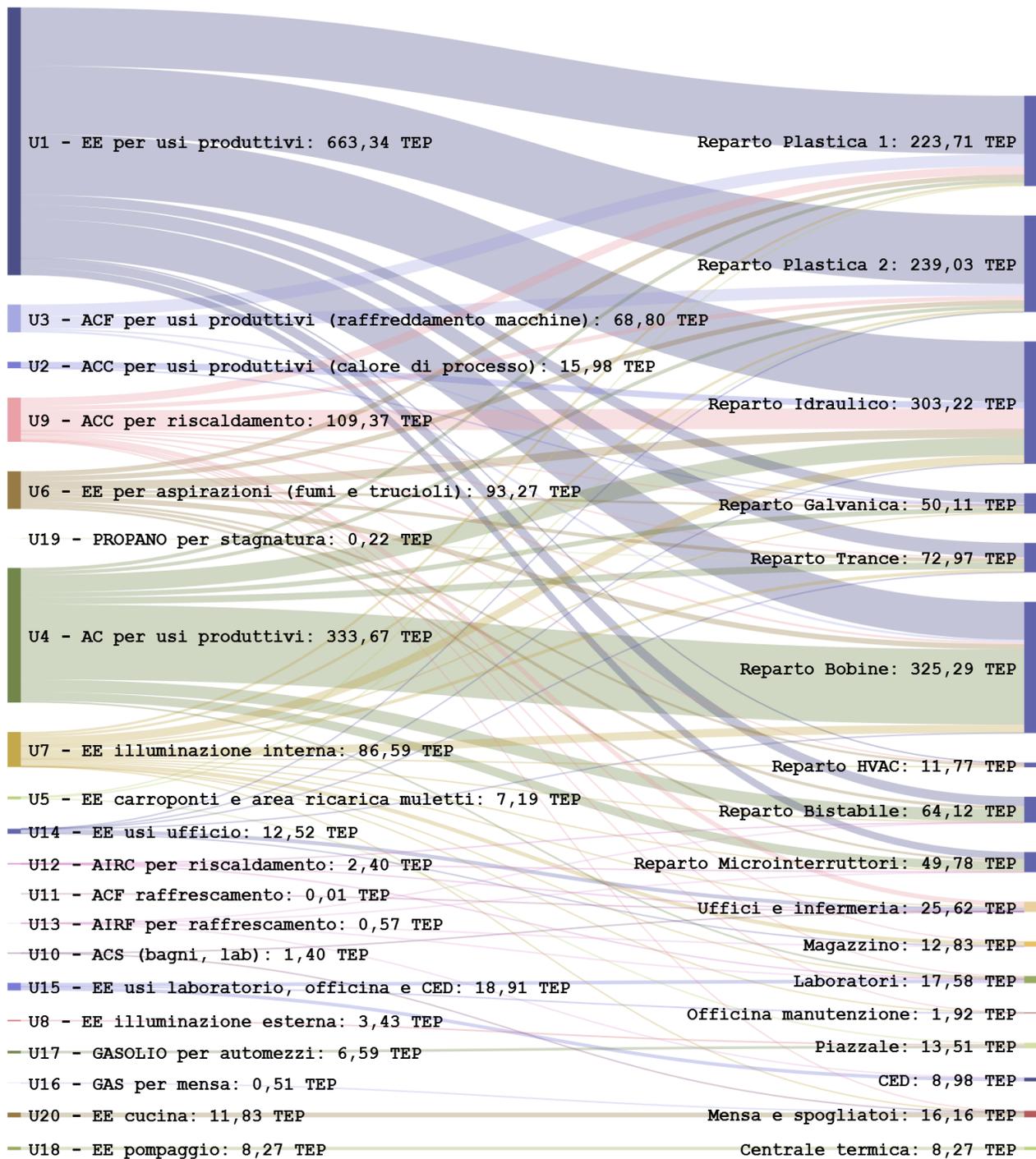


Figura 41: Sankey Diagram.

Dal punto di vista economico, il bilancio può essere così riassunto:

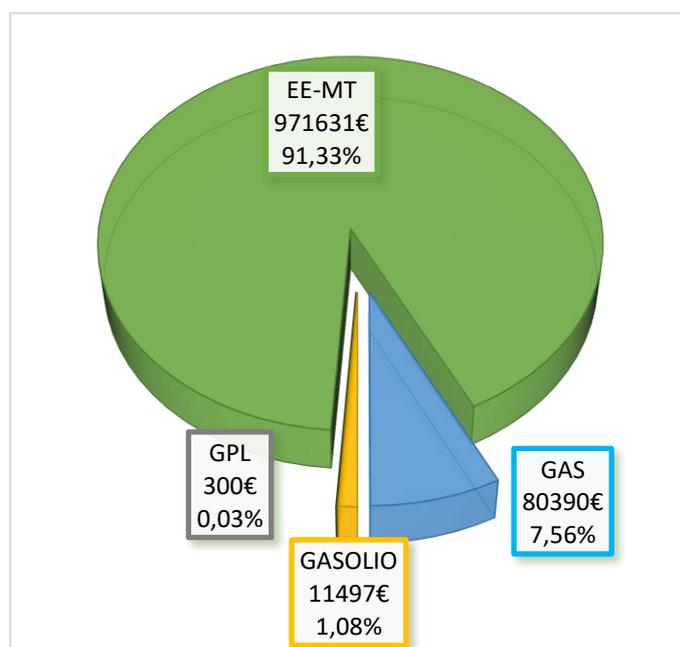


Figura 42: Riassunto bilancio energetico in €

Nell'istogramma successivo è valutata l'incidenza dei costi su ogni singola area.

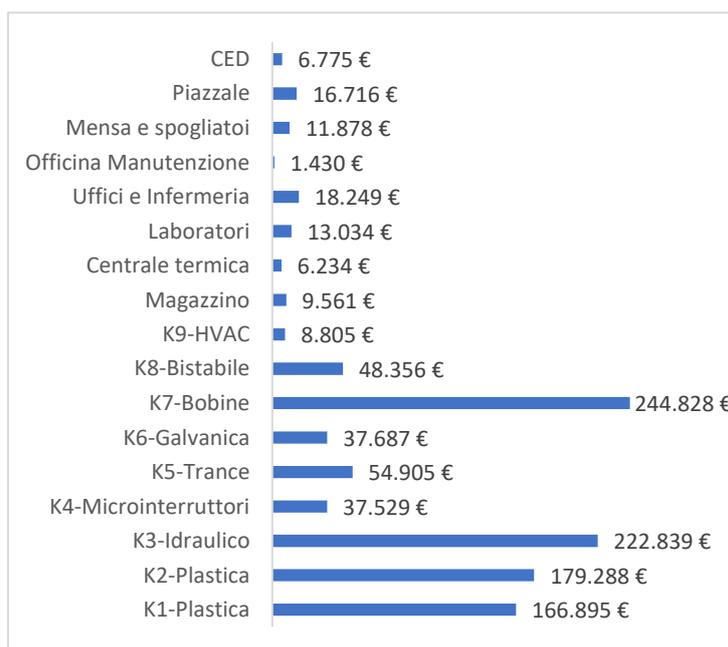


Figura 43: Costo energetico in € diviso per aree.

Un ulteriore diagramma di elevato interesse è il diagramma di Pareto, che mostra come i costi si concentrino per circa l'80% nelle 5 aree maggiormente energivore: i reparti produttivi K7, K3, K2, K1 e K5.

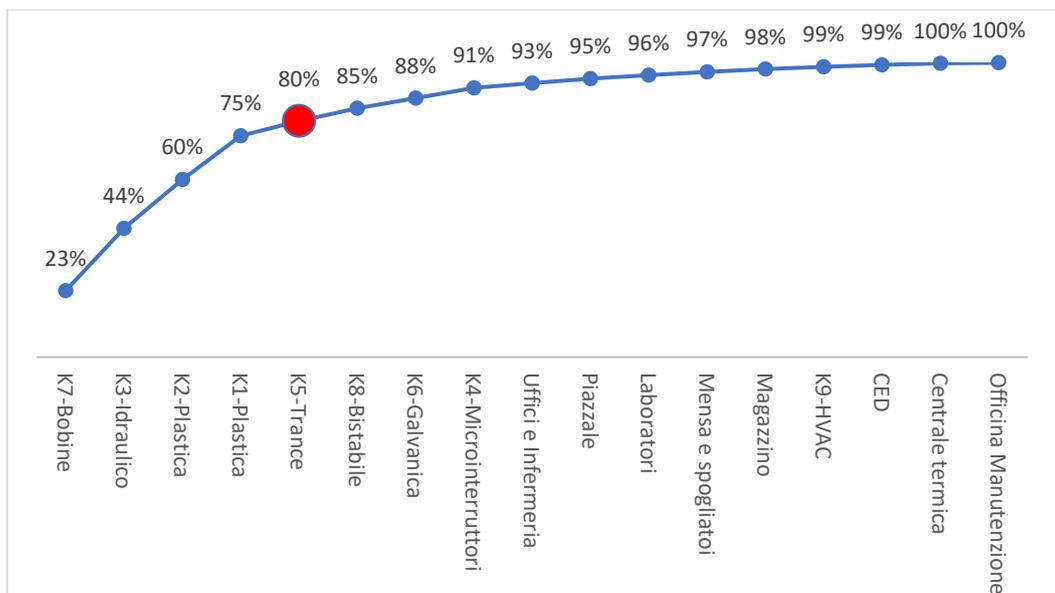


Figura 44: Diagramma di Pareto.

Infine punto di vista ambientale, rivediamo il bilancio energetico, facendo una stima delle emissioni di CO₂ dovute ai consumi energetici, ottenute grazie ai coefficienti introdotti precedentemente.

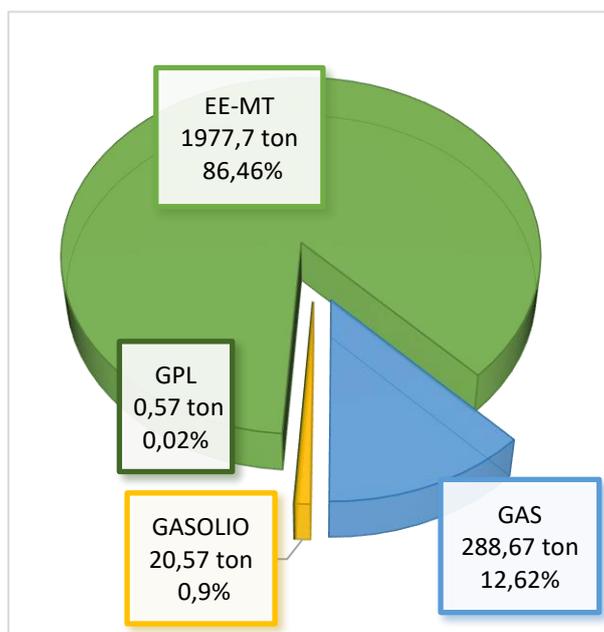


Figura 45: Bilancio energetico in tonnellate di CO₂.

Si considera infine il peso delle emissioni di CO₂ sulle differenti aree dello stabilimento.

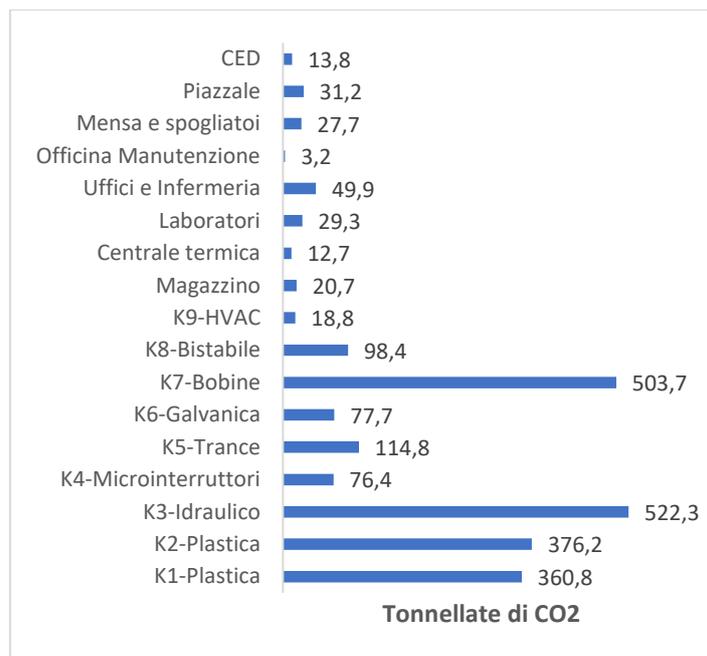


Figura 46: Ripartizione delle emissioni di CO2 in tonnellate in funzione delle aree del sito.

Si può concludere che il bilancio energetico (in energia primaria, costi dell'energia e emissione di CO₂) porta alla medesima situazione di suddivisione dei vettori energetici e ripartizione per le diverse aree dello stabilimento.

In conclusione viene riportata la divisione dei consumi di energia primaria in TEP in funzione delle diverse tipologie di attività (principale, ausiliaria e generale).

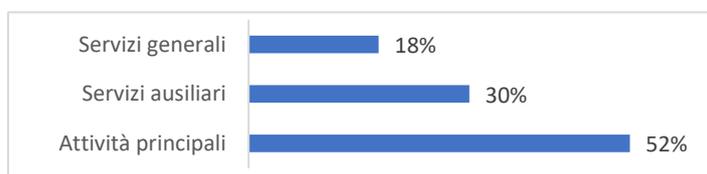


Figura 47: Ripartizione dei consumi (TEP) in base all'attività svolta.

Si mostra di seguito la ripartizione tra vettori primari per tipologia di attività (in TEP).

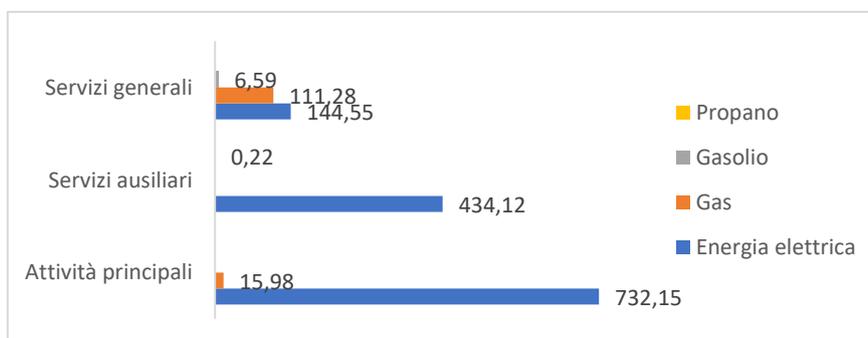


Figura 48: Ripartizione dei vettori primari (TEP) per attività svolta.

7. Copertura misurazioni

Al fine di rendere attendibili gli indicatori di prestazione che si definiranno, i dati sui consumi e sulla produzione forniti devono essere affidabili. A tal scopo, i consumi di processo, dei servizi ausiliari e dei servizi generali devono essere misurati almeno in parte come riportato in tabella nella linea guida ENEA.

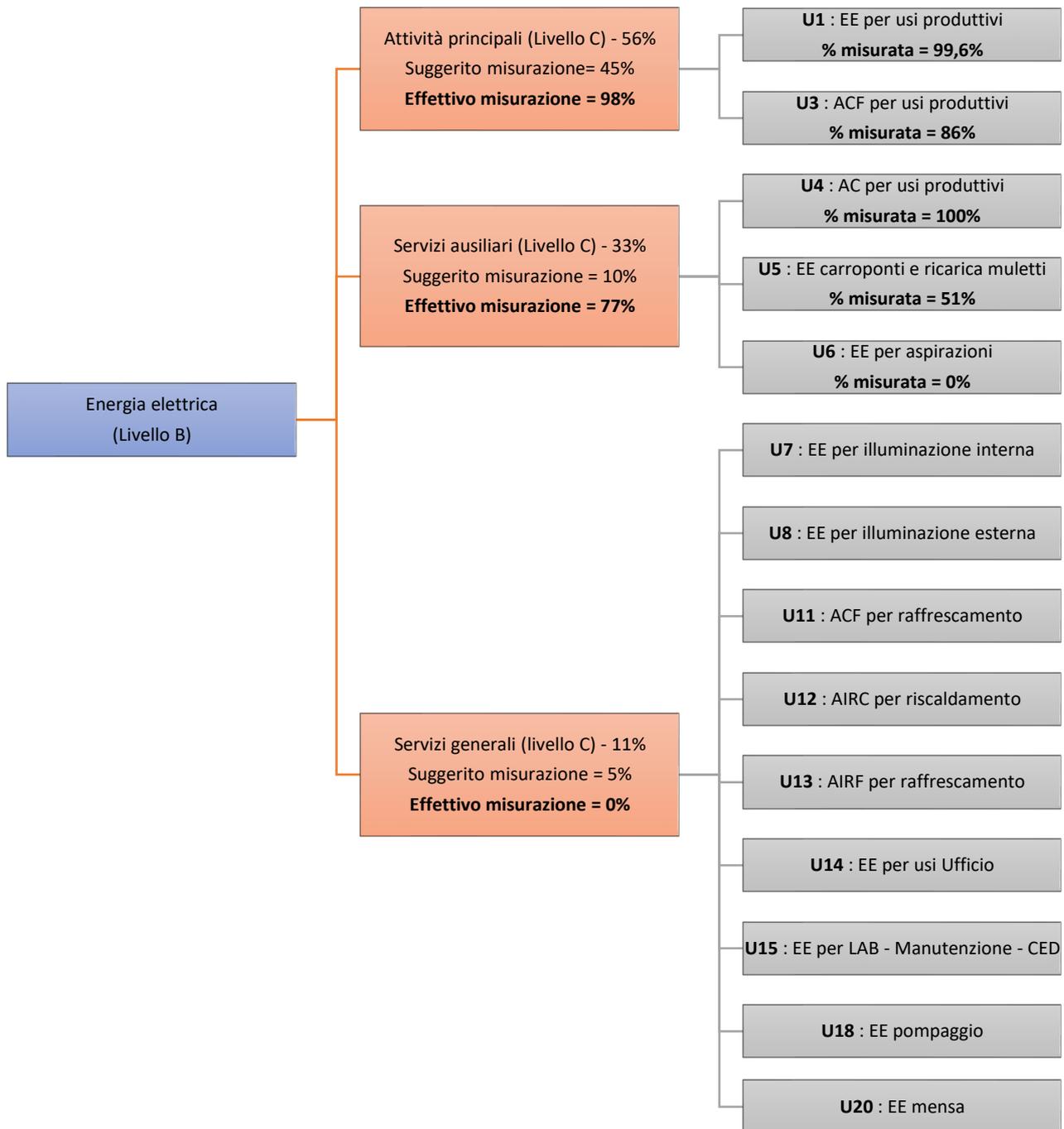


Figura 49: Livelli di copertura sulle misurazioni dell'energia elettrica.

Nel caso del sito in oggetto (1416 TEP di consumo totale), i livelli di copertura minimi richiesti per i dati misurati sono:

- 45% per le attività principali;
- 10% per i servizi ausiliari;
- 5% per i servizi generali.

L'approccio adottato nella presente diagnosi è l'approccio Bottom-Up: si ricavano le misure del livello C come somma delle misure del livello D. Le misure come già specificato derivano da campagne di misurazione su brevi periodi con pinze amperometriche e da letture di misuratori continui non capaci di registrare i dati.

Possono essere esclusi i vettori energetici il cui consumo totale incide per meno del 10% sul totale del consumo del sito, inoltre la somma dei vettori energetici eventualmente esclusi non deve eccedere il 10% del consumo totale dello stabilimento. Nel caso in oggetto si può dunque escludere i vettori primari: Gas naturale, Gasolio e GPL, perché l'energia elettrica rappresenta il 91% del totale consumato (vedi figura 10).

In figura 21 sono riportati i livelli di copertura sulle misure dell'energia elettrica: vengono rispettati i requisiti per le attività principali e per i servizi ausiliari, mentre non vengono rispettati per i servizi generali.

Si dovrebbe dunque attuare interventi di miglioramento del sistema di monitoraggio:

- Installare misuratori dedicati continui con capacità di memoria dati;
- Misuratori specifici per i diversi usi;
- Incrementare la % di copertura, soprattutto per i servizi generali.

Vengono mostrate anche le % di copertura per i vettori primari esclusi.

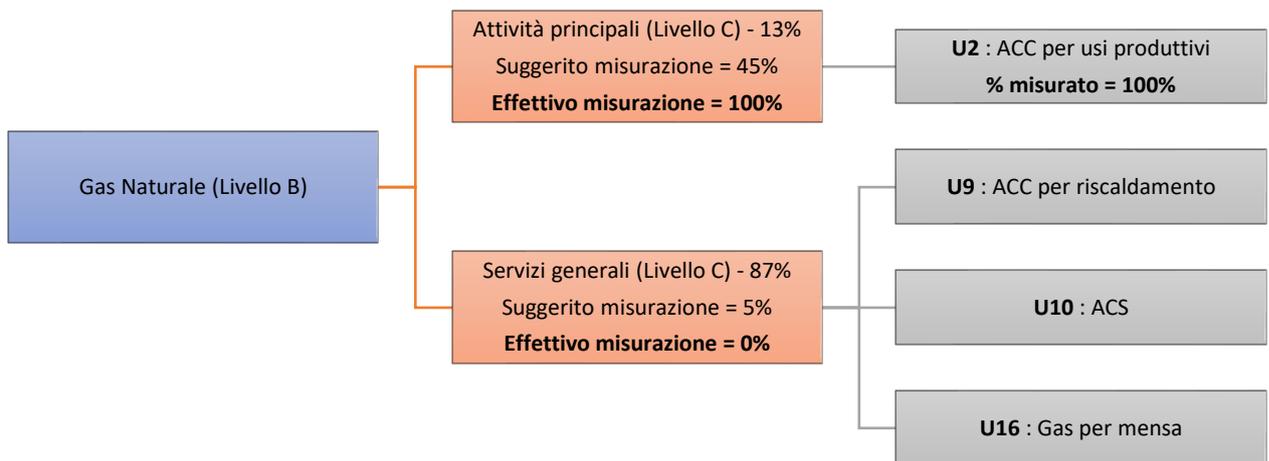


Figura 50: Livelli di copertura sulle misure del Gas Naturale.

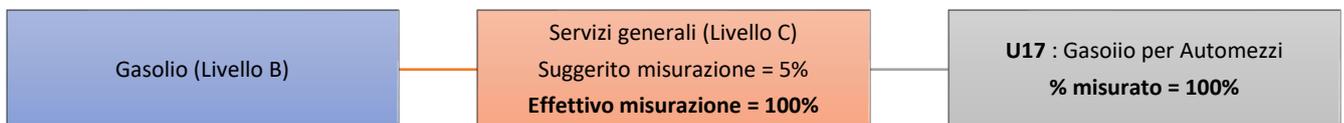


Figura 51: Livelli di copertura sulle misure del Gasolio.

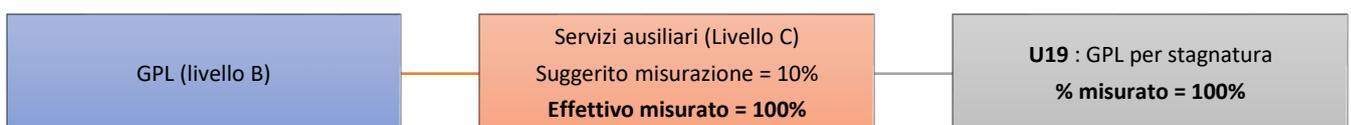


Figura 52: Livelli di copertura sulle misure del GPL.

8. Indicatori energetici

Nella presente diagnosi in allegato C sono riportati gli indici energetici globali del sito, prendendo come riferimento i consumi energetici in kWh di ogni area e la quantità di materiale in kg complessiva acquistata nel 2018. Per valutare questi indici è stato compilato il format ENEA (foglio excel fornito dal sito www.energiaenergetica.enea.it, accesso aggiornato al 05/08/2019).

Per quanto riguarda gli indicatori energetici settoriali, possiamo valutare l'indice di prestazione per lo stampaggio a iniezione della plastica per i reparti K1 e K2 (considerati come un reparto unico). Si prende come riferimento l'analisi energetica prodotta dalla Federazione Gomma Plastica (documento tratto dalla pagina internet www.energiaenergetica.enea.it/allegati/Studio%20ENEA.pdf, accesso aggiornato al 05/08/2019); l'indice energetico per lo stampaggio della plastica è riportato in figura.

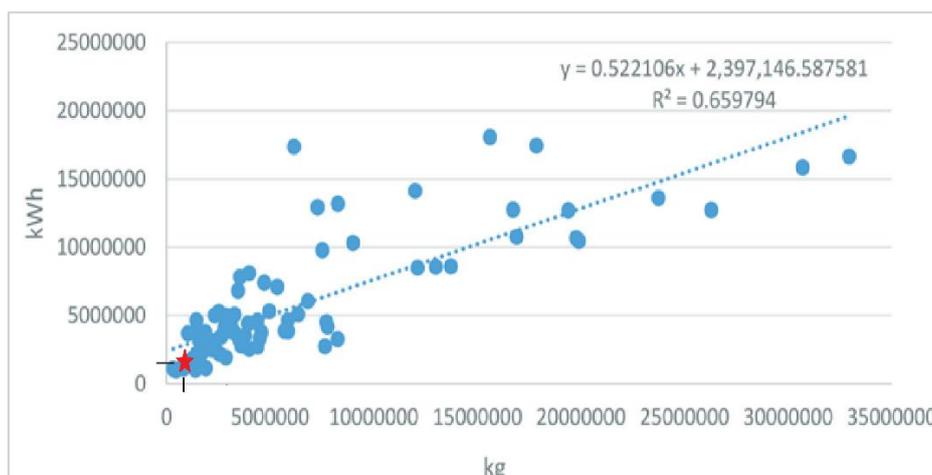


Figura 53: Retta di regressione kWh x kg di plastica stampata.

In figura è riportato (in rosso) l'indicatore energetico relativo al reparto stampaggio plastica (K1 e K2) del sito in oggetto. Si può vedere che lo stabilimento di Dronero si colloca in termini di indicatore energetico al di sotto della retta di regressione, è quindi efficiente. In tabella viene esplicitato l'indicatore energetico.

Plastica acquistata (2018) [kg]	1.198.482
Fattore di utilizzo interno	90%
Plastica utilizzata internamente [kg/anno]	1.078.634
Energia elettrica consumata nei reparti K1 e K2 (comprende EE per presse, essiccatori e turbine per tiraggio materiale) [kWh/anno]	1.679.359
Indicatore energetico per stampaggio plastica ad iniezione [kWh/kg]	1,557

Tabella 40: Dati reparto stampaggio plastica dello stabilimento di Dronero.

9. Interventi di efficientamento

Al termine dell'analisi dei consumi vengono individuate alcune proposte di efficientamento. Le analisi economiche sono state svolte considerando un tasso d'interesse dell'8%, per valutare il valore attuale netto (NPV) e il tasso interno di rendimento (IRR) a 5 anni.

$$NPV = -I + \frac{(1+i')^n - 1}{i' * (1+i')^n} * R$$

Dove 'n' è il numero di anni, 'I' l'investimento, 'R' il risparmio e 'i' il tasso d'interesse.

9.1. Interventi già effettuati

Negli ultimi anni sono stati effettuati una serie di interventi di efficientamento ed ammodernamento del sistema energetico in oggetto di studio. In particolare, si riportano i seguenti:

- Installazione di un sistema di illuminazione interna a LED (2016) nei reparti produttivo K8 e nell'attrezzatura del reparto K5: la potenza dei corpi illuminanti è di 22 W in sostituzione delle lampade neon a 58 W.
- Installazione di un sistema di illuminazione esterna a LED nel piazzale e sotto la copertura della tettoia tra i due capannoni.
- Impianto Frigel: nuovo impianto per la produzione e distribuzione dell'acqua di raffreddamento dell'olio delle presse idrauliche, che deve essere mantenuto a 35-40°C. Consiste in una batteria adiabatica che raffredda l'acqua di ritorno (30-32°C) a 25°C, che agisce tramite l'utilizzo di ventilatori. Per raffreddare l'acqua di ritorno non serve dunque un gruppo frigo, viste le elevate temperature, ma è sufficiente l'aria esterna allo stabilimento, anche in estate. Questo installazione ha permesso di ridurre il quantitativo di acqua di falda precedentemente utilizzato, perché è un circuito chiuso; eliminando inoltre il problema del calcare, che causava l'ostruzione delle tubazioni e di conseguenza una grande richiesta di manutenzione.
- Batteria adiabatica: Preraffredda l'acqua in inverno, diminuendo il carico di lavoro delle unità frigorifere del gruppo per il raffreddamento degli stampi delle presse.
- Sostituzione della caldaia a gas naturale, con una di nuova generazione a condensazione: De Dietrich F-67580 da 350-550 kW_{th} (in funzione da Gennaio 2019) con un rendimento superiore al 98%. Di seguito si possono notare i miglioramenti sui consumi del gas naturale dovuti alla sostituzione della caldaia, dopo la verifica del corretto dimensionamento delle due caldaie.

Per analizzare il corretto dimensionamento della caldaia, si definisce la potenza termica utile di progetto, che dovrà poi essere confrontata con quella nominale fornita dai dati di targa della caldaia in oggetto di studio.

$$Potenza\ termica\ di\ progetto = Consumo \left[\frac{Sm^3}{giorno} \right] * \frac{1}{24} \left[\frac{giorno}{h} \right] * \eta_{caldaia} * H_i \left[\frac{kWh}{Sm^3} \right] \quad (2.1)$$

Dove il consumo giornaliero viene valutato a partire dalla retta di regressione nel punto corrispondente alla temperatura di progetto:

$$T_{progetto} = -10^{\circ}C$$

Nella formula sono presenti:

- l'efficienza della caldaia ($\eta_{caldaia}$): 92% (caldaia da sostituire) e 98% (caldaia a condensazione)

- e il potere calorifico inferiore del gas naturale: $H_i = 9,5 \left[\frac{kWh}{Sm^3} \right]$.

La retta di regressione deriva dal grafico del consumo giornaliero di gas naturale in funzione della temperatura media esterna. La temperatura media esterna massima del grafico è 20°C, dato che a temperature più alte il riscaldamento si spegne e il consumo è dovuto unicamente al calore di processo.

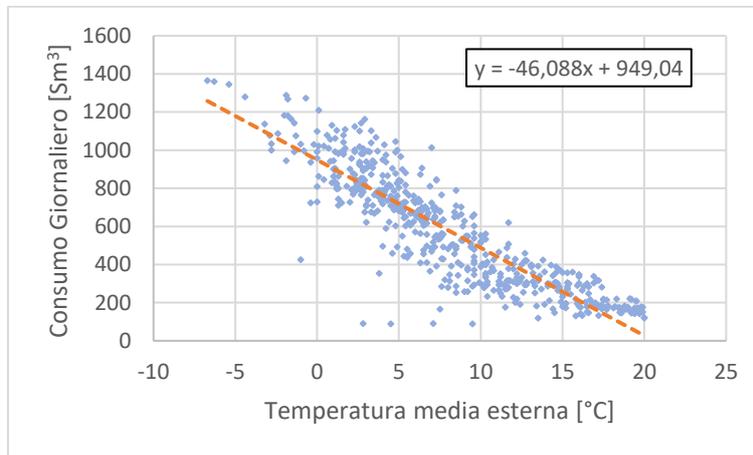


Figura 54: Consumo per la temperatura esterna - Caldaia sostituita

Nel grafico precedente è riportata la retta di regressione della caldaia sostituita, utilizzando i dati da Ottobre 2016 a Dicembre del 2018:

$$\text{Consumo Gas 1} = -46,09 * T_{esterna} + 949,04 \left[\frac{Sm^3}{giorno} \right] \quad (2.2)$$

Il medesimo approccio è utilizzato per la caldaia a condensazione, in funzione a partire da Gennaio 2019.

$$\text{Consumo Gas 2} = -39,22 * T_{esterna} + 870,96 \left[\frac{Sm^3}{giorno} \right] \quad (2.3)$$

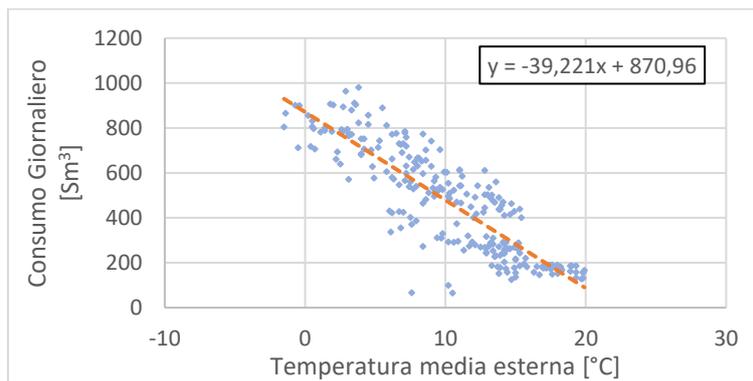


Figura 55: Consumo per la temperatura esterna - Caldaia a condensazione

Trovate le due caratteristiche, entrambe con coefficienti significativi, vengono valutati i consumi dei due modelli alla temperatura esterna di progetto (-10°C) e la corrispettiva potenza termica. Il risultato ottenuto è inferiore al dato di targa. Però questa verifica prende in considerazione esclusivamente la retta di regressione trovata, che equivale alla media di tutte le possibili condizioni. Quindi per verificare che i dimensionamenti di entrambe le caldaie siano globalmente corretti, alla soluzione precedente viene aggiunto l'errore standard, che comprende la dispersione dei dati nei

due grafici. Così facendo si stima il consumo alla temperatura di progetto nella condizione peggiore; la caldaia lavora con un rendimento più basso. In tabella sono riportati i risultati.

	Potenza termica utile da targa [kW]	Rendimento	Consumo in condizioni di progetto [Sm ³]	Potenza Termica Utile in condizioni di progetto [kW]	Errore standard [Sm ³]	Consumo + errore in condizioni di progetto [Sm ³]	Potenza Termica Utile (+ errore) in condizioni di progetto [kW]
Caldaia 2018	581	92%	1.410	513	137	1.547	563
Caldaia 2019	530	98%	1.263	460	120	1.383	504

Tabella 41: Risultati dimensionamento.

Anche nella condizione peggiore la potenza termica utile è inferiore al dato di targa per entrambe le caldaie, ovvero sono state correttamente dimensionate in relazione al fabbisogno, evitando anche un sovradimensionamento eccessivo.

Verificato il corretto dimensionamento della caldaia, si valutano i benefici prodotti dalla sostituzione della caldaia. Riprendendo i modelli studiati in precedenza nell'analisi statistica, per stimare il risparmio si utilizzano le seguenti caratterizzazioni del sistema:

- Per la caldaia sostituita si utilizza la caratteristica del secondo periodo:

$$\text{Consumo Caldaia 2018} = 50,44 * GG_{coretti} + 5.124,2 \left[\frac{Sm^3}{mese} \right] \quad (2.4)$$

Con un errore standard di $3.018,6 \left[\frac{Sm^3}{mese} \right]$.

- Per la caldaia a condensazione, si fa riferimento al modello del terzo periodo:

$$\text{Consumo Caldaia 2019} = 45,74 * GG_{coretti} + 1.612,5 \left[\frac{Sm^3}{mese} \right] \quad (2.5)$$

Con un errore standard di $1.612,5 \left[\frac{Sm^3}{mese} \right]$.

I gradi giorno corretti nelle rette di regressione sono i gradi giorno, con una temperatura interna di 20°C, moltiplicati per il fattore "F" (mostrato in figura 29) e raggruppati mese per mese. Lo studio del risparmio si riferisce ai mesi da Gennaio a Novembre 2019. In tabella sono riportati i risultati.

	Consumo medio [Sm ³]	Consumo medio + errore [Sm ³]	Consumo medio - errore [Sm ³]
Caldaia 2018	156.698	189.903	123.494
Caldaia 2019	135.575	153.313	117.838
Risparmio	13%	19%	5%

Tabella 42: Beneficio sostituzione caldaia.

Il risparmio così ottenuto, basato sulle misure di consumi reali e sulla modellizzazione del sistema, in termini di volume di gas naturale utilizzato varia dal 19% in caso di funzionamento a basso rendimento, al 5% nella condizione di massima efficienza. Quest'ultimo dato corrisponde indicativamente alla differenza di efficienza (da targa) delle dei due boiler.

9.2. Interventi generali di efficientamento

I primi tre interventi proposti sono rivolti al miglioramento del sistema globale dello stabilimento, sono quindi di carattere generale, e non prendono in considerazione i processi produttivi dell'azienda.

9.2.1. Opportunità # 1: Isolamento copertura capannone B

La richiesta attuale di potenza termica per riscaldare gli ambienti del sito è riassunta nella tabella seguente (valori ottenuti mediante stime).

Zona	kWh _{th} /m ² /anno
CAP. A	28,4
CAP. B	239,7
Uffici A	55,2
Uffici B	110,1

Tabella 43: Potenza termica richiesta per il riscaldamento, suddivisa per zone.

Dalla tabella si nota che la richiesta di potenza per il riscaldamento del capannone B è molto elevata, questo è dovuta all'assenza di isolamento della copertura del capannone. Quindi, per risparmiare in termini di gas naturale consumato, si potrebbe aggiungere uno strato di isolante, ad es.: 7 cm di poliuretano ($R = 0,03 \frac{W}{mK}$).

In tabella è riportata l'analisi costi-benefici.

Opportunità # 1: Isolamento copertura capannone B		
Consumo Gas Naturale pre-intervento [Sm ³]	146.163	Sm ³
Consumo Gas Naturale post-intervento [Sm ³]	78.237	Sm ³
Risparmio Gas Naturale [Sm ³]	67.926	Sm ³
Risparmio economico annuo	37.359	€
Costo unitario di intervento [€/m ²]	30	€/m ²
Area copertura capannone B [m ²]	3.616	m ²
Investimento	108.474	€
Pay back semplice (anni)	2,90	anni
IRR a 5 anni	21%	-
VAN a 5 anni	37.676	€
VAN/Investimento	0,35	-

Tabella 44: Analisi costi e benefici per l'opportunità #1.

9.2.2. Opportunità # 2: Impianto fotovoltaico

È stato sviluppato uno studio di fattibilità per l'introduzione di un impianto fotovoltaico. L'impianto è stato progettato per essere installato sulla copertura del capannone B, con una producibilità attesa di oltre 300 MWh all'anno. In tabella è riportata l'analisi costi-benefici.

Opportunità # 2 : Impianto fotovoltaico		
Potenza di picco moduli	270	W
Numero di moduli	990	-
Potenza di picco impianto	267	kW
Producibilità attesa	1.140	kWh/kWpicco
Energia autoprodotta	304.722	kWh
Risparmio economico annuo	42.966	€
Costo investimento	230.600	€
Pay back semplice	4,3	anni
IRR a 5 anni	5,3%	-
VAN a 5 anni	-11.972	€
VAN/Investimento	-0,05	-

Tabella 45: Analisi costi e benefici per l'opportunità #2

9.2.3. Opportunità # 3: Illuminazione a LED

Si prosegue il progetto di sostituzione dei corpi illuminanti NEON di potenza 2x58 W con lampade a LED di potenza 2x22 W presenti in tutto lo stabilimento. Il risparmio d'energia è circa del 60% per ogni corpo illuminante sostituito. In tabella è riportata l'analisi costi-benefici.

Opportunità # 3: Illuminazione a LED		
Neon	2x58	W/corpo illuminante
Consumo EE pre-intervento	357.651	kWh
LED	2x22	W/corpo illuminante
Consumo EE post-intervento	135.661	kWh
Risparmio energia elettrica	221.990	kWh
Fattore efficienza LED	90%	-
Risparmio economico annuo	28.171	€
Costo unitario di sostituzione	116	€/corpo illuminante
Numero corpi illuminanti da sostituire	416	-
Investimento	48.256	€
Pay back semplice (anni)	1,7	anni
IRR a 5 anni	51%	-
VAN a 5 anni	59.464	€
VAN/Investimento	1,23	-

Tabella 46: Analisi costi e benefici per l'opportunità #3.

9.3. Interventi di efficientamento relativi ai processi produttivi

In seguito all'analisi deterministica, l'analisi dei consumi, è noto che il reparto che richiede una maggiore quantità di energia sia il reparto di stampaggio plastico. Ciò è dovuto alla presenza di presse a iniezione per lo stampaggio plastico, che sono macchinari estremamente energivori. Oltre alle presse vi sono sistemi collaterali, come il gruppo frigo per il raffreddamento degli stampi e la batteria adiabatica (Frigel) per il raffreddamento dell'olio delle presse idrauliche. Inoltre è presente un sistema di essiccazione e tiraggio del materiale.

9.3.1. Opportunità # 1: controllo elettronico frigo

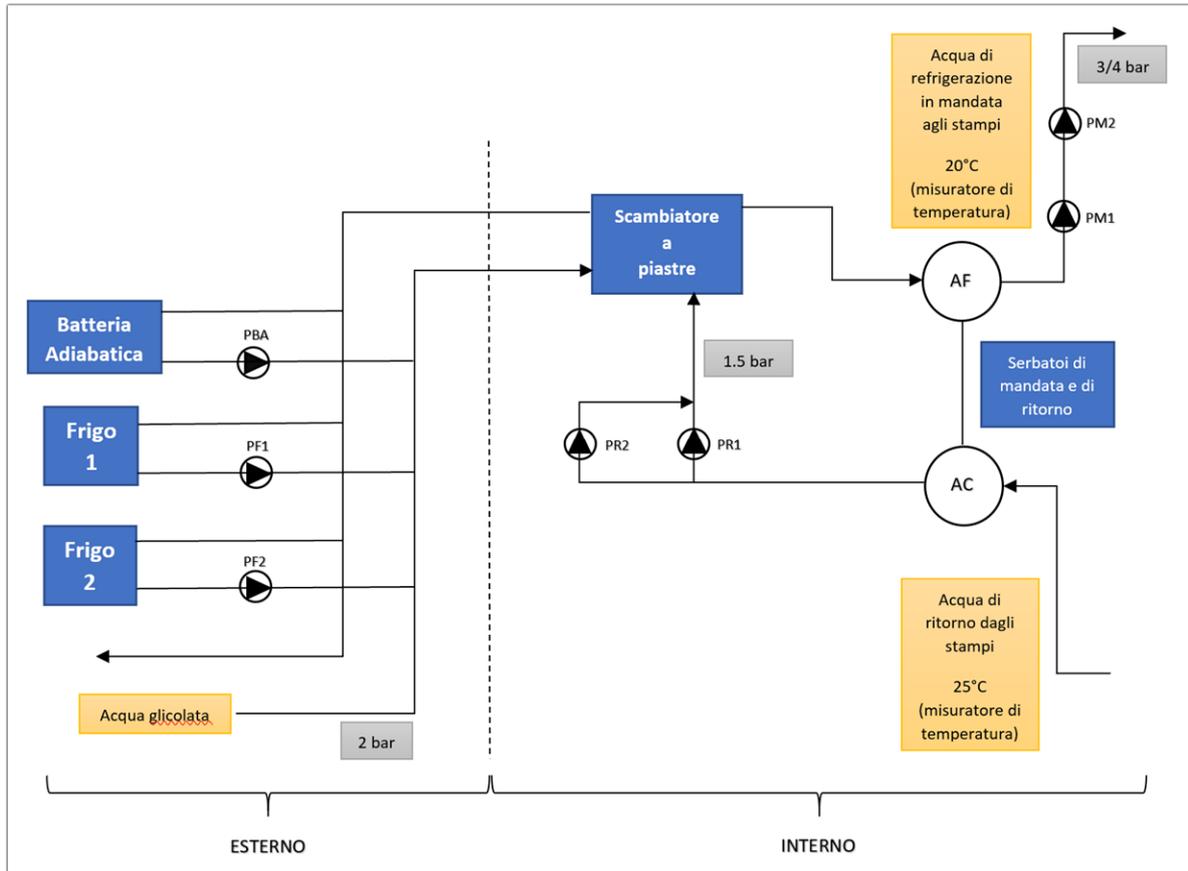


Figura 56: Schema impianto di refrigerazione per gli stampi delle presse.

Nelle figura precedente è riportato lo schema dell'impianto di refrigerazione degli stampi delle presse a iniezione, presenti nel reparto plastica. L'impianto presenta un circuito esterno ad acqua glicolata (soluzione acqua e glicole capace di non far congelare l'acqua nelle tubazioni nei mesi invernali) e un circuito ad acqua interno all'edificio, circuito chiuso, dove l'acqua viene direttamente fornita alle presse per la refrigerazione.

Il gruppo frigo è composto da 3 unità in parallelo:

- Batteria adiabatica
- Frigo 1
- Frigo 2

L'acqua proveniente dallo scambiatore ($T \approx 20^{\circ}\text{C}$) viene raffreddata dalle unità frigo fino a $14 \div 15^{\circ}\text{C}$; l'acqua nel circuito è mantenuta a una pressione di 2 bar. Nello scambiatore di calore a piastre i due circuiti interagiscono: il circuito interno cede calore al circuito esterno. L'acqua di ritorno dagli stampi viene

raffreddata da 25°C a 20°C. Inoltre sono presenti nel circuito secondario due piccoli accumuli d'acqua (AF e AC in figura), uno sulla mandata e uno sul ritorno, da 3 m³ ciascuno.

Per movimentare e mantenere in pressione l'acqua nei circuiti, sono presenti un certo numero di pompe. Nel circuito primario ogni unità frigo possiede la propria pompa idraulica. Nel circuito secondario sono installate due pompe modulanti con inverter in serie sulla mandata (PM1 e PM2); capaci di variare la velocità (quindi mantenere un pressione sulla mandata di 3÷4 bar) e in caso di carico minimo, una delle due si spegne. Sul ritorno le pompe idrauliche (PR1 e PR2 per mantenere 1,5 bar) sono installate in parallelo, per un motivo di ridondanza. Tutte le pompe del circuito sono a portata fissa, ad eccezione delle pompe in mandata del circuito interno (modulanti con inverter).

Il controllo dell'impianto viene effettuato da misuratori di temperatura inseriti all'interno del circuito. Nel circuito secondario le due sonde sono installate sulla mandata e sul ritorno. Nel circuito primario ciascuna unità possiede il proprio misuratore; la batteria adiabatica per il proprio funzionamento è inoltre equipaggiata di un termometro per la temperatura esterna.

Di seguito sono riportate le misurazioni effettuate mediante l'utilizzo di una pinza amperometrica, che è stata installata in modo da misurare i consumi dovuti al funzionamento del gruppo frigo composto da due unità frigo e una batteria adiabatica.

	Resa frigorifera nominale [kWh _{fr}]	Potenza compressori [kW]		Rendimento [kW _{fr} /kW]	Potenza pompa [kW]		Prevalenza pompa [bar]	Portata pompa [l/min]	Potenza ventilatori [kW]		Portata ventilatori [m ³ /h]
		Assorbita nominale	Installata		Assorbita nominale	Installata			Assorbita nominale	Installata	
Frigo 1	200	2x18,6	2x30	5,4	5,2	7,5	3,6	570	3x1,35	3x1,5	53.000
Frigo 2	116	2x11,6	2x18,5	5	3,2	4	3,4	330	2x1,3	2x1,5	32.000
Batteria adiabatica	175	-	-	12	7,5	9	4,4	600	4x1,9	4x2,1	72.000

Tabella 47: Dati di targa dei componenti del gruppo frigo del reparto plastica.

Come è visibile nello schema precedente, le tre unità sono disposte in parallelo; la prima è la batteria adiabatica, che preraffredda l'acqua di ritorno dallo scambiatore quando la differenza di temperatura tra essa e la temperatura esterna è maggiore di 5°C. Quindi in presenza delle giuste condizioni ambientali, la richiesta di potenza elettrica per la refrigerazione degli stampi diminuisce, consentendo di risparmiare in termini di ore di accensione delle due unità frigo e di conseguenza di risparmiare elettricità.

Nella tabella sono riportati i dati di targa del gruppo frigo. La resa frigorifera nominale per i due frigoriferi è calcolata alla temperatura esterna di 25°C, raffreddando l'acqua a 15°C. Se la temperatura esterna decresce, la resa frigorifera aumenta. In ogni frigo sono presenti due compressori a portata fissa: in base alla richiesta avviene l'accensione o lo spegnimento dei compressori. Durante il funzionamento inizialmente si accende un compressore, successivamente, quando la temperatura dell'acqua di ritorno aumenta di 0.5°C, si accende il secondo compressore.

L'impianto è progettato in modo che il "frigo 1" funzioni da "Base load", quando la batteria adiabatica non è in funzione, mentre il "frigo 2" si attiva quando la richiesta di refrigerazione non viene coperta dal "frigo 1".

I due periodi monitorati, anche se piuttosto brevi, forniscono alcune importanti informazioni, riguardante l'effettivo assorbimento elettrico del gruppo.

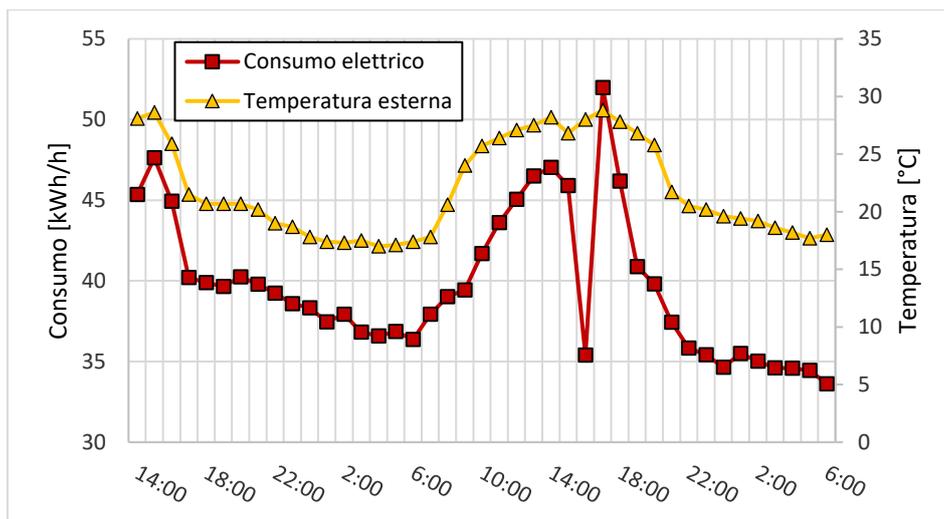


Figura 57: Gruppo frigo - Misurazione assorbimento elettrico e rispettiva temperatura esterna (Giugno 2019).

La misurazione che mostra il funzionamento estivo del gruppo frigo è stata effettuata in due giorni feriali di Giugno 2019.

I dati misurati dell'assorbimento elettrico sono stati messi in correlazione con alcuni possibili energy driver, ovvero le variabili che possono influenzare i consumi dell'impianto:

- Produzione oraria (pezzi prodotti all'ora e kg di prodotto all'ora)

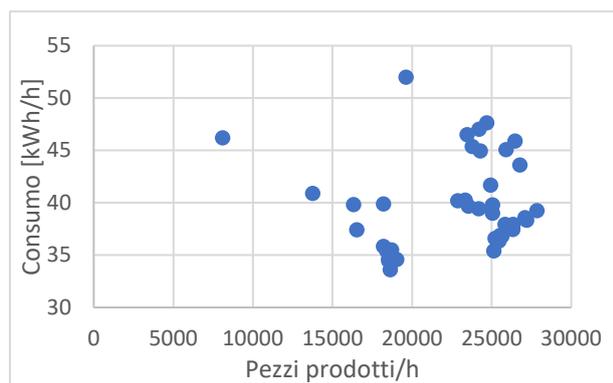


Figura 58: Grafico del consumo elettrico e pezzi prodotti orari.

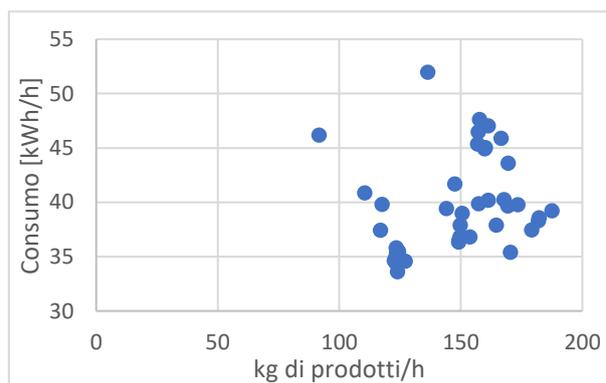


Figura 59: Grafico del consumo elettrico e kg di prodotto orari.

Dai due grafici si nota come la variabile produzione non influenzi in modo chiaro l'assorbimento elettrico.

- Temperatura esterna oraria.

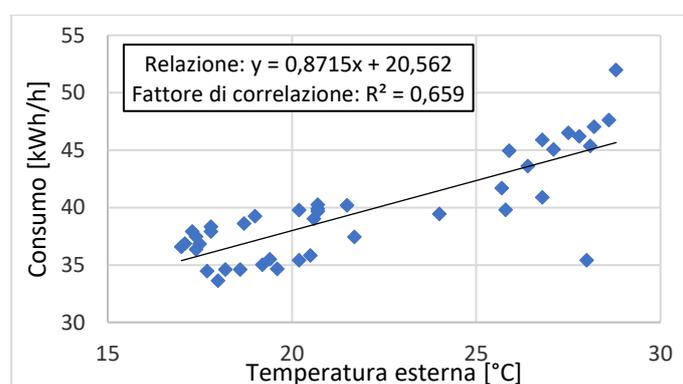


Figura 60: Legame tra consumo e temperatura esterna oraria.

Diversamente da prima, la temperatura esterna è un buon energy driver, infatti come si nota in figura, l'andamento dei consumi estivi è simile all'andamento della temperatura esterna.

Successivamente è stato misurato l'assorbimento elettrico del gruppo nella configurazione invernale, a Gennaio 2020, nell'arco di una intera settimana.

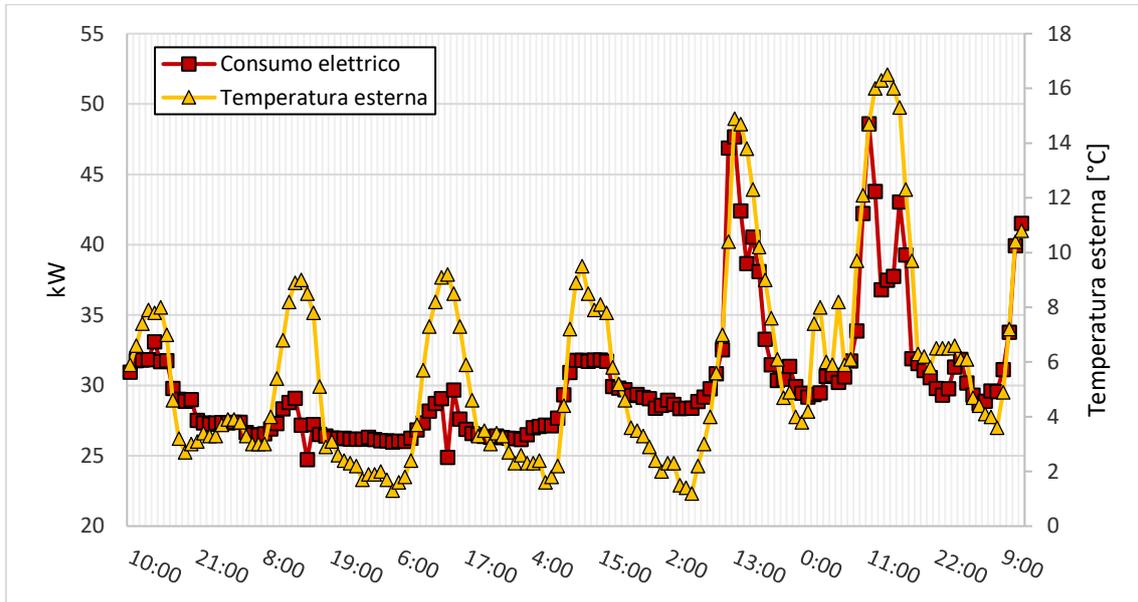


Figura 61: Gruppo frigo - Misurazione assorbimento elettrico e rispettiva temperatura esterna (Gennaio 2020).

In figura è riportato il consumo invernale del gruppo frigo; si può notare come la potenza assorbita dall'impianto sia inferiore al caso estivo. Infatti in estate viene assorbita una potenza media oraria di 40 kW, mentre in inverno sono richiesti 30 kW di potenza media oraria.

Anche in questo caso si studia la relazione tra consumo elettrico e la variabile: "temperatura esterna".

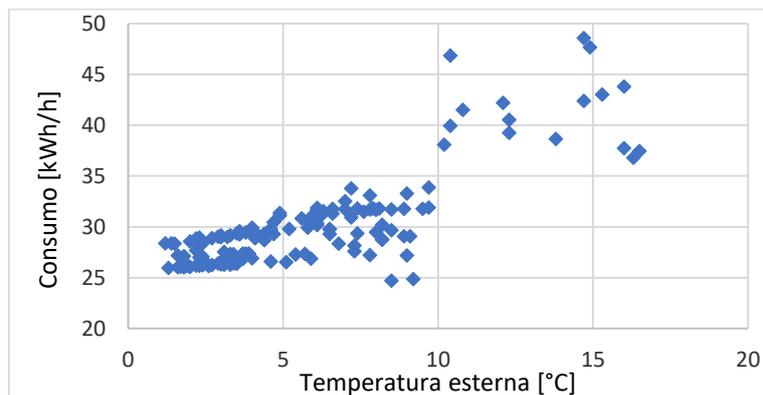


Figura 62: Grafico del consumo elettrico invernale in relazione alla temperatura esterna.

Con questa configurazione la dipendenza tra consumo elettrico e temperatura esterna è meno evidente. Nella prima parte del grafico, fino alla temperatura di 8÷9°C, è evidente il funzionamento della batteria adiabatica (talvolta supportata dal frigo 1), ma senza una ben definita caratteristica. Mentre della seconda porzione del grafico, quando la temperatura esterna aumenta, i consumi crescono rapidamente, dovuto al minore funzionamento o spegnimento della batteria adiabatica e all'accensione a pieno carico dei compressori del "frigo 1".

Si nota però un problema di controllo del gruppo frigo. In inverno, come già visto, grazie alle basse temperature si aziona la batteria adiabatica che permette di avere un notevole risparmio di energia.

Nonostante ciò il risparmio di energia potrebbe essere superiore a quello momentaneamente presente. Infatti durante il funzionamento della sola batteria adiabatica, capace di coprire la richiesta di freddo del reparto plastica (durante il turno di notte), le pompe di circolazione dell'acqua dei due frigo sono comunque attive (PF1 e PF2 nello schema). Queste pompe funzionano sempre perché ciascun frigo deve misurare la reale temperatura dell'acqua di ritorno in modo da potersi accendere in caso di bisogno.

Questo spreco di energia elettrica potrebbe essere evitato introducendo un controllo elettronico, che misurando la temperatura dell'acqua di ritorno accenda e spenga le pompe di circolazione dell'acqua. Il misuratore di temperatura dovrebbe essere collocato all'uscita della batteria adiabatica, che preraffredda l'acqua di ritorno in inverno, mentre in estate non apporta alcun beneficio a causa delle temperature elevate.

Non conoscendo con esattezza l'andamento dei consumi annuali del gruppo frigo, si può comunque adottare una stima semplificata del risparmio dovuto all'installazione di un controllo elettronico:

- Primavera-estate-autunno (265 giorni): spegnimento della pompa del "frigo 2" durante il terzo turno.
- Inverno (100 giorni): pompa del "frigo 2" sempre spenta e pompa del "frigo 1" spenta durante il terzo turno.

$$\text{Risparmio elettricità annuo} = 3,2 [kW] * 8[h] * 265 [\text{giorni}] + (3,2 [kW] * 24[h] + 5,2 [kW] * 8[h]) * 100 [\text{giorni}] \cong 18.600 \frac{kWh}{\text{anno}} \quad (3.1)$$

$$\text{Risparmio denaro annuo} \cong 18.600 \frac{kWh}{\text{anno}} * 0,141 \frac{\text{€}}{kWh} \cong 2.600 \frac{\text{€}}{\text{anno}} \quad (3.2)$$

Ipotizzando, un costo di 300-500 € per un sensore di temperatura con interfaccia per il controllo elettronico di accensione e spegnimento delle pompe di circolazione dell'acqua, è possibile fare una valutazione economica dell'intervento. I sensori installati saranno due, uno per ciascun frigo.

In tabella sono riportati i risultati dell'analisi economica.

Opportunità #4: Controllo elettronico pompe del gruppo frigo		
Risparmio energia annuo	18.600	kWh
Risparmio economico annuo	2.600	€
Costo investimento	1.000	€
Pay back time "semplice"	0,4	anni
IRR	260%	-
VAN a 5 anni	8.686	€
VAN/investimento	8,7	-

Tabella 48: Analisi costi e benefici dell'opportunità #4

9.3.2. Opportunità #5: Retrofit su presse a iniezione EHV

Il reparto di stampaggio plastica, come evidenziato nell'analisi precedentemente, è il reparto più energivoro dell'azienda. Infatti al suo interno, sono installate 24 presse di grandezza differente. Le presse vengono classificate in base alla forza di chiusura dello stampo, detto tonnellaggio: nel reparto si va dalle 25 alle 1000 tonnellate. Inoltre sono di tecnologie differenti: 22 sono idrauliche e 2 elettriche. Tra le presse idrauliche presenti si passa da quelle più vecchie (1992) a quelle innovative (2019), a minore consumo energetico.

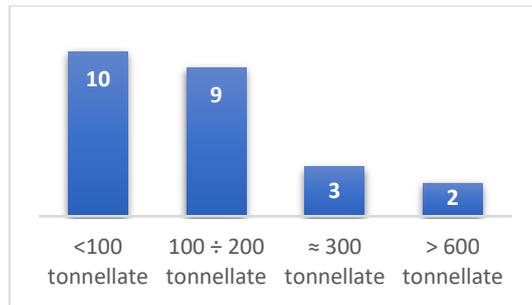


Figura 63: Presse nel reparto stampaggio plastica suddivise per tonnellaggio.

In figura è riportato lo schema di una pressa idraulica. Il funzionamento di una pressa idraulica, elettrica o ibrida è il medesimo, cambia solamente la modalità di azionamento delle parti mobili della pressa.

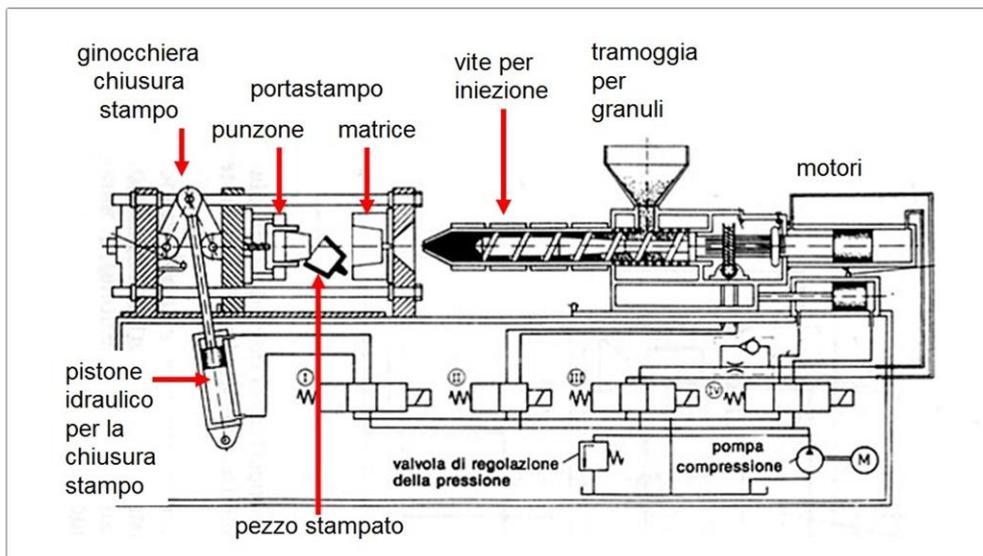


Figura 64: Schema di una pressa idraulica (da tecmatied.wordpress.com – Stampaggio a iniezione 2013)

I due gruppi fondamentali sono l'unità di iniezione e l'unità di chiusura. Il gruppo di iniezione ha il compito di plastificare (fondere il materiale) in granuli in arrivo dall'essiccatore (a 60°C), immessi nel cilindro attraverso la tramoggia, e iniettare il materiale fuso nello stampo. Nel cilindro la plastificazione avviene grazie all'attrito sviluppato dalla vite rotante (azionata da un motore) e mediante delle resistenze elettriche superficiali. La vite è equipaggiata con una valvola di non ritorno in testa, che consente di andare avanti e indietro, evitando il reflusso del polimero durante l'iniezione. Mentre il gruppo di chiusura è composto dai componenti di movimentazione della macchina, che mantengono chiuso o aperto lo stampo. Comprendendo, inoltre, le centraline di raffreddamento ed estrattori del prodotto finito. L'intero processo viene regolato da un sistema di controllo che varia la pressione e la velocità del materiale all'interno della vite nelle diverse fasi.

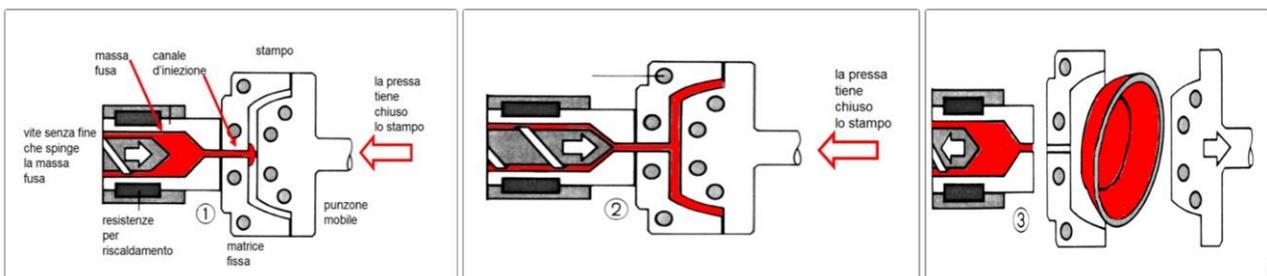


Figura 65: Fasi dello stampaggio plastico a iniezione (da tecmatied.wordpress.com – Stampaggio a iniezione 2013)

Per quanto riguarda il processo: viene suddiviso in più fasi. Nella prima fase vengono introdotti i granuli, che vengono miscelati dalla vite e riscaldati dalle resistenze. Durante questa fase lo stampo viene chiuso. Nella seconda fase la vite avanza e inietta attraverso l'ugello il materiale fuso nello stampo (aumenta la pressione), fino al completo riempimento della figura. La terza fase è quella del raffreddamento del materiale che permette la perfetta solidificazione e l'estrazione del pezzo stampato senza rischio di deformazione (fase finale). Durante la prima parte del raffreddamento avviene la post compressione (post-pressione) a pressione più bassa da parte della vite; dopo il materiale viene mantenuto in pressione introducendo nuovo materiale per evitare risucchi e vuoti dovuti al raffreddamento (dosaggio). Successivamente la vite non si comporta più come un pistone, ma inizia a plasticizzare del nuovo materiale per il ciclo successivo; intanto il pezzo si raffredda definitivamente (la pressione nello stampo decresce), dopodiché lo stampo si apre raggiunta la giusta temperatura di estrazione e si estrae il prodotto finito.

- Presse idrauliche

Questa tipologia di pressa è stata la prima ad entrare in commercio: l'azionamento si deve al motore idraulico. L'energia elettrica viene trasformata in energia meccanica per mezzo di una pompa, che comprime l'olio. L'elevata pressione dell'olio sposta il carico, applicando una forza sul pistone del cilindro. L'olio arriva a una pressione di 200 bar e deve essere mantenuto a una temperatura di circa 35÷40°C.

Il sistema oleodinamico è costituito da un gruppo generatore (motore elettrico asincrono trifase e pompa idraulica); un gruppo di controllo per mantenere la giusta pressione e portata (manometro e valvole di controllo), la temperatura stabilita (scambiatori di calore); un gruppo di utilizzo, gli attuatori (cilindri idraulici o pistoni).

La pressa idraulica possiede una elevata forza di chiusura, quindi un tonnellaggio e con una potenza installata maggiore rispetto alla pressa elettrica. Di contro le presse tradizionali consumano molta energia perché il motore è sempre al massimo della potenza per mantenere l'olio in pressione (pompe a cilindrata fissa), producendo un'elevata rumorosità. Inoltre l'olio ha bisogno di una continua manutenzione (sostituzione periodica) e necessita di un sistema di refrigerazione dedicato per essere mantenuto alla giusta temperatura.

Il fluido motore (l'olio) svolge più funzioni: trasporta l'energia dal generatore all'utilizzatore, lubrifica il circuito e asporta il calore dallo stampo, riducendone i costi di refrigerazione.

Nel corso degli anni la tecnologia delle presse idrauliche si è notevolmente evoluta, come è schematizzato in figura.



Figura 66: Evoluzione della tecnologia di azionamento sulle presse idrauliche (da www.engel.com)

Le prime pompe utilizzate furono a cilindrata fissa, che non permettevano di risparmiare energia, mantenendo la pressione e la portata costanti. Nel momento in cui il carico richiesto è minore di quello nominale (la velocità richiesta dall'utenza deve essere mantenuta al di sotto del valore massimo), la portata viene parzializzata per strozzamento nella valvola direzionale. L'aliquota di portata non sfruttata viene scaricata ritornando al serbatoio, attraverso la valvola di laminazione. Con questo impianto oleodinamico si ha un elevato spreco di energia.

Successivamente, al posto della pompa a cilindrata costante, venne installata la pompa a cilindrata variabile. In tal modo è possibile adeguare la portata della pompa all'assorbimento istantaneo dell'utenza. Questo circuito oleodinamico costituisce una soluzione ottimale: in presenza di carichi variabili, come durante il ciclo della pressa, si realizza un esercizio privo di perdite. In tal modo la valvola direzionale può disporre di sole due posizioni; ogni qualvolta l'utenza deve essere fermata basta annullare la cilindrata della pompa, deviandone il flusso. Quindi in assenza di carico, questa configurazione disperde comunque energia, ma in quantità minore all'architettura con cilindrata fissa. Questa configurazione oleodinamica, inizialmente con controllo idraulico, venne poi migliorata inserendo il controllo elettrico, costituendo un miglior controllo e un risparmio di energia consumata.

I circuiti oleodinamici a pompa variabile presentano però il problema della perdita di portata utile in assenza di carico, perché il motore elettrico rimane costantemente acceso. Per ovviare a questo inconveniente, venne studiata una nuova configurazione: pompa a cilindrata fissa accoppiata con un motore a velocità variabile. Ciò permette di risparmiare energia nei periodi di tempo del ciclo della pressa in cui non è richiesto il movimento dei componenti (es. fase di raffreddamento dello stampo).

Come si vede in figura, questa tecnologia è chiamata Ecodrives dall'azienda produttrice Engel. La pressa Ecodrives possiede un'elevata precisione di controllo ed efficienza energetica. I consumi energetici sono ridotti del 70% rispetto alle macchine idrauliche convenzionali, eguagliando i risparmi elettrici raggiunti dalle presse completamente elettriche. Sono inoltre ridotte le emissioni termiche dovute alla porzione di energia non utilizzata nella movimentazione della macchina, con una riduzione delle perdite, grazie al servomotore che comporta un'elevata efficienza. Per questo motivo, non c'è bisogno di un impianto dedicato per raffreddamento dell'olio; costi di investimento ridotti. Inoltre la rumorosità della macchina è ridotta e i costi di manutenzione sono ridotti: pompe a cilindrata fissa durevoli nel tempo. Dal punto di vista dell'investimento: il costo della pompa è minore, mentre aumenta quello del motore.

- Presse Elettriche

In questa tipologia di pressa non è presente l'impianto oleodinamico, il motore elettrico asincrono (servomotore) converte direttamente energia elettrica in meccanica, con il vantaggio di non dover investire sull'impianto di refrigerazione dell'olio, ottenendo anche una maggiore pulizia.

Su queste presse sono installati quattro servomotori elettrici per la movimentazione della macchina: per l'iniezione, la carica, la chiusura e per contrastare la pressione di iniezione. Ciò comporta un maggiore investimento, ma una manutenzione ordinaria ridotta. Il problema più grosso si ha in caso di rottura del motore, che comporta la sostituzione e un nuovo investimento.

Un'importante caratteristica delle presse elettriche è la grande precisione nei movimenti, che ne consegue una riduzione del tempo ciclo e una maggiore qualità del prodotto. Grazie ai servomotori, la potenza erogata è massima solo nelle fasi di apertura, chiusura e iniezione, mentre in mantenimento e raffreddamento il consumo è nullo: riduzione del 50-70% di consumo elettrico rispetto a una pressa idraulica convenzionale.

Il macchinario necessita però di un impianto di lubrificazione dedicato, non presentando l'impianto oleodinamico invece presente nelle altre presse. Un altro aspetto negativo è relativo alla forza di chiusura (tonnellaggio) della pressa: a parità di volume del motore la potenza di serraggio di una pressa idraulica è maggiore a quella elettrica. Presenta quindi dei limiti operativi di tonnellaggio: di norma non supera le 350 tonnellate.

Oltre alla pressa completamente elettrica è presente sul mercato anche la pressa ibrida, che unisce le due tipologie descritte, integrando motori idraulici con motori elettrici (es. motore idraulico per la vite, mentre gli altri tre elettrici). In questo caso si ottiene una buona precisione del macchinario, con una riduzione del consumo del 30-40%, non escludendo i costi di manutenzione dell'olio.

Rilevazione Consumi

In azienda è stato possibile rilevare i dati sul ciclo forniti dai computer di bordo delle presse più nuove. Sono dotati di un sistema di monitoraggio dell'assorbimento di energia elettrica relativo alla movimentazione della macchina ("Motore") e del consumo per la plasticizzazione del materiale ("Riscaldamento").

I dati non sono stati estrapolati direttamente dal computer, ma sono stati acquisiti tramite delle riprese video: dati acquisiti ogni 0,2 secondi.

Nella tabella successiva sono riportate le cinque presse idrauliche studiate, di diversa tecnologia.

Tonnellaggio	Tecnologia	Tempo ciclo [sec]	Peso stampata [g]	[kWh/ciclo]
40	EHV	11	4,89	0,0093
40	EHV	14÷15	15,69	0,0216
50	Ecodrive	17÷18	6,48	0,0066
160	Ecodrive	13÷14	33,83	0,0184
160	Ecodrive	18	79,33	0,0407

Tabella 49: Elenco presse monitorate.

Di seguito sono riportati gli assorbimenti di potenza sul ciclo delle cinque presse: consumo complessivo di tutta la pressa, scomposto in consumo dovuto ai motori per la movimentazione e al consumo delle resistenze elettriche. Il ciclo è inoltre suddiviso nelle sue fasi di processo più importanti.

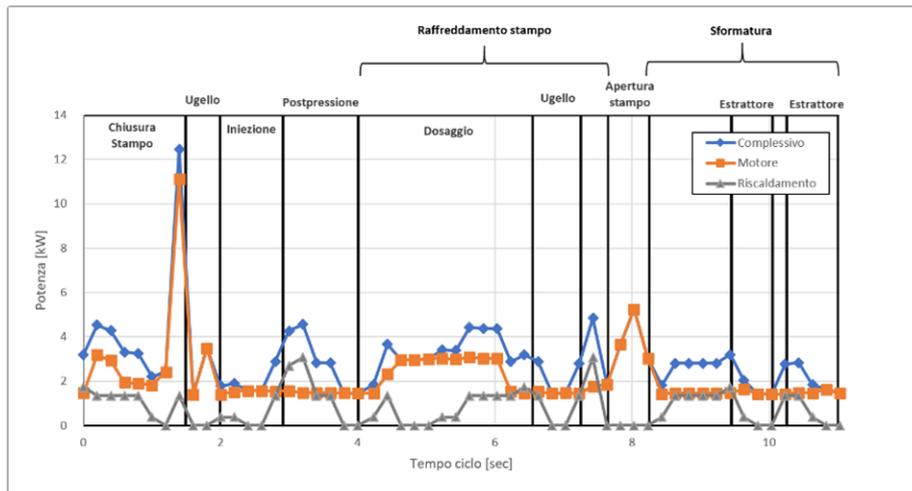


Figura 67: EHV - 40 tonnellate

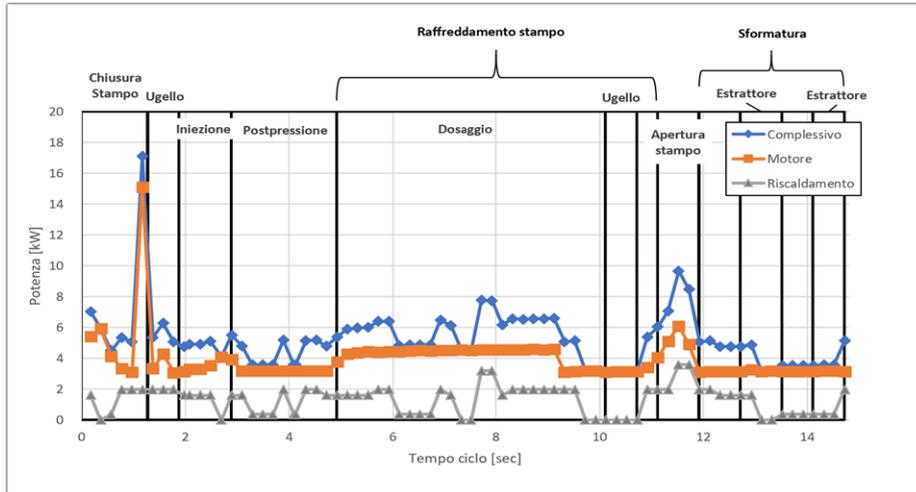


Figura 68: EHV - 40 tonnellate

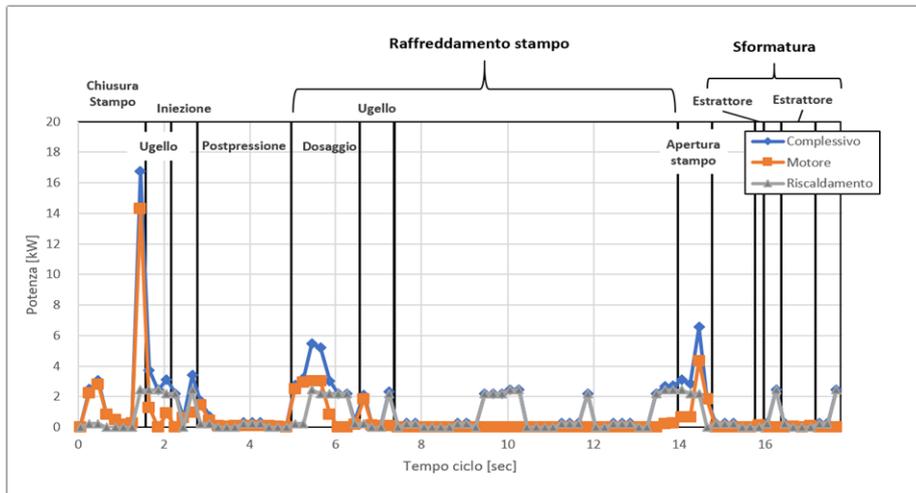


Figura 69: Ecodrive - 50 tonnellate.

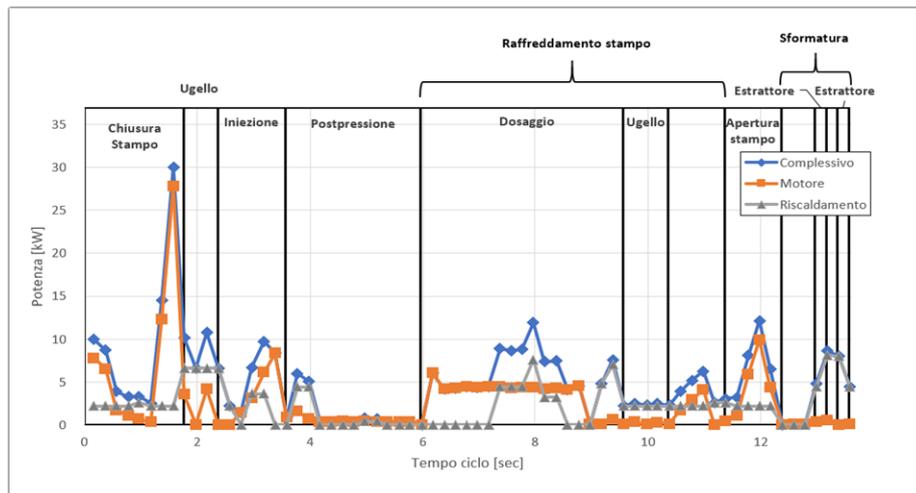


Figura 70: Ecodrive - 160 tonnellate

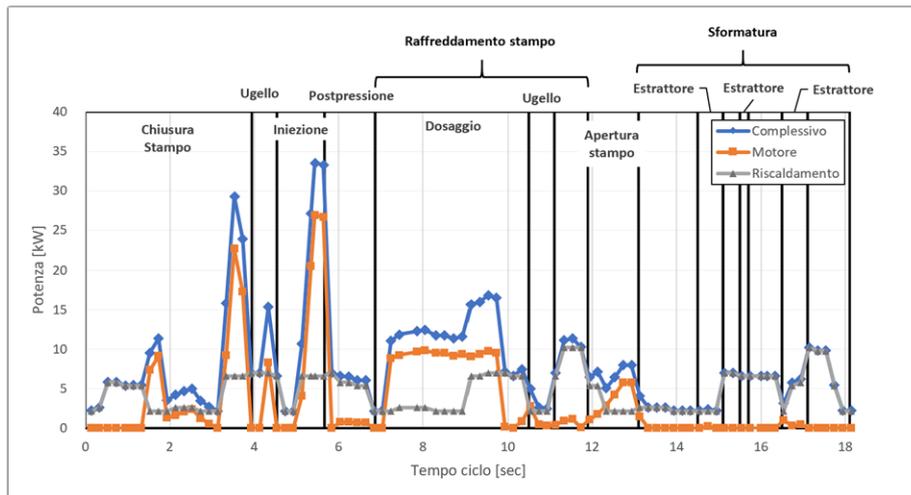


Figura 71: Eco-160 tonnellate

Di seguito sono invece riportati i consumi energetici cumulati sul ciclo per i motori e per il riscaldamento.

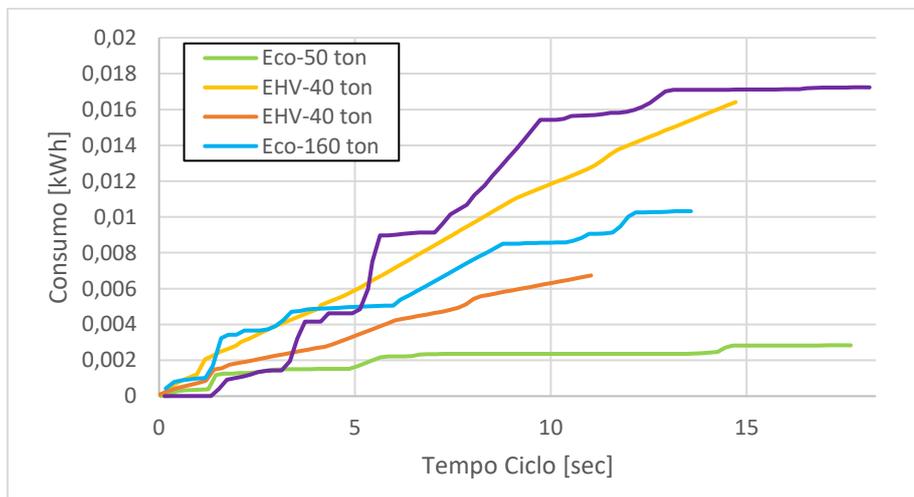


Figura 72: Consumi cumulati sul tempo ciclo per la movimentazione.

Minori consumi per le ecodrive: netta riduzione, perché nei periodi del ciclo in cui non è richiesta potenza, il motore che varia velocità, non consuma energia, grande risparmio.

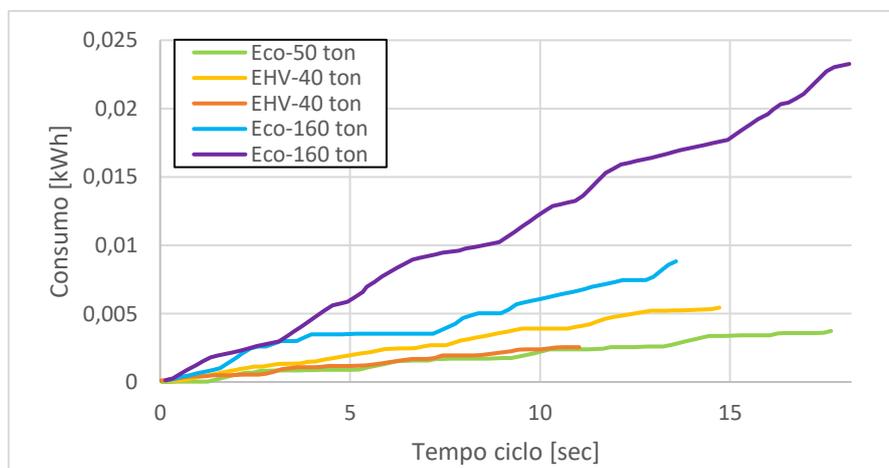


Figura 73: Consumi cumulati sul tempo ciclo per il riscaldamento.

Per quanto riguarda il riscaldamento non c'è differenza tra le tecnologie, ciò che influisce maggiormente è la quantità di materia da lavorare e il tempo ciclo.

Un proposta di acquisto futuro è dunque la sostituzione delle vecchie presse idrauliche con presse ecodrive. I costi di una pressa ecodrive orizzontale, mono materiale, non accessoriata sono di 45000€ per 25 tonnellate, 50000€ per 50 tonnellate, 75000€ per 75 tonnellate, 100000€ per 100 tonnellate, 120000€ per 150 tonnellate e 160000€ per 300 tonnellate. È quindi preferibile puntare su questa tecnologia di pressa, rispetto a quella elettrica. Con queste presse vengono eguagliati i bassi consumi delle presse elettriche e la precisione della lavorazione è simile, ma l'investimento è inferiore del 20-35% rispetto a quelle elettriche.

Efficientamento energetico sulle presse già installate

Come visto con le nuove presse servo-idrauliche raggiungono risparmi energetici paragonabili a quelli di una macchina completamente elettrica, con il vantaggio di poter utilizzare stampi esistenti dotati di movimenti idraulici. Questa tecnologia innovativa può anche essere installata su macchine già esistenti con pompa elettroidraulica a portata variabile (EHV).

La pressa idraulica viene dotata di convertitori di frequenza che controllano la velocità del motore della pompa elettroidraulica. I dispositivi non apportano alcuna modifica del sistema idraulico, perché sono integrati nel controllo della pressa, senza influenzare il processo produttivo. In tal modo la velocità del motore viene regolata di volta in volta in base alla potenza richiesta, eliminando i consumi energetici legati alle fasi di funzionamento al minimo. Ne deriva un abbattimento del calore sviluppato, riducendo il carico sull'olio idraulico (aumenta la durata dell'olio) e sul sistema di raffreddamento. Inoltre il rallentamento del motore fino all'arresto abbatte i livelli di rumorosità.

I consumi di energia possono essere ridotti fino al 50%, riducendo di conseguenza il consumo energetico specifico (kWh/kg) e le emissioni di CO₂. Inoltre, è minore il consumo di acqua di raffreddamento e l'olio idraulico deve essere sostituito con una minore frequenza.

Per stampaggi tecnici, come quelli effettuati nell'azienda in esame, i consumi sono ridotti del 40-45%.

In figura, viene mostrato come i convertitori di frequenza modificano la velocità del motore, in relazione al lavoro svolto durante il ciclo dalla pressa.

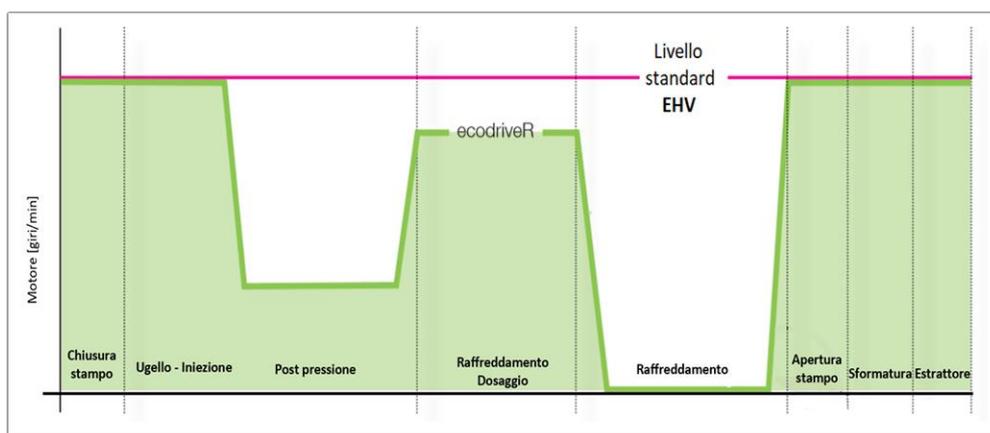


Figura 74: Risparmio conseguente al retrofit delle presse EHV (da www.engel.com)

Viene adesso valutato il risparmio dovuto all'installazione dei convertitori di frequenza sul motore della pompa elettroidraulica delle presse. Nel reparto stampaggio sono presenti le seguenti 8 presse EHV, sulle quali è possibile attuare la modifica.

Per stimare la potenza risparmiata, a partire dalla potenza installata di ciascuna pressa, vengono utilizzati i seguenti fattori; ottenuti tramite calcoli e stime o derivati dalla letteratura (www.engel.com):

- Fattore percentuale di potenza elettrica assorbita dai motori per la movimentazione della macchina, in relazione alla potenza installata:

$$F_{\text{movimentazione}} = 20\%$$

- Fattore percentuale di potenza elettrica assorbita dal gruppo frigo per l'acqua fredda di refrigerazione del macchinario, rispetto alla potenza assorbita per la movimentazione:

$$F_{\text{refrigerazione}} = 10\%$$

- Percentuale di risparmio, in seguito all'aggiornamento del sistema, sulla potenza assorbita per la movimentazione:

$$\text{Risparmio movimentazione} = 40\%$$

- Percentuale di risparmio sulla potenza assorbita per la produzione di acqua fredda:

$$\text{Risparmio raffreddamento} = 70\%$$

Per valutare la fattibilità economica si ipotizzano 5000 ore lavorate all'anno e un costo di aggiornamento e installazione di 5000 € per ciascuna pressa.

Di seguito è riportata la tabella con la stima del risparmio per ogni pressa.

Taglia [tonnellate]	Potenza installata [kW]	Potenza assorbita dai motori per movimentazione [kW]	Potenza assorbita per raffreddamento [kW]	Potenza risparmiata [kW]	Energia elettrica risparmiata [kWh/anno]	Risparmio [€]
40	19	3,8	0,38	1,786	8.930	1.259
40	19	3,8	0,38	1,786	8.930	1.259
50	23	4,6	0,46	2,162	10.810	1.524
50	31	6,2	0,62	2,914	14.570	2.054
110	32	6,4	0,64	3,008	15.040	2.121
120	32	6,4	0,64	3,008	15.040	2.121
130	79	15,8	1,58	7,426	37.130	5.235
300	92	18,4	1,84	8,648	43.240	6.097

Tabella 50: Risultati risparmio per retrofit su presse EHV.

Nella tabella successiva è riportata l'analisi economica.

Opportunità # : Retrofit su presse a iniezione EHV		
Risparmio energetico annuo	153.690	kWh
Risparmio economico annuo	21.670	€
Costo investimento	40.000	€
Pay back time "semplice"	1,8	anni
IRR a 5 anni	46%	-
VAN a 5 anni	43.077	€
VAN/investimento	1,08	-

Tabella 51: Analisi costi e benefici dell'opportunità #5.

9.3.3. Opportunità #6: Coibentazione del cilindro di plastificazione

Lo studio riguarda l'inserimento di un materassino isolante sul cilindro di plastificazione. Per svolgere l'analisi costi e benefici dell'installazione su tutte le presse, viene modellizzata la dispersione del calore, facendo riferimento a una pressa su cui sono state effettuate alcune misurazioni. La pressa è da 350 tonnellate (forza di chiusura dello stampo) e lavora Polipropilene (materiale termoplastico). Il cilindro ha un diametro esterno di 168 mm, un diametro della vite di 70 mm e misura 1.5 m di lunghezza. La pressa lavora con un tempo ciclo di 56 secondi, plastificando 18 kg/h di materiale plastico.

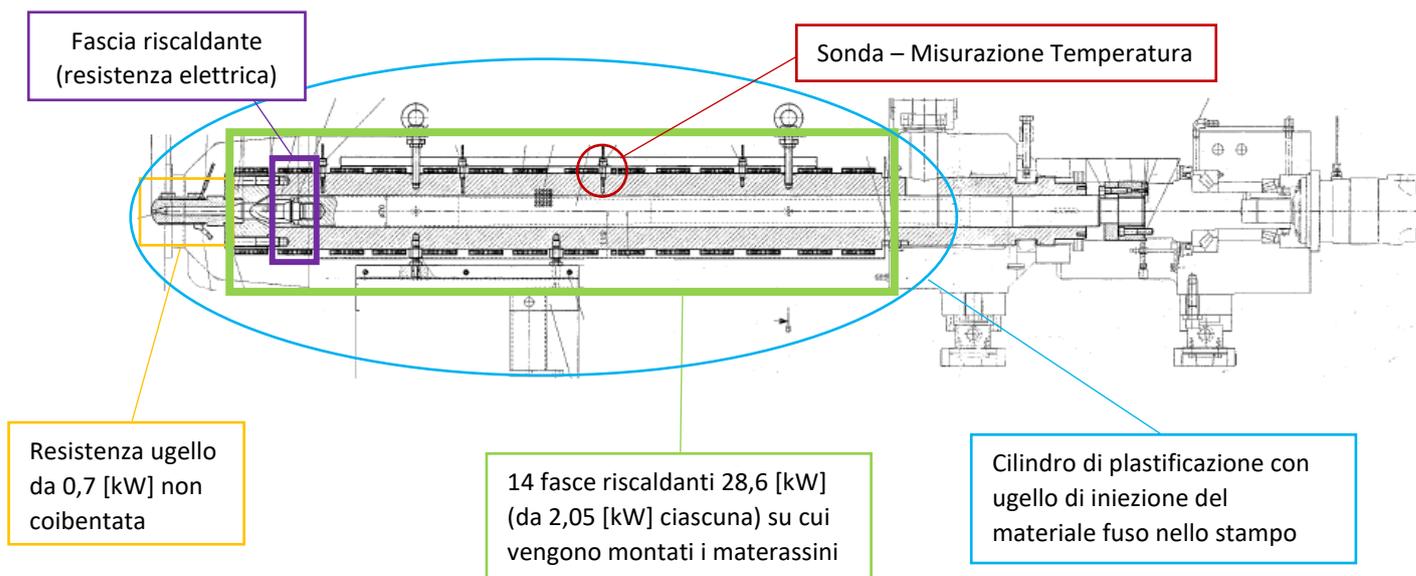


Figura 75: Sezione assiale pressa oggetto di studio.

Il materiale plastico per essere lavorato viene portato a fusione e mantenuto allo stato liquido; per far ciò, sul cilindro vengono applicate una serie di resistenze elettriche. La temperatura di lavorazione viene controllata mediante di sensori capaci di misurare la temperatura all'interno dello spessore del cilindro (il punto misurato è situato a circa 4 cm dalla superficie esterna del cilindro. Se la temperatura misurata scende al di sotto della soglia impostata dalla pressa, la resistenza si accende in modo da riportare e la temperatura al di sopra di essa.

Le temperature impostate sono all'incirca uguali su tutto l'asse orizzontale del cilindro; il cilindro per monitorare la temperatura viene suddiviso in più zone, tante quanti sono i sensori (e i controlli) utilizzati dalla pressa. Per la pressa in questione sono presenti 4 zone, ognuna di esse impostata alla temperatura di lavorazione del materiale, indicata dal produttore.

Sul cilindro sono montate 14 resistenze elettriche per un totale di 28,6 kW installati (2,05 kW per resistenza). Ciascuna resistenza possiede un diametro interno di 168 mm e una lunghezza di 74 mm.

Per lo studio del modello ipotizziamo che il polipropilene entri nel cilindro in granuli, a 60°C. Nella prima zona del cilindro avviene la fusione del materiale, portando la temperatura a 210°C; questa fase richiede una maggiore potenza. Nella seconda parte il materiale fuso viene riscaldato ancora, in modo da mantenere la giusta temperatura di lavorazione (225°C). Nella figura successiva è schematizzata la suddivisione del cilindro di plastificazione in due zone: quella di fusione (1) e quella di mantenimento (2).

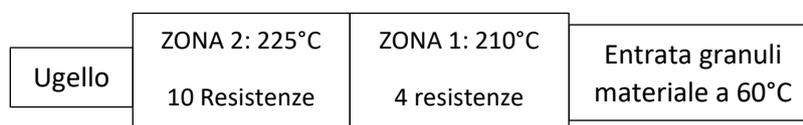


Figura 76: Suddivisione zone cilindro.

Nel modello utilizzato si assume, per semplicità, la temperatura uniforme assialmente per ogni zona del cilindro. Per stimare l'energia richiesta dalle resistenze viene studiato il profilo temperatura radiale modello deve tenere conto che in alcuni tratti la resistenza non è presente, mentre in altri c'è.

Per implementare il modello monodimensionale radiale è stato adottato il metodo delle differenze finite, l'algoritmo è stato implementato con MATLAB. Per lo studio del transitorio (dipendenza col tempo) viene adottato il metodo di Eulero all'indietro.

La stratigrafia del cannone di plastificazione varia: il cilindro in alcuni tratti è avvolto dalla resistenza elettrica, mentre in altri no; inoltre nella configurazione finale su tutto il cannone saranno installati i materassini isolanti. Di seguito vengono indicati gli strati del cilindro.

- Primo strato: Cilindro della pressa in acciaio.
- Secondo Strato: Resistenza elettrica

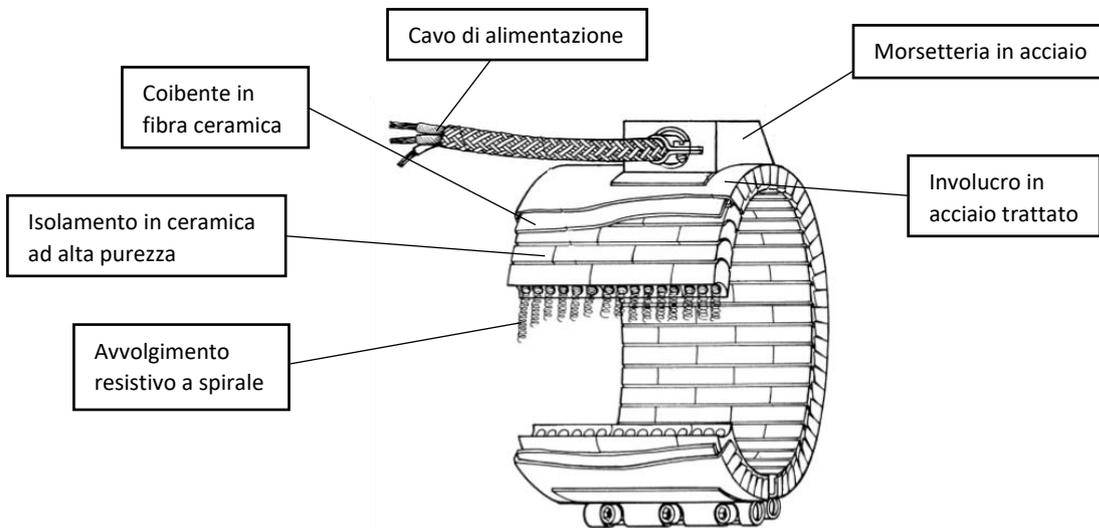


Figura 77: Resistenza elettrica (www.masterwatt.it)

- o Ceramica (Steatite) contenente l'avvolgimento resistivo nelle cavità dove avviene il passaggio di corrente elettrica e la conseguente produzione di calore.
- o Strato isolante in fibra ceramica.
- o Involucro in acciaio trattato.
- Terzo Strato: Materassino in fibra di vetro



Figura 78: montaggio materassino su cilindro pressa (www.zre.it).

Riepilogo con dimensione e proprietà degli strati.

Strati	Materiale	Spessore [mm]	Conducibilità termica - k [W/(m*K)]	Densità [kg/m³]	Calore specifico [j/(kg*K)]
Cilindro Pressa	Acciaio 38 modificato	49	57-80	7.500-8.000	502
Resistenza elettrica	Isolamento in ceramica (avvolgimento resistivo)	7,5	2,6	2.700	0,00075
	Coibente in fibra ceramica	6,5	0,06	96-128-160	0,00104
Materassino	Fibra di vetro	18	0,032-0,053	10-70	840-1030

Tabella 52: Proprietà e dimensione strati.

I fenomeni di trasmissione del calore sono schematizzati nella figura seguente. Il cilindro avvolto dalla resistenza e dal materassino in fibra di vetro scambia calore con l'esterno, disperdendo calore, e con l'interno: fattore termico utile.

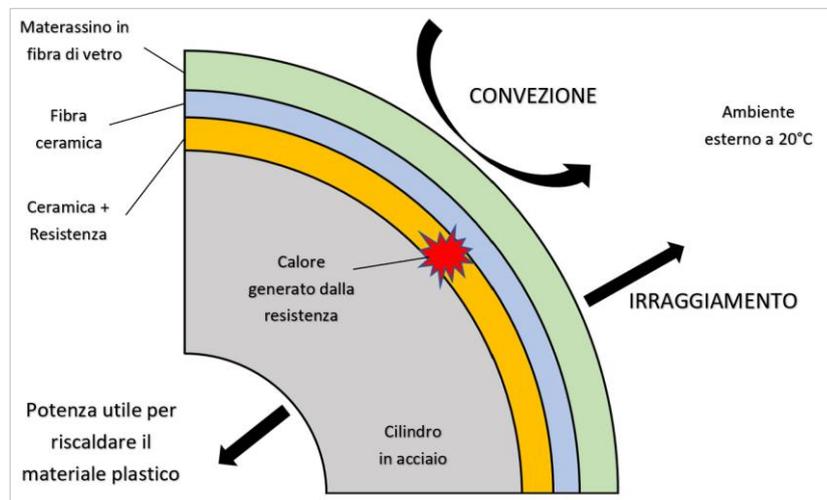


Figura 79: Sezione cilindro pressa con resistenza e materassino.

L'obiettivo dello studio è quello di trovare la potenza richiesta dalla resistenza elettrica tale per cui la temperatura della parete interna del cilindro sia uguale alla temperatura impostata dalla macchina in quella zona. La temperatura nella zona 1 è di 210°C, nella zona 2 è 225°C. Per valutare l'impatto sul risparmio energetico, la simulazione viene fatta su due diverse configurazioni: prima e dopo l'installazione del materassino isolante. Conclusa la simulazione, i risultati ottenuti vengono messi a confronto con le misurazioni effettuate.

La trasmissione del calore nel dominio:

- Conduzione del calore all'interno degli strati.
 - o Studio Stazionario: presente solo la variabile spaziale: il raggio.
 - o Studio Transitorio: presente anche la variabile temporale.
- Convezione e irraggiamento tra superficie esterna e ambiente.

Per la simulazione devono essere impostate delle condizioni al contorno:

- Neumann: Flusso termico per riscaldare il materiale; cambia a seconda della zona.
- Neumann: Flusso di calore uguale all'interfaccia dei diversi strati, che presentano caratteristiche fisiche e termiche differenti.
- Robin: Convezione e irraggiamento tra superficie esterne e ambiente.

Nello studio sono state fatte le seguenti ipotesi:

- La trasmissione del calore simulata è monodimensionale, la temperatura in ogni zona cambia radialmente, mentre rimane costante assialmente. La temperatura della parete interna al cilindro è impostata dalla macchina e tenuta costante con le sonde di temperatura. Essa rimane costante: nella prima zona è 210°C, mentre nella seconda è 225°C.
- La temperatura dell'ambiente esterno è di 20°C.
- La dispersione di calore verso l'esterno è dovuta a irraggiamento e convezione. Per tener conto di entrambi i fattori: ciò si somma al coefficiente di scambio termico per convezione ($h_c = 7 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$) un termine fittizio che rappresenta lo scambio termico superficiale per irraggiamento.

$$h = h_c + h_{irr} \quad (4.1)$$

La dispersione di calore dovuta all'irraggiamento è funzione della temperatura superficiale elevata alla quarta. Per valutare il termine fittizio h_{irr} bisogna linearizzare tale funzione:

$$h_{irr} * (T_{superficie} - T_{amb.}) = \varepsilon * \sigma * (T_{superficie}^4 - T_{amb.}^4) \quad (4.2)$$

Come si nota entrambi i termini dipendono dalla temperatura superficiale, quindi la linearizzazione dell'equazione dell'irraggiamento prevede un metodo iterativo.

Nella formula dell'irraggiamento sono presenti due fattori moltiplicativi:

- ε : l'emissività del materiale superficiale, in quanto il modello studia l'irraggiamento di un corpo grigio (non di un corpo nero).
 - $\varepsilon = 0.6$ (acciaio); nei casi in cui lo strato superficiale sia costituito dal cilindro della pressa o dalla resistenza elettrica.
 - $\varepsilon = 0.9$ (tessuto); in presenza dell'installazione del materassino isolante.
 - $\sigma = 5.67 * 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 * K} \right]$: costante di Stefan-Boltzmann.
- La resistenza elettrica è in grado di sviluppare un flusso termico pari a $4 \div 6 \left[\frac{W}{cm^2} \right]$.
 - Il flusso di calore $[W/m^2]$ imposto come condizione al contorno del modello deve tenere in considerazione due componenti: il calore richiesto per riscaldare il materiale e la potenza termica per riscaldare il tratto di cilindro adiacente non circondato dalla resistenza. Considerando un modello monodimensionale, quest'ultimo fattore viene stimato mediante l'introduzione di un flusso termico fittizio, prodotto dal materiale plastico ad alte temperature, per mantenere la temperatura della parete interna del cilindro uguale alla temperatura impostata dalla macchina in quella zona.

Viene riportato di seguito lo schema di una zona equivalente, dove le resistenze sono rappresentate da una resistenza equivalente, e i tratti del cilindro scoperti, tra un riscaldatore e l'altro, sono raggruppati.

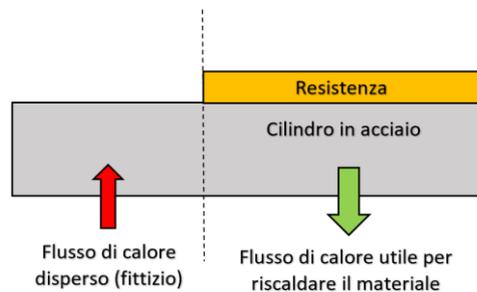


Figura 80: Schema zona equivalente, con relativi flussi di calore.

Il materiale deve essere riscaldato per essere lavorato. Il materiale in granuli entra nella camera di plastificazione a $60^{\circ}C$. Nella prima parte viene portato a fusione, che termina a $210^{\circ}C$ (zona 1); nella seconda fase il polipropilene è mantenuto allo stato liquido, la temperatura di lavorazione richiesta è di $225^{\circ}C$ (zona 2). Per calcolare il calore richiesto dal polipropilene è usato il calore specifico apparente, che tiene conto della variazione di entalpia richiesta durante il cambiamento di fase. Il grafico della calore specifico apparente in funzione della temperatura del polipropilene è riportato in figura.

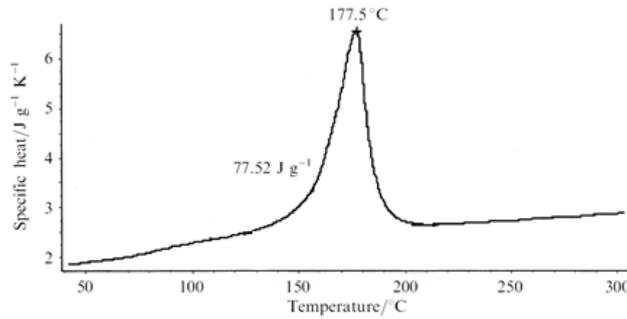


Figura 81: Calore specifico apparente del polipropilene (da [5]).

Il calore per la fusione del polipropilene è rappresentato all'area sottostante alla curva da 60 a 210°C, mentre il calore di mantenimento è l'integrale della curva da 210 a 225°C. Per il modello serve la potenza, che si calcola come segue:

$$\phi_{pp} = G * \int_{T_1}^{T_2} cp(T) * dT \quad [W] \quad (4.3)$$

Dove G è la portata di materiale plastico: quanto polipropilene viene lavorato in un'ora (kg/h).

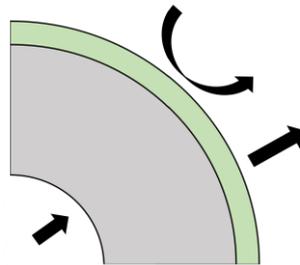


Figura 82: Sezione cilindro di plastificazione, con materassino isolante.

Il secondo componente viene stimato con Matlab. Rappresenta il flusso che riscalda l'acciaio, tale per cui la temperatura sulla parete interna sia pari a quella impostata a diversa della zona: 210°C per la zona 1 e 225°C per la zona 2. Si trova così la potenza superficiale (W/m²), convertita in [W] (moltiplicando per la superficie interna nei tratti senza resistenza della zona), viene infine sommata con la potenza precedentemente calcolata (ϕ_{pp}).

Viene così calcolato il flusso di calore [W/m²] impostato nella condizione di contorno (Neumann): rapporto tra la potenza complessiva e l'area della parete interna in corrispondenza dei tratti riscaldati dalla resistenza (nella zona in questione).

Studio stazionario

Preliminarmente viene studiata la variazione di temperatura all'interno degli strati non tenendo conto della dipendenza dal tempo. Tra i diversi strati la trasmissione di calore avviene mediante conduzione. Quindi lo scambio di calore segue l'equazione della conduzione del calore nello spazio. Il modello studiato è monodimensionale: la variabile spaziale è il raggio.

$$k * \nabla^2 T = -q_{vol} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (4.4)$$

Lo studio del profilo di temperatura è radiale:

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} * \frac{d}{dr} \left(r * \frac{dT}{dr} \right) \quad (4.5)$$

Il termine $q_{vol} \left[\frac{W}{m^3} \right]$ rappresenta la produzione di calore quando la resistenza è accesa, presente unicamente nello strato ceramico contenente l'avvolgimento; valutato come segue:

$$q_{vol} = \frac{Q_{el}}{V_{ceramica}} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (4.6)$$

Dove:

- $Q_{el} = 2,05 \text{ kW} * f$, dove f è la percentuale di funzionamento della resistenza, che non lavora a piena potenza.
- $V_{ceramica} = \frac{\pi}{4} * [(D_{esterno cilindro} + spessore_{ceramica})^2 - (D_{esterno cil.})^2] * L_{resistenza} \text{ [m}^3\text{]}$
- $q_{vol} = 6,6 * f \left[\frac{W}{cm^3} \right]$; conoscendo lo spessore della ceramica: $q_{sup} \approx 5 * f \left[\frac{W}{cm^2} \right]$, potenza superficiale che rispecchia le caratteristiche fornite dal produttore.

Il profilo di temperatura viene modellizzato con il metodo numerico delle differenze finite. L'equazione (4.4) e (4.5) diventano:

$$k * \left(\frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i} * \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2 * \Delta r} \right) = -q_{vol} \quad (4.7)$$

A questa equazione generale della conduzione è necessario aggiungere le condizioni al contorno:

- In corrispondenza del raggio interno del cilindro, si assume un flusso di calore impostato, che rappresenta la richiesta per riscaldare il materiale nella camera di plastificazione (condizione di Neumann):

$$-k \frac{dT}{dr} \Big|_{r_{interno}} = -q \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4.8)$$

In termini di differenze finite:

$$-k \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta r} \Big|_{r_{interno}} = -q \quad (4.9)$$

- Condizione di Neumann all'interfaccia tra due strati differenti; viene impostata l'equivalenza dei due flussi termici:

$$-k_1 \frac{dT}{dr} \Big|_{r_{interfaccia}} = -k_2 \frac{dT}{dr} \Big|_{r_{interfaccia}} \quad (4.10)$$

In termini di differenze finite:

$$-k_1 \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta r} \Big|_{r_{interfaccia}} = -k_2 \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta r} \Big|_{r_{interfaccia}} \quad (4.11)$$

- Condizione di Robin per rappresentare lo scambio per convezione e irraggiamento all'estremo finale del dominio, l'interfaccia superficie esterna e ambiente.

$$-k \frac{dT}{dr} \Big|_{r_{esterno}} = h * (T_{superficiale} - T_{ambiente}) \quad (4.12)$$

In termini di differenze finite:

$$-k \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta r} \Big|_{r_{esterno}} = h * (T_i \Big|_{r_{esterno}} - T_{ambiente}) \quad (4.13)$$

L'equazione (4) può essere vista come un'equazione matriciale:

$$A * T = b \quad (4.14)$$

- A : matrice dei coefficienti.
- T : vettore temperatura; rappresenta il profilo di temperatura lungo il raggio, ed è l'incognita del problema.
- b : vettore dei termini conosciuti.

Con il software MATLAB è possibile svolgere questa operazione matriciale, trovando il vettore T (il profilo della temperatura). Variando il fattore f il profilo di temperatura cambia. La simulazione si ferma quando si trova un fattore f per cui la temperatura in corrispondenza dell'inizio del dominio è pari alla temperatura impostata in quella zona (210°C o 225°C).

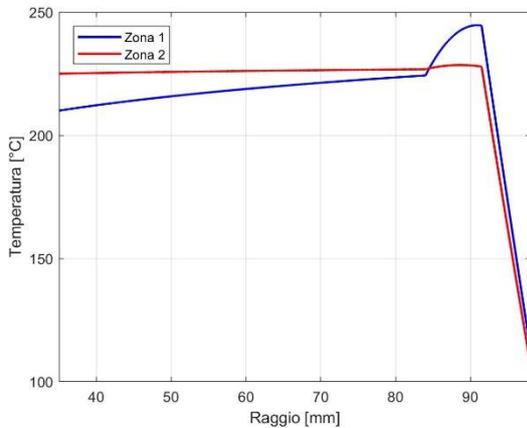


Figura 83: Profilo di temperatura prima dell'intervento.

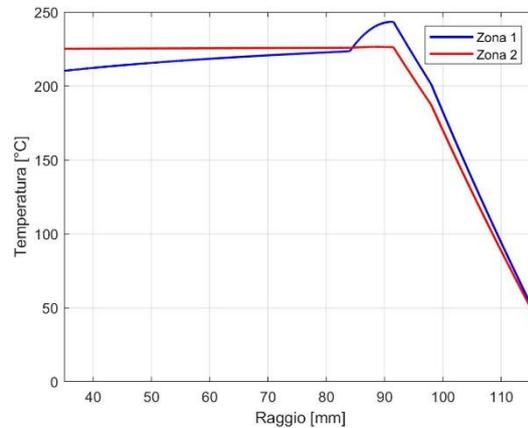


Figura 84: Profilo di temperatura dopo l'intervento.

Le figure mostrano i profili di temperatura radiali in entrambe le zone, prima e dopo l'inserimento dei materassini isolanti. Si nota come la temperatura superficiale decresce di circa 60°C, limitando la dispersione di calore verso l'esterno, consentendo di risparmiare molta energia elettrica, riducendo il lavoro delle resistenze. Infatti, con lo studio stazionario risulta che le resistenze del cilindro di plastificazione richiedono in totale una potenza di 3,896 kW prima dell'intervento e successivamente 2,761 kW.

Studio transitorio

In seguito allo studio stazionario, si vuole valutare come varia il sistema nel tempo. In tal modo si può stimare in modo più accurato quanta energia la fase di plastificazione del materiale richiede in un'ora di lavoro.

In questo caso la trasmissione del calore segue l'equazione radiale della conduzione nello spazio (monodimensionale) e nel tempo:

$$\rho * c_p * \frac{\partial T}{\partial t} = k * \nabla^2 T + q_{vol} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (4.15)$$

Esplicitando il termine $\nabla^2 T$:

$$\rho * c_p * \frac{\partial T}{\partial t} = k * \frac{1}{r} * \frac{d}{dr} * \left(r * \frac{dT}{dr} \right) + q_{vol} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (4.16)$$

Per lo studio del transitorio oltre al metodo delle differenze finite, per la variabile del tempo si utilizza il metodo numerico di Eulero all'indietro. Ottenendo dall'equazione (6):

$$\rho * c_p * \frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} = k * \left(T_{i-1}^{n+1} \left(\frac{1}{\Delta r^2} - \frac{1}{r_i} * \frac{1}{2\Delta r} \right) - T_i^{n+1} \frac{2}{\Delta r^2} + T_{i+1}^{n+1} \left(\frac{1}{\Delta r^2} + \frac{1}{r_i 2\Delta r} \right) \right) + q_{vol}^{n+1} \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad (4.17)$$

Con questo metodo si succedono ad ogni istante stati stazionari. Per avere una buona accuratezza è importante scegliere gli intervalli di discretizzazione (tempo e spazio) sufficientemente piccoli.

Esattamente come nel caso stazionario si devono applicare le condizioni al contorno per arrivare alla soluzione (medesime condizioni). Anche in questo caso l'equazione (4.17) può essere riprodotta come un'equazione matriciale:

$$A * T^{n+1} = T^n + b^{n+1} \quad (4.18)$$

- A : matrice dei coefficienti.
- T^{n+1} : vettore temperatura all'istante successivo; è l'incognita del problema ad ogni istante.
- T^n : vettore temperatura all'istante precedente; è conosciuto. Al tempo iniziale deve essere assunto un profilo di temperatura; il profilo T^{0sec} viene impostato uguale a profilo stazionario ottenuto a resistenza spenta.
- b : vettore dei termini conosciuti.

Nelle figure successive sono riportati i risultati dello studio nel tempo. Il fattore $q_{vol}^{n+1} = f(f)$ viene variato istante per istante, in modo da mantenere costante la temperatura della parete interna del cilindro, a seconda della zona. Infatti, come visibile nelle figure, le resistenze si accendono quando la temperatura della parete scende sotto la temperatura impostata e si spengono una volta raggiunta. Nelle immagini sono riportati gli andamenti nel tempo della temperatura superficiale, in entrambe le zone, prima e dopo l'intervento di coibentazione.

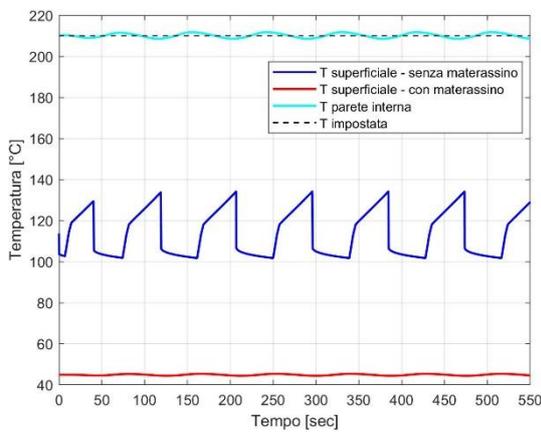


Figura 85: Andamento della temperatura senza materassino

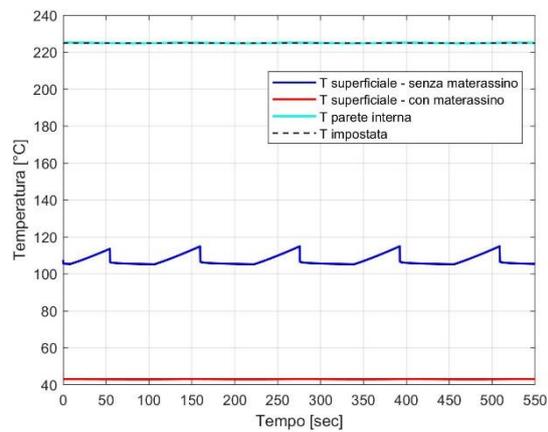


Figura 86: Andamento temperatura con materassino

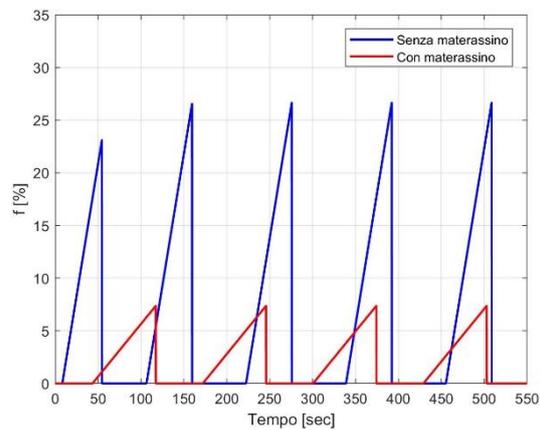
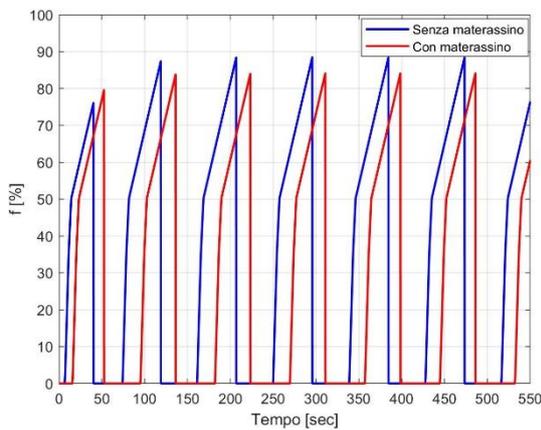


Figura 87: Percentuale di funzionamento delle resistenze nel tempo - pre e post intervento.

Con lo studio del transitorio, si ottengono risultati che si avvicinano molto a quelli del caso stazionario. Infatti la potenza media richiesta dalle resistenze ante intervento è di 3,895 kW, mentre richiedono 2,748 kW nel post intervento.

Misurazione

A seguito della simulazione, sono state effettuate alcune misure sul gruppo di riscaldatori del cilindro di plastificazione, con un analizzatore di qualità di rete e dei consumi energetici (Vega 78). Le misure sono fatte prima e dopo l'intervento di miglioramento.



Figura 88: Analizzatore di rete e installazione per la misurazione

Nel periodo delle misurazione la pressa subisce dei momenti di stand-by; per conoscere il consumo medio della macchina in lavorazione vengono considerati solamente gli assorbimenti elettrici con la pressa in ciclo automatico.

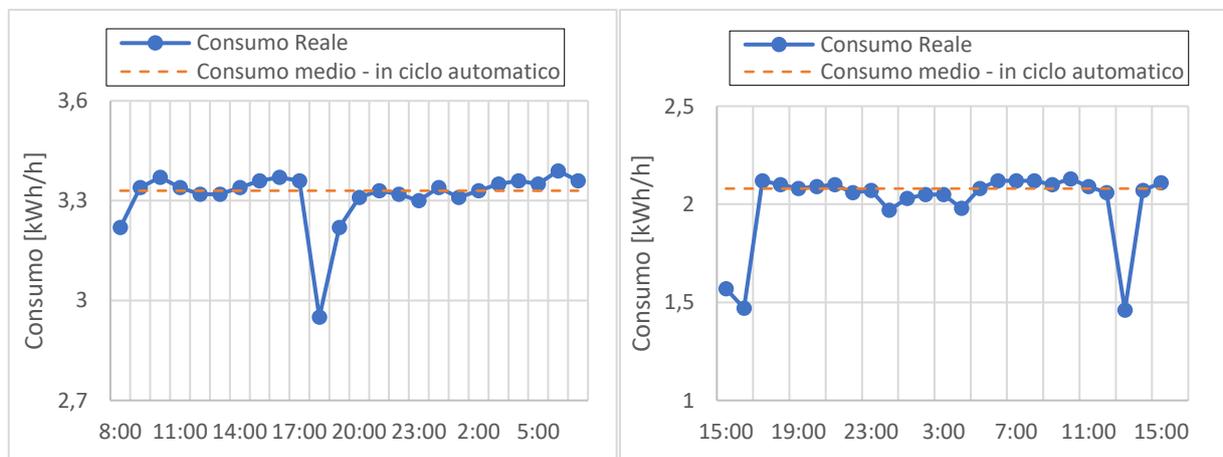


Figura 89: Misurazioni ante e post operam sulle resistenze elettriche della pressa

La potenza elettrica media richiesta dalle fasce riscaldanti è di 3,3 kW ante-operam, mentre è di 2,08 kW post-operam. Per entrambe le configurazioni tra le misure di assorbimento elettrico e la simulazione computerizzata c'è una differenza di circa 0,5 kW. Mentre il risparmio di energia elettrica è comparabile: circa 1,2 kWh/h.

Analisi costi e benefici

Per valutare il risparmio energetico, dovuto all'installazione dei materassini isolanti sul cilindro di plastificazione delle presse, si utilizza quindi il modello mostrato in precedenza. Le presse che si possono coibentare sono 19. Per la simulazione alcune presse con caratteristiche del cilindro simili sono state raggruppate. Inoltre per semplicità si ipotizza che tutte le presse lavorino il polipropilene. Per valutare la portata di materiale plastificato (in kg/h) si mantiene costante la velocità di plastificazione:

$$v_{plastificazione} = \frac{G}{\rho_{pp} * Sezione\ interna} \left[\frac{m}{s} \right] \quad (4.19)$$

Nella tabella successiva sono riportate le caratteristiche geometriche e strutturali delle 8 tipologie di cilindri di plastificazione.

Tipologia	Numero di presse	Diametro interno cilindro [mm]	Diametro esterno cilindro [mm]	Lunghezza cilindro [mm]	Resistenze			Potenza resistenza [kW]	Lunghezza resistenza [mm]
					Totale	Zona 1	Zona 2		
A	1	70	168	1.500	14	4	10	2,05	74
B	2	25	78	400	3	1	2	1,7	109
C	7	35	102	730	3	1	2	3	210
D	1	60	170	1.200	14	4	10	1,5	80
E	2	25	78	650	3	1	2	2,2	187
F	2	50	128	1.016	7	3	4	2,2	95
G	2	16	65	400	3	1	2	1,3	110
H	1	80	240	2.000	18	5	13	2,75	80
I	1	80	265	2.500	10	3	7	4	200

Tabella 53: Caratteristiche e dimensioni cilindro di plastificazione.

Successivamente sono riportati i risultati delle 8 simulazioni, calcolando così il risparmio energetico ottenuto con l'intervento di coibentazione.

Tipologia	Portata [kg/h]	Calore per riscaldamento polipropilene [kW]		Calore aggiuntivo (fittizio) zona 1 [kW]		Calore aggiuntivo (fittizio) zona 2 [kW]		Potenza resistenze cilindro ante operam [kW]		Potenza resistenze cilindro post operam [kW]		Risparmio [kW]
		Fusione zona 1	Mantenimento zona2	Ante Operam	Post Operam	Ante Operam	Post Operam	Zona 1	Zona 2	Zona 1	Zona 2	
A	18	2,227	0,200	0,201	0,028	0,561	0,074	2,650	1,246	2,315	0,434	1,147
B	2,3	0,284	0,026	0,017	0,003	0,038	0,006	0,344	0,140	0,316	0,091	0,077
C	4,5	0,557	0,050	0,031	0,005	0,069	0,010	0,679	0,299	0,620	0,181	0,177
D	13,2	1,636	0,147	0,035	0,005	0,098	0,013	1,894	0,772	1,716	0,333	0,617
E	2,3	0,284	0,026	0,021	0,003	0,047	0,007	0,285	0,156	0,240	0,060	0,141
F	3,2	1,136	0,102	0,174	0,024	0,260	0,035	1,466	0,562	1,217	0,204	0,607
G	0,9	0,116	0,010	0,014	0,002	0,030	0,005	0,163	0,108	0,130	0,039	0,101
H	23,5	2,909	0,261	0,332	0,045	0,962	0,125	3,635	2,174	3,081	0,687	2,041
I	23,5	2,909	0,261	0,351	0,047	0,913	0,119	3,871	2,564	3,152	0,819	2,464

Tabella 54: Risultato simulazioni - risparmio energetico

Infine è riportata l'analisi costi e benefici.

Opportunità #6: Coibentazione cilindro di plastificazione		
Risparmio energetico annuo	46.800	kWh
Risparmio economico annuo	6.600	€
Costo investimento	5.800	€
Pay back time "semplice"	0,9	anni
IRR a 5 anni	1,11	-
VAN a 5 anni	19.030	€
VAN/investimento	3,3	-

Tabella 55: Analisi costi e benefici dell'opportunità #6

10. Conclusioni

La Diagnosi energetica ha permesso di sintetizzare i dati energetici del sito, sviluppare e validare un modello energetico industriale, riassumere i risultati dell'analisi con grafici significativi e di individuare alcune potenziali opportunità di miglioramento dell'impiego dell'energia all'interno del sito.

In conclusione dell'analisi, si presentano nelle figure successive le opportunità di miglioramento ordinate per risparmio energetico (energia primaria in TEP), per risparmio economico e payback-time semplice.

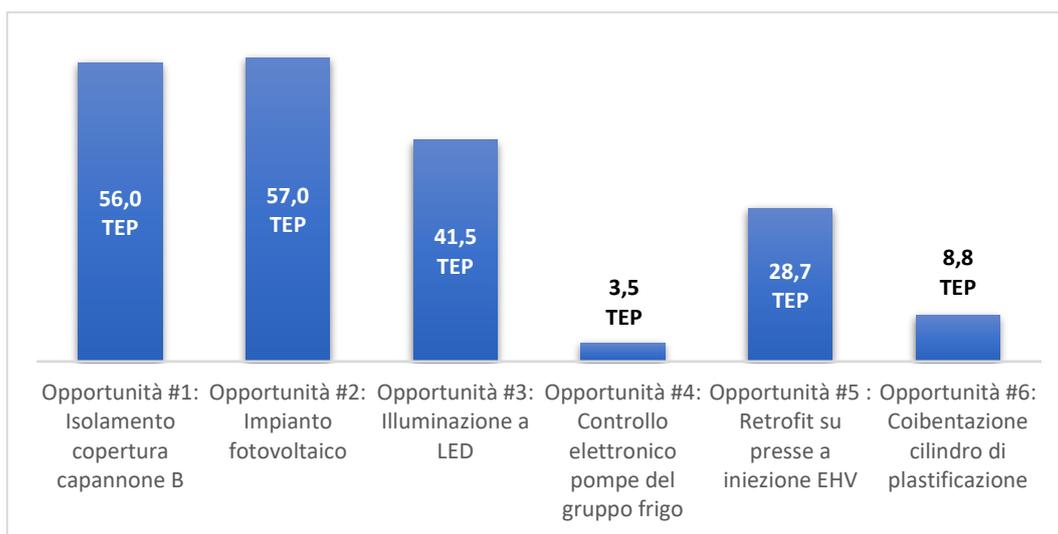


Figura 90: Proposte di efficientamento ordinate per risparmio di energia primaria annuale (TEP)

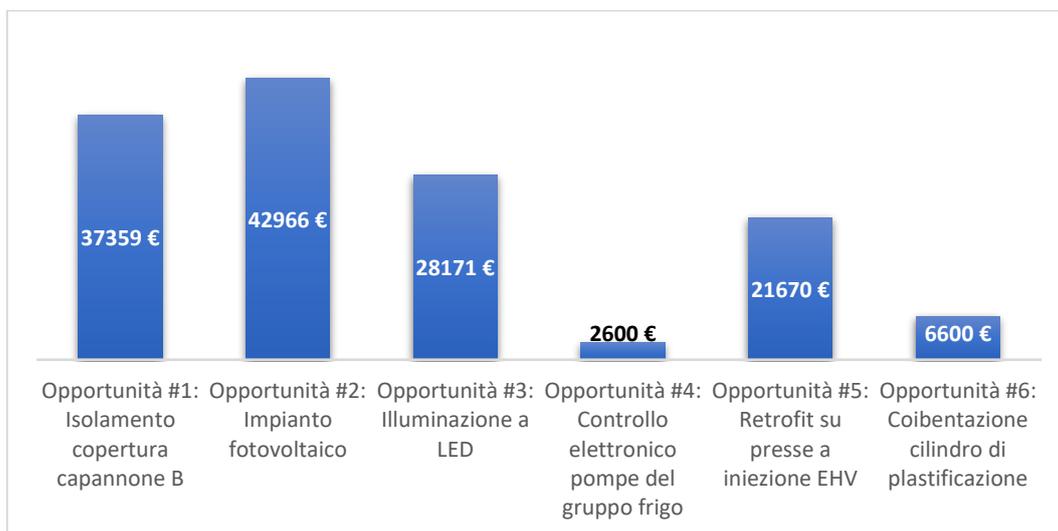


Figura 91: Proposte di efficientamento ordinate per risparmio economico annuale (€)

Dal punto di vista del risparmio economico e di energia primaria i migliori efficientamenti sono l'introduzione dell'impianto fotovoltaico e l'isolamento della copertura del capannone B. A seguire con una minore riduzione di energia consumata vi sono la sostituzione dei corpi illuminati e il retrofit delle presse elettroidrauliche con azionamento a pompa variabile. Il minor risparmio si otterrebbe con l'installazione del controllo elettronico delle pompe dei due frigoriferi per la refrigerazione degli stampi nel reparto di stampaggio. Mentre di poco maggiore è il recupero di energia e denaro con l'installazione dei materassini isolanti sul cilindro di plastificazione.

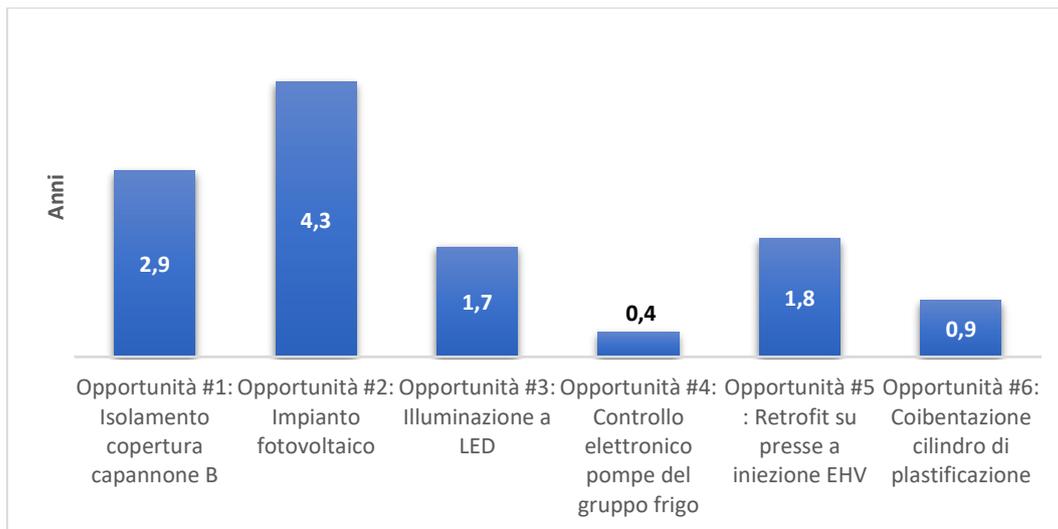


Figura 92: Proposte di efficientamento ordinate per payback time dell'investimento

In termini di tempo per il ritorno economico, la peggiore opportunità in termini di risparmio è la migliore, visto il basso investimento. Ottimo tempo di ritorno, inferiore a due anni, per l'illuminazione a LED e l'aggiornamento delle presse EHV, mentre è inferiore all'anno il payback time per la coibentazione del cilindro. Inferiore ai tre anni di tempo per coprire le spese per l'isolamento della copertura. Infine, difficilmente realizzabile, senza agevolazioni statali o regionali, l'installazione dell'impianto fotovoltaico; ma da prendere in considerazione nel caso di incentivi futuri.

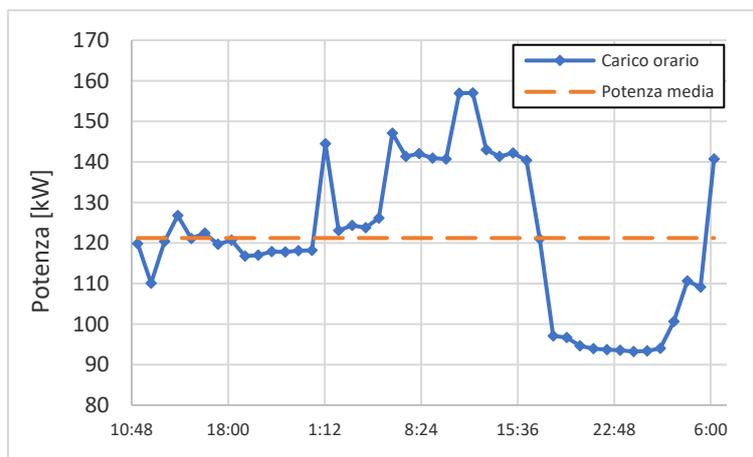
Allegato A: Profili Orari

Sono riportati i profili orari ottenuti dalle campagne di misurazione effettuate sui quadri elettrici dei reparti.

- Reparto stampaggio plastica K1

Il quadro elettrico comprende:

- U1: EE per usi produttivi (alimentazione presse, essiccatori, turbine per tiraggio materiale);
- U6: EE per aspirazione fumi;
- U5: EE per carroponti.

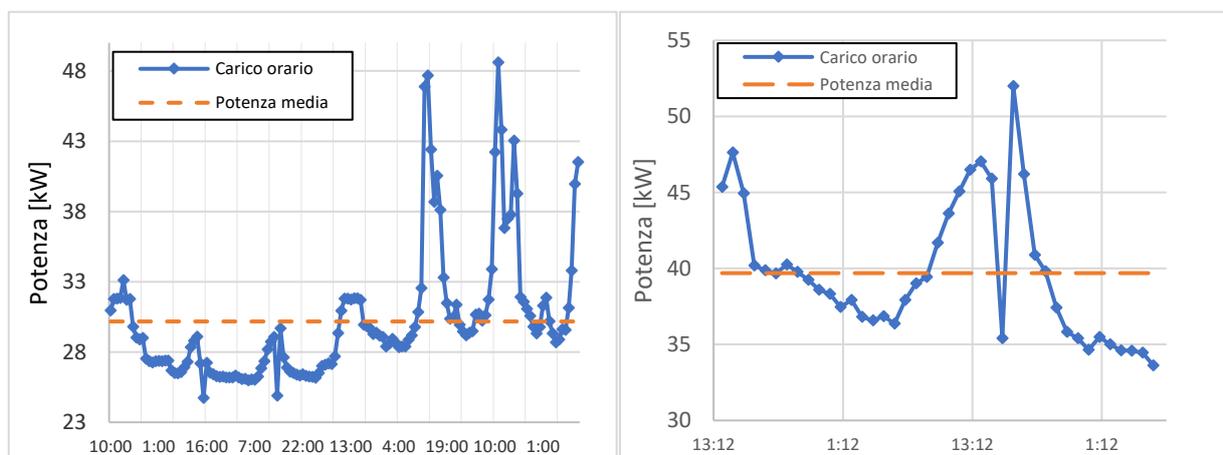


Quadro Reparto plastica K1 (Lunedì a Mercoledì – Aprile 2019)

- Reparto stampaggio plastica K2

Il quadro elettrico comprende:

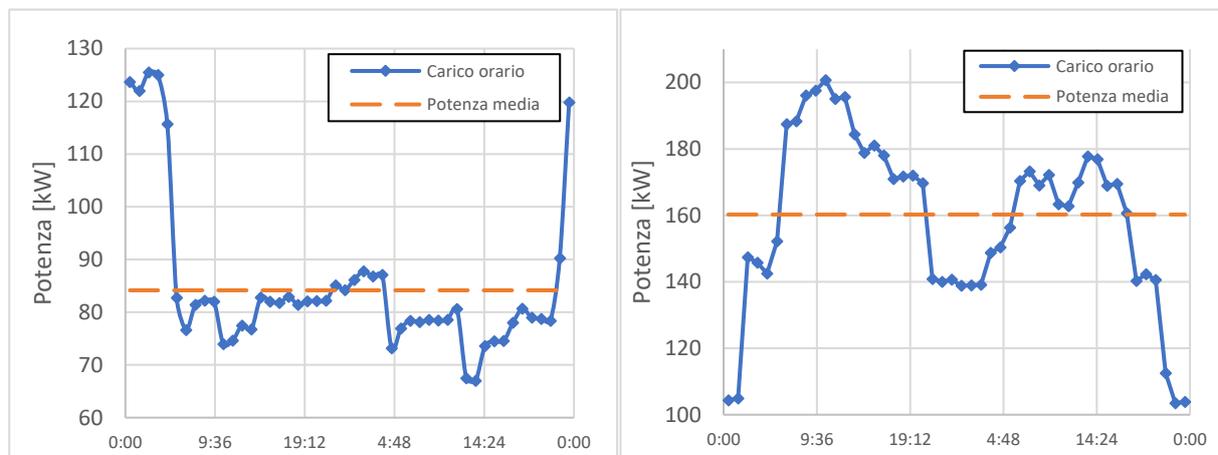
- U1: EE per usi produttivi (alimentazione presse, essiccatori, turbine per tiraggio materiale);



Gruppo frigorifero plastica invernale (da Venerdì a Giovedì – Gennaio 2020) e estivo (Lunedì a Giovedì – Giugno 2019)

- U3: ACF per usi produttivi (raffreddamento macchine). L'energia elettrica consumata dal gruppo frigorifero del reparto stampaggio (K1 e K2) è stata misurata in estate e in inverno.

- U14: EE per usi ufficio del Box di reparto, e relativa illuminazione

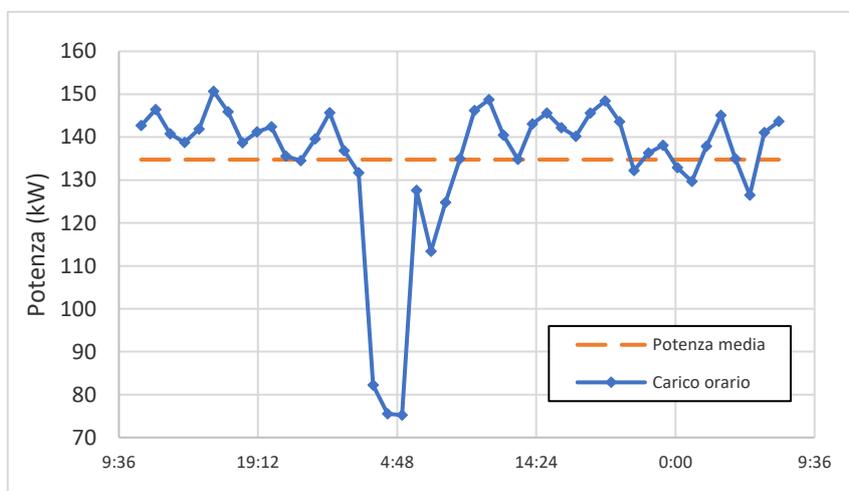


Quadro Reparto plastica K2 (Sabato e Domenica, Lunedì e Martedì – Aprile 2019)

- Reparto Idraulica K3

Il quadro elettrico comprende:

- U1: EE per usi produttivi;
- U6: EE per aspirazione fumi.

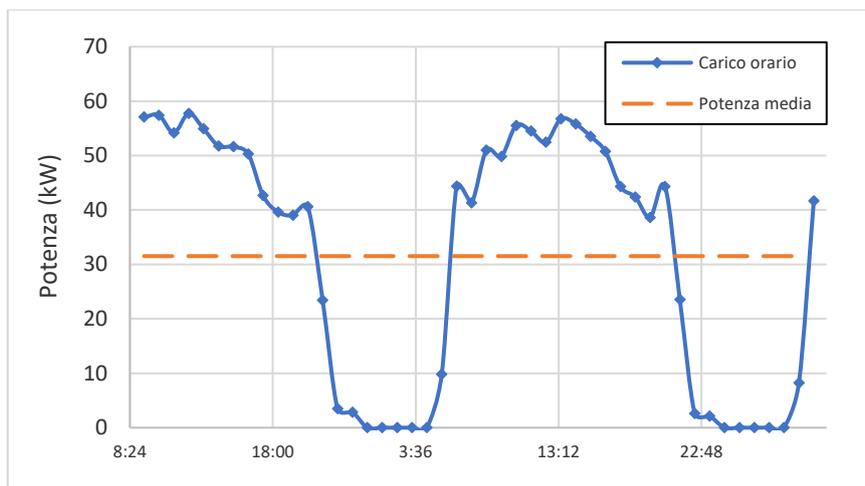


Quadro Reparto Idraulica K3 (Lunedì a Mercoledì – Aprile 2019)

- Reparto Trance K5

Il quadro elettrico comprende:

- U1: EE per usi produttivi (trance, frigoriferi dedicati);
- U6: EE per aspirazione fumi;
- EE per box di reparto (U12, U13, U14 e illuminazione).

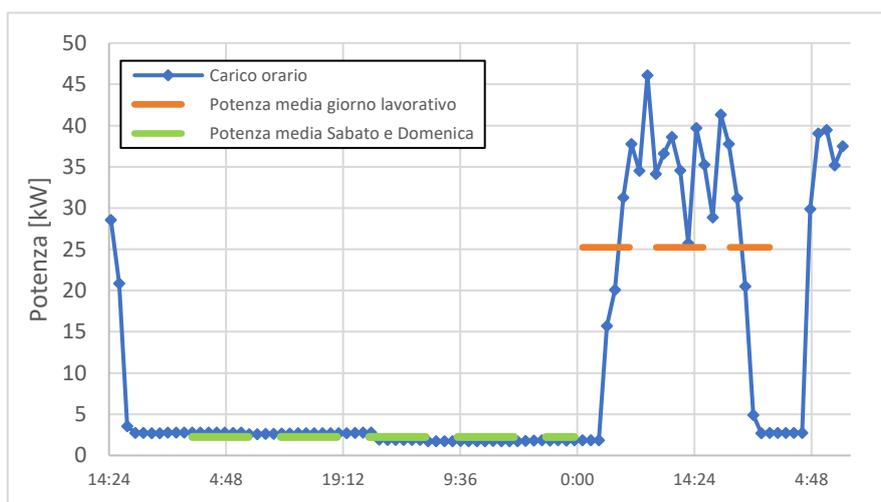


Quadro Reparto Tranciatura K5 (Lunedì a Mercoledì – Aprile 2019)

- Reparto Galvanica K6

Il quadro elettrico comprende:

- U1: EE per usi produttivi (compreso EE per Depurazione delle acque);
- U6: EE per aspirazione fumi.

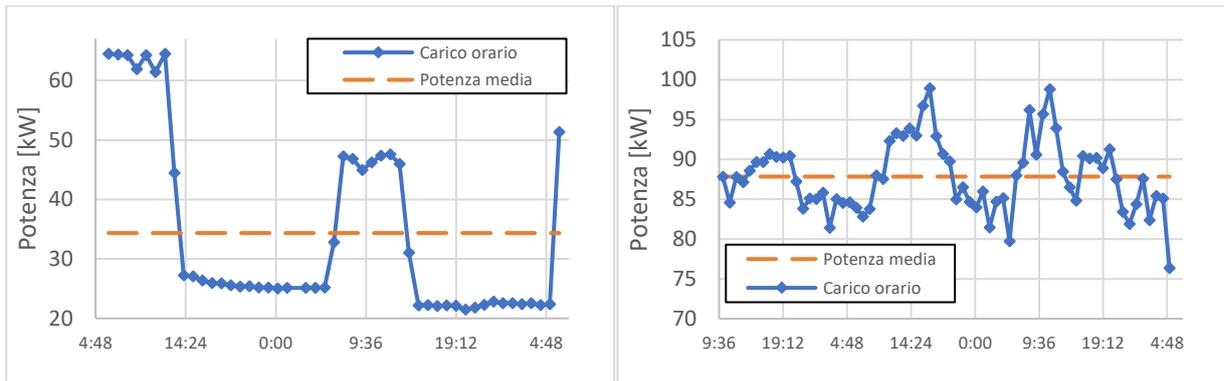


Quadro Reparto Galvanica K6 (Venerdì a Martedì – Giugno 2019)

- Reparto Bobine K7

Il quadro elettrico comprende:

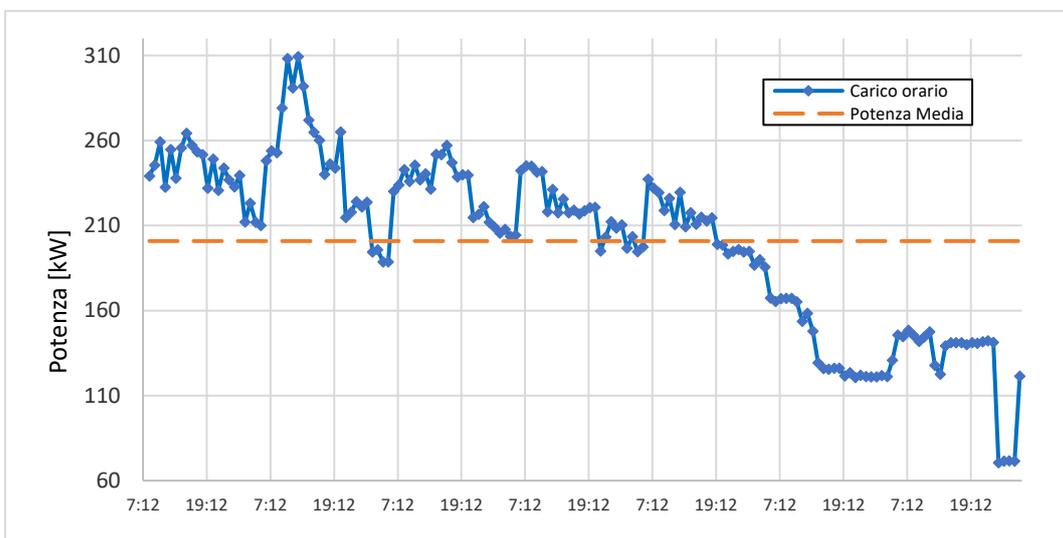
- U1: EE per usi produttivi (Linee di assemblaggio, presse verticali, frigoriferi dedicati);
- U3: ACF per usi produttivi (frigorifero saldatrici del reparto K7, frigorifero del reparto K6);
- EE box del reparto K7 e dell'officina manutenzione.



Quadro Reparto Bobine K7 (Sabato e Domenica, Mercoledì e Venerdì – Aprile 2019)

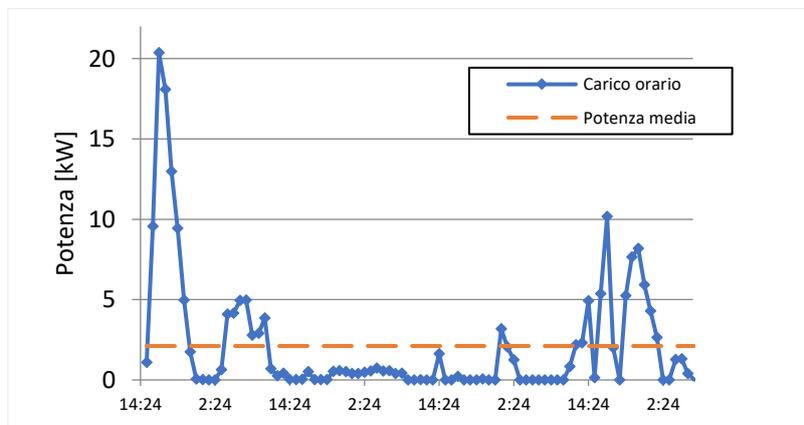
- Sala compressori

La sala compressori comprende compressori ed essiccatori.



Quadro Sala compressori (Lunedì a Domenica – Marzo 2019)

- Ricarica muletti



Ricarica Muletti (Giugno 2019)

Allegato B: Modelli di calcolo

- U1: EE per usi produttivi

Vengono effettuate misurazioni sui quadri elettrici dei reparti produttivi. Il consumo ottenuto deve essere scorporato perché oltre all'energia elettrica per usi produttivi comprende anche altri impieghi di energia elettrica.

- Fattori d'aggiustamento

Settimane di apertura	50
Giorni feriali a settimana	5
Giorni festivi a settimana	2

- Consumi dei reparti di produzione da campagne di misura ai quadri elettrici

Area	A1	A2	A3	A5	A6	A7
Denominazione	K1-Plastica 1	K2-Plastica 2	K3-Idraulico	K5-Trance	K6-Galvanica	K7-Bobine
Ore lavoro / giorno [h]	24	24	24	19	24	24
Potenza media L-V [kW]	121	160	135	41	25	88
Potenza media S-D [kW]	64	84	40	-	2	34
Fattore S-D	53%	53%	30%	0%	9%	39%
Energia consumata [kWh] / settimana	17.602	23.269	18.113	3.867	3.136	12.189

- Consumi dei reparti di produzione da letture di misuratori fissi ai quadri elettrici

Area	A4	A8
Denominazione	K4-Microinterruttori	K8-Bistabile
Ore lavoro / giorno [h]	24	16 + 8(60%)
Fattore S-D	50% x 8h	50% x 6h (Sab.)
Energia consumata [kWh] / settimana	2.288	3.420

- Consumi dei reparti di produzione da calcoli, con la potenza installata

Area	A9	A5
Denominazione	K9-HVAC	Attrezzatura del reparto K5-Trance
Ore lavoro / settimana	60	40
Potenza installata [kW]	44.8	35
Fattore potenza assorbita / installata	32%	50%
Energia consumata [kWh] / settimana	857	700

○ U1

Area	Reparto	Quadro elettrico [kWh/anno]	Consumo gruppo frigo [kWh/anno]	Consumo per carroporti [kWh/anno]	Consumo per motori aspirazione [kWh/anno]	Consumo per illuminazioni e [kWh/anno]	Consumo (uso uffici) box di reparto [kWh/anno]	Consumo illuminazione box di reparto [kWh/anno]	Consumo per condizionatori [kWh/anno]	Consumo compressor e [kWh/anno]	U1 [kWh/anno]
A1	K1-Plastica	880077	-	18750 (tutto su quadro K1)	126000 (tutto su quadro K1)	-	-	-	-	-	735327
A2	K2-Plastica	1163436	302400 (tutto su quadro K2)	-	-	-	368	605	-	-	860063
A3	K3-Idraulico	905631	-	-	138600 (comprend e motore K3 e K4)	-	1425	2419	-	-	763187
A4	K4-Micro	114400	-	-	-	16266	-	-	6951	-	91182
A5	K5-Trance	193357	-	-	30000	-	-	-	86	-	180861
	Attrez.	35000	-	-	15000	-	1257	1152	-	-	
A6	K6-Galvanica	156796	-	-	30000	-	-	-	-	-	126796
A7	K7-Bobine	609467	47160 (frigo K7 e K6 in quadro K7)	-	68400	-	-	-	284	-	478615
A8	K8-Bistabile	171022	-	-	37800	-	9162	5846	2342	8000	118998
A9	K9-HVAC	42863	-	-	28000	3881	-	-	-	-	14863

• U2: ACC per usi produttivi (calore di processo)

Valori dei consumi ricavati da letture di misuratori fissi.

Area	A3	A6
Denominazione	K3-Idraulico	K6-Galvanica
Potenza termica [kW _{th}]	35	35
Ore funzionamento / anno	8.450	2.120
% potenza assorbita / installata	60%	5%
Calore annuo prodotto [kWh _{th}]	174.983	2.214
Consumo annuo gas [Sm ³]	19.127	242

• U3: ACF per usi produttivi (freddo di processo)

○ Consumi Gruppo frigorifero (reparti di stampaggio plastica K1 e K2) da campagne di misura

Area d'interesse	A1 e A2
% A1 - K1-Plastica	50%
% A2 - K2-Plastica	50%
Ore lavoro / giorno [h]	24

	Estate	Inverno
Numero settimane	35	15
Potenza media L-V [kW]	40	-
Potenza media S-D [kW]	35	-
Potenza media L-D [kW]	-	30
Energia consumata [kWh] / settimana	6480	5040
COP equivalente	4,3	5,53

Il COP equivalente rappresenta il rapporto tra freddo prodotto dall'insieme del gruppo frigo, e l'assorbimento elettrico complessivo dell'unità. Il COP è il rapporto tra il freddo prodotto e l'assorbimento elettrico dei compressori della singola unità frigorifera, mentre per la batteria adiabatica si considera la spesa elettrica per il funzionamento dei ventilatori.

- Consumi unità frigo (reparti K6-Galvanica e K7-Bobine) derivanti da stime

Area	A6	A7
Denominazione	K6-Galvanica	K7-Bobine
Potenza assorbita nominale [kW]	22	9
Ore funzionamento / anno	4.000	7.600
% funzionamento	30%	30%
kWh / anno	26.640	20.520
kWh _{fr} / anno	69.349	43.624
COP equivalente	2,6	2,1

- U4: AC per usi produttivi

- Consumi Totali della sala compressori da campagne di misura, e suddivisione dell'utilizzo di aria compressa tra aree ottenuta tramite stime.

A		B	
% TOT	74%	% TOT	26%
K1-Plastica	10%	K5-Trance	5-10%
K2-Plastica	10%	K6-Galvanica	5%
K3-Idraulico	50%	K7-Bobine	70-80%
K4-Microinterruttori	25%	K8-Bistabile	10-15%
Laboratori	5%	-	-

Potenza media settimanale [kW]	201
Ore funzionamento / giorno [h]	24
Energia consumata [kWh] / anno	1.687.157
Nm ³ / anno	13.856.183

- Aria compressa per collaudo nel reparto K8-Bobine (A8)

Potenza installata [kW]	16
Ore / anno	500
kWh / anno	8.000
Nm ³ / anno	30.600

- U5: EE carroporti e area ricarica muletti

- Consumi carroporte ricavati da stime

Area d'interesse	A1 e A2
% A1	50%
% A2	50%
Ore lavoro / anno [h]	24
Potenza installata [kW]	10,5
Potenza media S-D [kW]	21
Energia consumata [kWh] / anno	18.750

- Consumi dell'area ricarica muletti (piazzale – A16) ricavati da misure

Potenza media [kW]	2.1
Ore / anno	8.400
kWh / anno	17.740

- U6: EE per aspirazioni (fumi e trucioli) – stime

Area	Denominazione	Potenza installata [kW]	h/anno	kWh / anno
A1	K1-Plastica	7,5	8.400	63.000
A2	K2-Plastica	7,5	8.400	63.000
A3	K3-Idraulico	13,2	8.400	110.880
A4	K4-Microinterruttori	3,3	8.400	27.720
A5	K5-Trance	15	3.000	45.000
A6	K6-Galvanica	7,5	4.000	30.000
A7	K7-Bobine	9	7.600	68.400
A8	K8-Bistabile	7,5	6.300	37.800
A9	K9-HVAC	8	3.500	28.000

- U7: illuminazione interna – stime

Area	Denominazione	Pt installata [W]	h /anno	kWh /anno
A1	K1-Plastica	3.536	8.400	29.702
A2	K2-Plastica	3.680	8.400	30.912
A3	K3-Idraulico	12.712	8.400	106.781
A4	K4-Microinterruttori	2.392	6.800	16.266
A5	K5-Trance	5.520	7.300	40.454
A6	K6-Galvanica	2.500	4.000	10.000
A7	K7-Bobine	12.468	8.400	104.731
A8	K8-Bistabile	1.268	7.400	9.357,6
A9	K9-HVAC	1.520	8.400	12.768
A10	Magazzino	9.188	5.400	49.938
A12	Laboratori	3.324	1.500	4.986
A13	Uffici e infermeria	7.584	2.300	17.338
A14	Officina manutenzione	852	2.000	1.704
A15	Mensa e spogliatoi	1.800	2.500	4.500
A17	CED	232	2.000	464

- U8: Illuminazione esterna (A16 – piazzale) – stime

LED	Pt installata [W]	h /anno	kWh /anno
76 W	2.052	3.500	7.182
53 W	1.219	8.400	10.240

- U9: ACC per riscaldamento – stime

Per calcolare la quantità di gas naturale che necessita lo stabilimento per riscaldare le aree, si fanno alcune ipotesi sulla composizione della struttura:

- Pareti capannone A-B: 25 cm di spessore, composte da cemento armato ($k = 2,3 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$);
con al centro uno strato intermedio di polistirolo ($k = 0,044 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$) pari a 5 cm.

- Copertura capannone A: 12 cm cemento armato e doppia lastra da 7 cm in schiuma poliuretana ($k = 0,03 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$); il 10% della copertura è composta da lucernai.
- Copertura capannone B: 12 cm cemento armato e uno strato di pochi mm in acciaio inox ($k = 17 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$); i lucernai sono il 25% della copertura.
- Lucernai: doppio strato di policarbonato ($k = 0,2 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$) da 2 cm con intercapedine d'aria.
- Finestre doppie con taglio termico: presenti solo nel capannone A (28 finestre da 3 m²).
- Finestre doppie con telaio in alluminio (25%) senza taglio termico: montate in entrambi i capannoni. Sono il 40% della superficie delle pareti esposte all'ambiente esterno dei capannoni B (reparti produttivi e uffici). Nel capannone A (reparti) copre il 20% della superficie, è negli uffici equivale al 30% della superficie.
- Uffici: la struttura delle pareti è quella del capannone (è la stessa struttura); la copertura dei locali uffici di entrambe le strutture, presenta l'aggiunta di uno strato in fibra di legno ($k = 0,042 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$); con intercapedine.

Nota la composizione della struttura deve calcolare il coefficiente globale di trasmissione per pareti, coperture e finestre, seguendo la formula:

$$U = \frac{1}{(R_{si} + R_{se} + R_{inter.} + \sum_i \frac{s_i}{k_i})} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Dove $R_{si} = 0,1 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ e $R_{se} = 0,04 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ sono le resistenze superficiali interna e esterna; $R_{inter} = 0,18 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$ è la resistenza termica dell'intercapedine; $s_i [m]$ è lo spessore e $k_i \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$ è la conducibilità termica dello strato i-esimo.

	Pareti	Copertura Reparti A	Copertura Reparti B	Copertura uffici A	Copertura uffici B	Finestre senza taglio termico	Finestre con taglio termico	Lucernai
U [W/m ² K]	0,7	0,2	5,2	0,2	1,5	3,7	1,5	1,9

Di seguito Sono riportati i risultati (i fattori N e Qint sono stati presi dalla letteratura [1] e [2]).

Zona	kWh _{th} /m ² /anno	GG corretti	N [1/h]	Qint-sensibile [W/m ²]	Qint-latente [W/persona]
CAP. A (reparti produttivi)	28,4	1.838,7	0,5	10	50
CAP. B (reparti produttivi)	239,7	1.838,7	0,5	10	50
Uffici A	55,2	2.145,1	1	6	50
Uffici B	110,1	2.145,1	1	6	50

Fattori ottenuti con il modello termico spiegato nel documento, da applicare alle differenti aree.

Area	Denominazione	kWh _{th} / anno	Sm ³ / anno
A1	K1	215.980	24.712
A2	K2	114.994	13.157
A3	K3	534.866	61.197
A5	K5	31.198	3.570
A6	K6	8.246	943
A7	K7	54.614	6.249
A8	K8	4.260	487
A9	K9	8.704	996
A10	Magazzino	12.880	1.474
A12	Laboratori	27.808	3.182
A13	Uffici e infermeria	123.145	14.090
A14	Officina manutenzione	2.679	307
A15	Mensa e spogliatoi	23.601	2.700

- U10: Acqua calda sanitaria

5	litri/persona/giorno
292	Dipendenti
350	giorni
511.000	kg acqua / anno
Temp. mandata [°C]	40
Temp. Pozzo [°C]	15
cp acqua [kJ/kgK]	4,186
Calore prodotto [kWh _{th} / anno]	14.854
Sm ³ di gas / anno	1.700
% Uffici - A13	50%
% Spogliatoio - A15	50%

- U11: ACF per raffrescamento – stime

	Uffici	Laboratori
kWh _{fr} /m ² /y	0,4	0,4
kWh _{fr} / y	100,3	40,9
kWh / y	49,0	20,0

- U12: AIRC per riscaldamento – stime

I reparti climatizzati, i locali chiusi: K4-Microinterruttori e K8-Bistabile sono composti da pareti e coperture in acciaio coibentato; l'isolamento è realizzato con una schiuma poliuretana. Lo spessore della parete è di 5 cm ($U = 0,51 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$). L'area finestrata è del 50% su solamente due lati.

	K4-Microinterruttori	K8-Bistabile	Uffici	Laboratori
kWh _{th} /m ² /y	43	23	55	110
kWh _{th} / y	16.853	6.025	1.683	10.881
kWh / y	6.389	1.978	529	3.325

- U13: AIRF per raffrescamento – stime

La struttura dei box di reparto è così composta: due strati da 1,2 cm di truciolato ($k = 0,15 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$), con al centro un'intercapedine e uno strat in lana di vetro su fibra in poliestere ($k = 0,04 \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$).

	K4-Microinterruttori	K8-Bistabile	Uffici	Laboratori	CED	BOX
kWh _{fr} /m ² /y	5	1	0	0	58	6.3
kWh _{fr} / y	1.852	1.225	12	40	5.635	425
kWh / y	563	365	3	12	1.844	121

- U14: EE ufficio – stime

Per ricavare tramite calcoli il consumo di energia elettrica per usi d'ufficio, si adotta un valore da letteratura: 20 W/m².

	BOX reparto	Uffici
Area [m ²]	323	984
[W]	6.460	19.684
ore/anno [h]	2.500	2.500
[kWh / anno]	16.151	49.209

- U15: EE laboratori, officina manutenzione e CED - stime

	CED	Officina manutenzione
Potenza installata [kW]	5	2
Ore / giorno [h]	24	10
Giorni / anno	365	250
Energia assorbita [kWh/anno]	43.800	5.000

Laboratori	Metrologia	Idraulico	Elettrico	Bistabile	Recupero pezzi		Laboratorio Qualità
Pt installata [kW]	20	7	-	4	9	-	4,5
[W/m ²]	-	-	20	-	-	20	-
% assorbimento	35%	50%	-	60%	0.025%	-	50%
Ore funzionamento [h/anno]	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Energia Assorbita [kWh/anno]	17.500	8.750	5.205	6.000	5,6	2.432	5.625

- U16: Gas per mensa – stime

Pasti al giorno	150
Dipendenti	292
Gas consumato [Sm ³ /anno]	614

- U17: Gasolio per automezzi – misura (fattura)

7.716	litri / anno
0,84	kg / litro
6.481	kg / anno

- U18: EE pompaggio – stime

Numero pompe	10
Potenza pompa [W]	500
Potenza installata [kW]	5
Ore [h] / anno	8.400
Consumo [kWh/anno]	42.000

- U19: Propano per stagnatura – misura (fattura)

Bombola GPL [kg]	50
Numero bombole annue	4
Consumo GPL annuo [kg/anno]	200

- U20: EE cucina – stime

Dati fanno riferimento al sito internet: www.energycheckup.eu.

Fattore unitario [kWh/m ² /anno]	300
Area [m ²]	~200
Consumo annuo [kWh/anno]	60.101

Allegato C: Indicatori energetici

Gli indicatori energetici e prestazionali di seguito riportati sono ottenuti dalla compilazione del format ENEA. Con gli indicatori è possibile mostrare un ulteriore legame tra l'energia consumata e la produzione. Nel presente studio, la produzione è definita solamente in generale come kg totali di prodotto per l'intero stabilimento, senza andare nel dettaglio delle produzioni di ogni reparto.

Non sono presenti indicatori generali di riferimento perché le realtà produttive del settore si differenziano molto nell'assetto del sito.

ENERGIA ELETTRICA			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	Copertura del 95% dei consumi raggiunta
			kWh	tep	tipo misura	kWh / kg				
LB	j=1	ENERGIA ELETTRICA	6.891.000	1.288,6	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	2,02	7.009.707	-118.707	101,7%	
			CONSUMO	TEP ING.	lpg					
LC	1.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	3.915.214,5	732,1	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	1,15				
LD	1.1.1	U1 Energia elettrica per usi produttivi	3.547.256,5	663,3	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	1,04				
	1.1.2	U3 Acqua fredda per usi produttivi	367.958,0	68,8	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,11				
LC	1.2	SERVIZI AUSILIARI	2.321.524	434,1		0,68				
LD	1.2.1	U4 Aria compressa	1.784.376	333,7	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,52				
	1.2.2	U5 Energia elettrica carro ponti e ricarica muletti	38.411	7,2	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,01				
	1.2.3	U6 Energia elettrica per aspirazioni	498.737	93,3	Calcoli	0,15				
LC	1.3	SERVIZI GENERALI	772,968.0	144,8		0,23				

LD	1.3.1	U7 Illuminazione interna	463.054	86,6	Calcoli	0,14
	1.3.2	U8 Illuminazione esterna	18.339	3,4	Calcoli	0,01
	1.3.3	U11 Acqua fredda per raffrescamento	72,6	0,0	Calcoli	0,00
	1.3.4	U12 Aria calda per riscaldamento	12.864,4	2,4	Calcoli	0,00
	1.3.5	U13 Aria fredda per raffrescamento	3.082,0	0,6	Calcoli	0,00
	1.3.6	U14 Usi ufficio	66.929	12,5	Calcoli	0,02
	1.3.7	U15 Laboratori. manutenzione e Centro Elaborazione Dati	101.152	18,9	Calcoli	0,03
	1.3.8	U18 Pompaggi	44.211	8,3	Calcoli	0,01
	1.3.9	U20 Mensa	63.264	11,8	Calcoli	0,02

GAS NATURALE			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	Copertura del 95% dei consumi raggiunta
			Sm3	tep	tipo misura	Sm3 / kg				
LB	j=2	GAS NATURALE	146.163	120,6	Calcoli	0,04	154,259	-8,096	105.5%	
			CONSUMO	TEP ING.	lpg					
LC	2.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	19.369	16,0	Misure indirette (campionamenti , campagne di misura, ecc.)	0,01				
LD	2.1.1	U2 Acqua calda per usi produttivi	19.369	16,0	Misure indirette (campionamenti , campagne di misura, ecc.)	0,01				
LC	2.3	SERVIZI GENERALI	134.890,1	111,3		0,04				
LD	2.3.1	U9 Acqua calda per riscaldamento	132.576,1	109,4	Calcoli	0,04				
	2.3.2	U10 Acqua calda sanitaria ACS	1.700	1,4	Calcoli	0,00				
	2.3.3	U16 Gas per la mensa	614	0,5	Calcoli	0,00				

Gasolio			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	Copertura del 95% dei consumi raggiunta
			t	tep	tipo misura	t / kg				
LB	j=8	Gasolio	6,5	6,6	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00	6	0	100,0%	
			CONSUMO	TEP ING.	lpg					
LC	8.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	6,5	6,6	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00				
LD	8.1.1	U17 Gasolio per automezzi	6,5	6,6	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00				

GPL			CONSUMO	TEP ING.	lpg		Consumi monitorati/ calcolati	Altro	% copertura consumi	Copertura del 95% dei consumi raggiunta
			t	tep	tipo misura	t / kg				
LB	j=7	GPL	0,2	0,2	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00	0	0	0,0%	
			CONSUMO	TEP ING.	lpg					
LC	7.1	ATTIVITA' PRINCIPALI	0,0	0,0	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00				
LD	7.1.1	U19 GPL per stagnatura	0,2	0,2	Misure indirette (campionamenti, campagne di misura, ecc.)	0,00				

Riferimenti

- [1] Pietro Gabriele, Elena Giacone, Salvatore Mancò, *Dispense del corso di Gestione dei sistemi energetici*, Torino, Politeko, 2018.
- [2] Nino di Franco, *Energy Management: Fondamenti per la valutazione e il controllo dell'efficienza energetica*, 3 ed., FrancoAngeli, 2019.
- [3] Alfonso Capozzoli, *Materiale per la didattica del corso di Energetica dell'edificio*, Politecnico di Torino, 2017.
- [4] Enea (ing. Domenico Santino), *Diagnosi energetica art. 8 del D. Lgs. 102/2014. Linee Guida e manuale operativo. Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio*, 2019
- [5] Jurgen Blumm, André Lindemann, *Characterization of the thermophysical properties of molten polymers and liquids using the flash technique*.
- [6] Dipartimento Energia Politecnico di Torino, *Materiale per la didattica del corso di Introduction to computational heat transfer*, 2017.
- [7] Jan H. Shut, *Eco-molding: more power for less energy*, Plastic Engineering, 2015.
- [8] SMC Italia Spa, *Manuale di oleodinamica, cap. Evoluzione dei sistemi idraulici verso il sistema LS*, pag. 279-287.