

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

*Applicazione di un Sistema di Gestione dell'energia ad
uno stabilimento ZF Friedrichshafen AG*



Relatore
Prof. Salvatore Mancò

Candidato
Edoardo Becchi

Anno Accademico 2018/2019

Indice

0. Sommario.....	1
0. Abstract.....	1
1. Introduzione	1
1.1. Il problema climatico.....	1
1.2. Situazione energetica mondiale.....	2
1.3. Efficienza energetica e sistemi di gestione dell'energia.....	7
1.4. Statistiche, storia e diffusione della ISO 50001	10
2. Analisi Aziendale.....	14
2.1. Premessa	14
2.2. ZF Group	14
2.3. ZF Automotive Italia S.r.l. – Stabilimento di Ostellato	15
Inquadramento aziendale.....	16
Processo produttivo	18
Suddivisione in reparti e macchinari operativi principali.....	24
Fornitura energetica	33
Incidenza dell'energia sul bilancio aziendale	39
3. Sistema di Monitoraggio	41
3.1. Premessa e stato dell'arte.....	41
3.2. Stato di fatto aziendale: analisi dei sistemi installati	43
Acquisizione dati di produzione.....	44
Analizzatori sulla rete elettrica	45
3.3. Analisi di copertura e miglioramenti del sistema.....	50
Dati di produzione: analisi di copertura.....	50
Dati di consumo elettrico: analisi di copertura.....	52
4. Caratterizzazione Energetica.....	55
4.1. Teoria e inquadramento normativo	55
4.2. Ricerca degli Energy Drivers.....	56
4.3. Analisi statistica.....	58
Consumi di energia elettrica totali di stabilimento.....	58
Consumi reparto produttivo.....	65
Consumi reparto ingranaggi	71
Consumi reparto corpi	76
Consumi reparto boccole	78
Consumi reparto lavaggio.....	82
Consumi reparto assemblaggio	84

Consumi reparto compressori	87
Consumi reparto L&T	91
Consumi Illuminazione	92
Consumi Blindo 14.....	94
Consumi Gas Naturale	98
Riepilogo analisi statistica	103
4.4. EnPI.....	104
Definizione degli indici.....	104
Calcolo e analisi degli indici	106
4.5. Analisi Deterministica.....	110
Analisi dei carichi elettrici di stabilimento.....	110
Lavatrice Industriale Durr E	115
5. Strategie per il Miglioramento della Prestazione Energetica.....	120
5.1. Controllo di Gestione energetico	121
5.2. Interventi di miglioramento dell'efficienza energetica	123
Interventi migliorativi di gestione ottimale degli impianti.....	124
Interventi migliorativi per il sistema di monitoraggio	134
Interventi migliorativi agli impianti	139
6. Conclusioni	148
Bibliografia.....	151

Indice delle figure

Figura 1: Emissioni mondiali di anidride carbonica (fonte IEA)	3
Figura 2: Fabbisogno energetico mondiale suddiviso per fonti energetiche (fonte IEA) .	4
Figura 3: Consumi energetici finali per settore (fonte IEA).....	5
Figura 4: Consumi energetici finali per settore Europa (fonte IEA)	6
Figura 5: Punti salienti della ISO 50001:2011 (fonte [2])	8
Figura 6: Confronto del trend mondiale delle diverse normative ISO (fonte Department of Energy)	11
Figura 7: Numero di certificazioni globali per anno (fonte ISO)	11
Figura 8: Primi 10 paesi per numero di certificazioni al 2016 (fonte carbon credentials)	12
Figura 9: Principali settori di implementazione della ISO 50001 (fonte ISO)	12
Figura 10: Vista dello stabilimento di ZF Automotive Italia Ostellato	16
Figura 11: Pianta dello stabilimento	17
Figura 12: Esempi di pompe prodotte nello stabilimento di Ostellato (fonte: ZF)	18
Figura 13: Flusso di lavorazione dello stabilimento di Ostellato	20
Figura 14: Forno di rinvenimento e lavatrice nel processo di trattamento termico.....	21
Figura 15: Centro di lavoro con isola robotizzata reparto boccole	22
Figura 16: Pianta dello stabilimento e suddivisione nei reparti produttivi.....	25
Figura 17: Lotto di componenti in alluminio grezzi per corpo pompa	26
Figura 18: Fresatrice per boccole	27
Figura 19: Operazione di dentatura: elementi in acciaio prima e dopo la dentatura.	28
Figura 20: Confronto delle potenze del reparto produttivo e il resto dello stabilimento	31
Figura 21: Ripartizione delle potenze del reparto produttivo	32
Figura 22: Dati di consumo storici di energia elettrica da bolletta.....	34
Figura 23: Consumi mensili di energia elettrica negli ultimi quattro anni	34
Figura 24: Relazione tra costi e prezzi per la fornitura di energia elettrica	35
Figura 25: Dati di consumo storici di gas naturale da bolletta.....	36
Figura 26: Consumi mensili di gas negli ultimi 4 anni	36
Figura 27: Relazione tra costi e prezzi per la fornitura di gas naturale	37
Figura 28: Confronto in tep dei consumi globali storici dello stabilimento.....	38
Figura 29: Confronto della spesa economica annuale dei due vettori energetici.....	38
Figura 30: Incidenza dei costi energetici sul totale di ZF Automotive	39
Figura 31: Fence Diagram dello stabilimento ZF	43
Figura 32: Suddivisione misuratori per macchinari e reparti	48
Figura 33: Suddivisione delle potenze nominali per i carichi elettrici monitorati	49
Figura 34: Peso percentuale delle potenze nominali dei macchinari nel reparto produttivo.....	49
Figura 35: Consumo di materie prime per il processo produttivo	50
Figura 36: Andamento della produzione di semilavorati del processo produttivo.....	51
Figura 37: Produzione di componenti pronti per la vendita.....	52
Figura 38: Riepilogo copertura - confronto con valori fatturati	53
Figura 39: Copertura consumi mensili su quelli fatturati	54
Figura 40: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	59
Figura 41: Interpolazione lineare dei dati campione – Intero Stabilimento.....	60
Figura 42: Diagramma CuSum	61

Figura 43: Diagramma CuSum per i consumi di Energia Elettrica nel periodo di analisi	62
Figura 44: CuSum sulla caratteristica del primo periodo.....	64
Figura 45: Carta di Controllo CuSum Tabulare	65
Figura 46: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi.....	66
Figura 47: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	66
Figura 48: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto produttivo.....	67
Figura 49: Diagramma CuSum	68
Figura 50: Interpolazione lineare dei dati campione – Periodo di setup.....	69
Figura 51: CuSum sulla caratteristica del primo periodo.....	70
Figura 52: Carta di Controllo CuSum Tabulare	70
Figura 53: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi.....	71
Figura 54: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	72
Figura 55: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto ingranaggi.....	73
Figura 56: Diagramma CuSum	73
Figura 57: Interpolazione lineare dei dati campione – Primo periodo.....	74
Figura 58: CuSum sulla caratteristica del primo periodo.....	75
Figura 59: Carta controllo CuSum tabulare	75
Figura 60: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	76
Figura 61: Interpolazione lineare dei dati campione - Reparto.....	77
Figura 62: Diagramma CuSum	77
Figura 63: Carta di Controllo CuSum Tabulare	78
Figura 64: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi.....	78
Figura 65: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	79
Figura 66: Interpolazione lineare dei dati campione - Reparto Boccole.....	79
Figura 67: Diagramma CuSum	80
Figura 68: Interpolazione lineare dei dati campione – Primo periodo.....	81
Figura 69: CuSum sulla caratteristica del primo periodo.....	81
Figura 70: Carta di Controllo CuSum Tabulare	82
Figura 71: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	83
Figura 72: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto Lavaggio.....	83
Figura 73: Diagramma CuSum	84
Figura 74: Dettagli dei consumi di reparto assemblaggio nel periodo in analisi.....	85
Figura 75: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	85
Figura 76: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto Assemblaggio.....	86
Figura 77: Diagramma CuSum	86
Figura 78: Carta di Controllo CuSum Tabulare	87
Figura 79: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	88
Figura 80: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	88
Figura 81: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	89
Figura 82: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	90
Figura 83: CuSum sulla caratteristica del primo periodo.....	90
Figura 84: Carta di controllo CuSum Tabulare.....	91
Figura 85: Confronto tra andamenti dei consumi e dei giorni lavorati	91
Figura 86: Confronto tra andamenti dei consumi e delle variazioni ore buio (ComuniItaliani).....	93
Figura 87: Diagramma CuSum	94
Figura 88: Algoritmo di calcolo dell'energy driver ore lavorate – profilo settimanale... 95	95
Figura 89: Confronto tra andamenti dei consumi settimanali e le ore lavorate	95
Figura 90: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	96

Figura 91: Diagramma CuSum	97
Figura 92: Diagramma CuSum – Caratteristica secondo periodo	98
Figura 93: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione	99
Figura 94: Interpolazione lineare dei dati campione – Gas Naturale	100
Figura 95: Diagramma CuSum	101
Figura 96: Interpolazione lineare dei dati campione – Gas Naturale	102
Figura 97: Diagramma CuSum con caratteristica forzata.....	102
Figura 98: Confronto per reparto del coefficiente di pendenza della caratteristica c1	107
Figura 99: Confronto per reparto dell'indice di consumo nominale.....	108
Figura 100: Confronto per reparto del coefficiente di controllo dei consumi nominali	108
Figura 101: Indici di consumo in funzione del coefficiente di controllo in condizioni nominali	109
Figura 102: Profilo di potenza attiva medio settimanale dello stabilimento in 3D	112
Figura 103: Profilo di potenze medio settimanale dello stabilimento in 2D	112
Figura 104: Profilo di potenza media reattiva settimanale dello stabilimento in 3D ..	114
Figura 105: Profilo di potenze medio settimanale dello stabilimento in 2D	114
Figura 106: Fotografia del reparto lavaggio.....	115
Figura 107: Profilo di potenza attiva settimanale – Lavatrice Durr E.....	116
Figura 108: Profilo di potenza attiva settimanale – Lavatrice Durr E.....	117
Figura 109: Curva di durata intero periodo – Lavatrice Durr E.....	117
Figura 110: Consumi mensili per tipologia di utilizzo – Lavatrice Durr E.....	118
Figura 111: Utilizzi durante le accensioni e gli spegnimenti della lavatrice Durr E.....	119
Figura 112: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione.....	125
Figura 113: Curva di durata Compressore GA55 – Periodo di analisi.....	126
Figura 114: Valori mensili dei consumi domenicali del compressore GA55	127
Figura 115: Valori dei consumi per le festività coincidenti con la chiusura aziendale	127
Figura 116: Curva di durata Sala Compressori – Periodo di analisi.....	129
Figura 117: Valori mensili dei consumi domenicali del compressore GA55	129
Figura 118: Valori di consumi dei compressori per le festività coincidenti con la chiusura aziendale	130
Figura 119: Valori dei consumi rilevati: in grigio le festività, in blu le chiusure domenicali.....	130
Figura 120: Andamento dei profili di potenza duranza la chiusura e riapertura degli impianti	131
Figura 121: Andamento dei profili di potenza duranza la chiusura e riapertura degli impianti	131
Figura 122: Schema della rete di distribuzione dell'aria compressa.....	132
Figura 123: Classi di efficienza secondo IEC/EN 60034-30-1:2014 (fonte ABB).....	140
Figura 124: Dettaglio grafico sui flussi di cassa e il VAN	144

Indice delle Tabelle

Tabella 1: Riepilogo quadri principali, misuratori e condotti monitorati	46
Tabella 2: Suddivisione misuratori elettrici per reparto	47
Tabella 3: Percentuali di copertura mensili per reparto	54
Tabella 4: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	59
Tabella 5: Matrice degli energy drivers	61
Tabella 6: Dati statistici di regressione lineare multipla	62
Tabella 7: Dati statistici regressione lineare multipla sul primo periodo	63
Tabella 8: Dati statistici regressione lineare multipla sul periodo di setup	64
Tabella 9: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	67
Tabella 10: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup.....	68
Tabella 11: Dati statistici regressione lineare semplice sul secondo periodo	69
Tabella 12: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	72
Tabella 13: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup.....	74
Tabella 14: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	76
Tabella 15: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione boccole	79
Tabella 16: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup.....	80
Tabella 17: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e lavaggio pezzi	83
Tabella 18: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	86
Tabella 19: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	88
Tabella 20: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	89
Tabella 21: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e giorni lavorati	92
Tabella 22: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe	92
Tabella 23: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla	92
Tabella 24: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e giorni lavorati	93
Tabella 25: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e variazione ore buio	93
Tabella 26: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla	93
Tabella 27: Dati statistici di regressione lineare multipla.....	94
Tabella 28: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e ore lavorate	96
Tabella 29: Dati di regressione lineare semplice del primo periodo	97
Tabella 30: Dati di regressione lineare semplice del secondo periodo	97
Tabella 31: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di GN e produzione pompe	99
Tabella 32: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla	100
Tabella 33: Riepilogo Caratterizzazione Energetica per area.....	103
Tabella 34: Caratteristiche energetiche utilizzate per il calcolo degli EnPI.....	106
Tabella 35: EnPI divisi per reparto	107
Tabella 36: Riepilogo potenze attive registrate per fascia.....	111

Tabella 37: Riepilogo potenze attive registrate per intervallo di potenza	111
Tabella 38: Riepilogo potenze reattive registrate per fascia.....	113
Tabella 39: Riepilogo potenze reattive registrate per intervallo di potenza.....	113
Tabella 40: Dati motori della rettificatrice Studer, ante e post operam	142
Tabella 41: Dati motori della rettificatrice Tacchella Crossflex, ante e post operam ...	142
Tabella 42: Dati motori della rettificatrice Tacchella Pulsar, ante e post operam	143
Tabella 43: Dati economici dell'intervento.....	143
Tabella 44: Risultati economici dell'intervento.....	144

0. Sommario

L'accettazione ormai internazionale dei cambiamenti climatici da parte della maggioranza dell'umanità ha posto, chi nel mondo decide, in una posizione scomoda. I governanti, infatti, non possono più trascurare il tema ambientale nelle loro campagne elettorali e tutto ciò mette sotto la lente di ingrandimento le loro strategie per aiutare il nostro pianeta. In tutte le azioni effettuate fino ad ora, però, sono mancate caratteristiche fondamentali quali la pianificazione a lungo termine e la coordinazione internazionale. Questo non solo ha prodotto risultati approssimativi e poco convincenti, ma non ha nemmeno messo chiarezza sulla via da intraprendere per risolvere un problema che è di tutti.

A complicare le cose si aggiunge il legame indissolubile tra la sfera ambientale e quella energetica. I maggiori contributi all'effetto serra, infatti, sono costituiti da usi energetici non sostenibili che negli anni si sono radicati nella quotidianità di ognuno di noi. Si deduce che per salvare il nostro pianeta bisognerà passare indiscutibilmente dal problema delle insostenibilità energetiche odierne.

In questo groviglio di interessi si aggiungono variabili di incertezza economico-politica che da sempre contraddistinguono il settore energetico: le tensioni e le guerre tra importatori ed esportatori di idrocarburi fanno oscillare vertiginosamente i prezzi di approvvigionamento dei principali vettori energetici, in uno scenario che essendo intrinsecamente non sostenibile andrà probabilmente a peggiorare nel tempo.

L'incertezza e la confusione che derivano da questa situazione, unite alle difficoltà di una cooperazione internazionale causata da una disuniformità di intenti, fa latitare un piano di azioni anche per quanto riguarda il futuro dell'energia. Il sentiero per salvare il pianeta, nonostante l'elevata popolarità raggiunta dall'argomento ultimamente, resta nebuloso.

Tra tutte le proposte, una delle più promettenti per attenuare l'impatto climatico rimane quella di ridurre i consumi energetici. Non si tratta di smettere di vivere come siamo stati abituati a fare fino ad ora; si tratta di sostenibilità, cioè di un uso razionale e solidale delle risorse naturali globali, al fine di non fermare il progresso mondiale senza danneggiare gli interessi di nessuna popolazione biotica odierna o futura.

Strettamente legato a questo tema, c'è quello dell'efficienza energetica. In termini generali, un incremento di efficienza energetica crea un mancato consumo di energia da cui solitamente derivano un beneficio ambientale (per il mancato rilascio di sostanze clima alteranti) e un vantaggio economico (per il mancato acquisto del surplus energetico risparmiato). Nella pratica, applicare questo concetto non è così facile dal momento che fare efficienza presenta limiti di svariato tipo. Tuttavia, i margini sui cui è possibile lavorare al giorno d'oggi sono ampi e restano comunque amplificabili con l'avvento di nuove tecnologie nel futuro.

In questa tesi di laurea verranno illustrate le tecniche e le metodologie oggi disponibili che un'organizzazione a grande consumo di energia può sfruttare per

intraprendere un percorso a lungo termine finalizzato all'incremento continuo dell'efficienza energetica e ad un utilizzo sempre più sostenibile delle risorse energetico-ambientali. In particolare, si parlerà di Sistema di Gestione dell'energia: un insieme di azioni, progetti e regole volto alla gestione ottimizzata del settore energetico di un'organizzazione, coinvolta a diversi livelli. Il Sistema di Gestione verrà implementato in un'azienda del settore industriale, ma potrà essere applicato ad una qualsiasi realtà che utilizzi energia.

Nel dettaglio si analizzerà lo stabilimento di ZF Automotive Italia S.r.l. ubicato a San Giovanni di Ostellato (FE) e facente parte del gruppo ZF Friedrichshafen AG, un'azienda multinazionale tedesca operante nel settore industriale di componentistica dei trasporti. Lo stabilimento di Ostellato è stato scelto dopo la redazione della Diagnosi Energetica ai sensi del D. Lgs. 102/14 durante il periodo di tirocinio curricolare all'interno della società E.S.Co. BPE Beam Power Energy S.r.l., per continuare il percorso di efficienza energetica voluto dall'azienda.

Lo stabilimento verrà dapprima analizzato nel dettaglio; seguirà poi un progetto di applicabilità del Sistema di Gestione dell'Energia, osservando indicazioni e normative internazionali e valutando le azioni necessarie da adottare nel mercato energetico moderno. Una volta ottenuto un modello consolidato formato da indicatori stabili, verranno studiate delle soluzioni per l'incremento dell'efficienza energetica specifiche per la realtà in esame e la stima dei risparmi economici e ambientali conseguibili.

Lo scopo di questo lavoro è mettere in luce come l'organizzazione, l'informazione e la consapevolezza unite ad un investimento iniziale di beni e risorse permetta il raggiungimento di traguardi importanti nell'ambito energetico, dove confusione e negligenza dilagano ancora oggi.

Un altro aspetto da non sottovalutare è quello economico. Bisogna cercare di abbattere il pregiudizio secondo cui la sostenibilità sia costosa a priori. Fare interventi migliorativi in campo energetico e ambientale dev'essere visto come un'opportunità di risparmio economico da cui vengono liberate risorse che possono essere utilizzate anche in altri campi. La speranza è che il raggiungimento di risultati sempre più positivi spinga ad azioni concrete anche chi detiene potere decisionale in questo ambito nel mondo.

Il nostro futuro è legato da quello della natura dal momento che essa, presente da miliardi di anni prima di noi, è sempre stata in continua evoluzione e supererà anche questa piccola seccatura che è il surriscaldamento globale. Quest'ultimo dovrebbe invece preoccupare noi perché rischiamo di perdere il mondo come lo conosciamo. La nostra rimane quindi una scelta egoistica per salvare noi stessi e le prossime generazioni da un futuro ignoto. Siamo noi, con le nostre azioni, a determinare il nostro futuro, ma ci dobbiamo appellare al nostro istinto di sopravvivenza.

Si attiverà in tempo?

0. Abstract

The contemporary international acceptance of climate changes by the majority of humanity has placed, who decides in the world, in an uncomfortable position. Politicians, in fact, can no longer neglect the environmental theme in their election campaigns and this puts their strategies to help our planet under the spotlight. However, in all the actions carried out so far, there is a lack of fundamental characteristics such as long-term planning and international coordination. This has not only produced approximate results but has not even brought clarity to the path to be taken to solve an everyone's problem.

To complicate matters, it comes also the indissoluble link between the environmental and the energy sphere. The greatest contributions to the greenhouse effect, in fact, are made up of unsustainable energy uses that have taken root in everyday life of each of us over the years. It can be deduced that to save our planet it will be necessary to face the problem of today's energy unsustainability.

In this overall confusion, it can be found also variables of economic and political uncertainty that have always characterized the energy sector: the tensions and the wars between importers and exporters of hydrocarbons cause the supply prices of the main energy carriers to fluctuate dramatically, in a scenario that is intrinsically unsustainable and it will probably worsen over time.

The uncertainty and confusion that derive from this situation, combined with the difficulties of international cooperation caused by a lack of uniformity of intent, make the path to save the planet and a global energy planning nebulous.

Of all the proposals, one of the most promising to mitigate the climate impact remains that of reducing energy consumption. It is not a question of stopping living as we have been used to do until now. It is a question of sustainability, a concept that deals with a rational and supportive use of global natural resources, in order not to stop world progress without damaging the interests of any biotic population today or in the future.

Closely related to this theme is energy efficiency. In general terms, an increase in energy efficiency creates a lack of energy consumption which usually results in an environmental benefit (due to the non-release of climate-altering substances) and an economic advantage (due to the saved energy surplus). In practice, applying this concept is not so easy since making efficiency presents various types of limits. However, the margins on which it is possible to work today are wide and they still remain amplifiable with the advent of new technologies in the future.

This degree thesis will illustrate the techniques and methodologies currently available that an energy-intensive organization can exploit to undertake a long-term path aimed at continuously increasing energy efficiency. In particular, the Energy Management System will be the subject of this work. It's a set of actions, projects and rules aimed at the optimized management of the energy sector of an organization, that's involved at different levels. The Management System will be

applied in a company in the industrial sector, but it can be applied to any company that uses energy.

In detail, ZF Automotive Italia S.r.l. plant located in San Giovanni di Ostellato (FE), will be analysed. The company is part of the ZF Friedrichshafen AG group, a German multinational company operating in the industrial sector of transport components. Ostellato plant was chosen after the preparation of the Energy Audit pursuant to Legislative Decree 102/14 during the curricular training period within the E.S.Co. BPE Beam Power Energy Srl, to continue the path of energy efficiency wanted by the company.

The plant will first be analysed in detail; then a project of applicability of the Energy Management System will follow, observing international regulations and evaluating the necessary actions to be taken in the modern energy market. Once a consolidated model made of stable indicators has been obtained, solutions will be studied to increase specific energy efficiency for the reality in question and estimate the economic and environmental savings achievable.

The purpose of this work is to highlight how the organization, information and awareness combined with an initial investment of resources allows the achievement of important goals in the energy field, where confusion and negligence are still prevalent today.

Another aspect not to be underestimated is the economic one. One purpose of this work is to try to break down the prejudice that sustainability is expensive a priori. Making improvements in the energy and environmental fields must be seen as an opportunity for economic savings from which resources are released and they can also be used in other fields. The hope is that the achievement of increasingly positive results will lead to concrete actions even those with decision-making power in the world.

Our faith is disconnected from that of nature: it has been present for billions of years before us, and it has always been in continuous evolution. There is no doubt it will overcome this small annoyance that is global warming. The latter should instead worry us because we risk losing the world as we know it. Slowing down the climate changes it's nothing but a selfish choice to save ourselves and the next generations from an unknown future. Our actions determine our future and we must appeal to our survival instinct.

Will it be activated in time?

1. Introduzione

1.1. Il problema climatico

Questa tesi di laurea si propone come un'elaborazione volta alla proposta di strategie di risoluzione di un problema, tramite le conoscenze acquisite durante il percorso accademico svolto. Si partirà dall'analisi del problema, a cui seguirà la trattazione e la discussione di una sua possibile soluzione, concludendo con una valutazione, positiva o negativa, delle soluzioni proposte.

Il problema può essere riassunto come l'emergenza climatica globale, oggetto di discussione scientifica e politica ormai da qualche decennio. Il riscaldamento globale "*indica il mutamento del clima terrestre sviluppatosi a partire dalla fine del XIX secolo e l'inizio del XX secolo e tuttora in corso, caratterizzato in generale dall'aumento della temperatura media globale e da fenomeni atmosferici ad esso associati*" (fonte Wikipedia) ed è causato in gran parte dall'emissione in atmosfera da parte di gas serra di derivazione antropica. Per questo motivo è prassi associare l'espressione "inquinamento globale" al cambiamento climatico che stiamo vivendo. I due concetti non indicano la stessa cosa, in quanto il nostro pianeta è soggetto a cambiamenti climatici ciclici dalla sua origine. Il periodo di tali cicli varia da miliardi di anni a decenni e segue logiche complesse che ancora oggi risultano non del tutto comprensibili. Il motivo per cui si parla di inquinamento risiede nel fatto che, per la prima volta nella storia, è una specie vivente ad influenzare i cicli naturali di cambiamento climatico terrestre.

È importante sottolineare che l'inquinamento globale non ha nulla a che vedere con quello atmosferico, il quale è invece un fenomeno locale che consiste nella variazione della concentrazione dell'atmosfera a causa dell'inserimento di sostanze inquinanti molto spesso nocive per la biosfera. Quest'ultimo non costituisce un tema di secondaria importanza ed è di certo collegato alla sfera energetica in modo indissolubile, ma la sua trattazione richiederebbe uno studio specifico che non verrà affrontato in questo documento.

Tornando al problema iniziale, numerose sono le assemblee organizzate indette su scala internazionale con l'intento di discutere le azioni per limitare gli effetti dell'inquinamento globale sul nostro pianeta. Le COP¹ sono conferenze che si tengono annualmente da parte della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, tra le quali sono famose la COP 3, da cui deriva il Protocollo di Kyoto del 1997, e la COP 21 del 2015 in cui venivano siglati gli accordi di Parigi.

Tutti questi accordi hanno avuto il merito di essere dei "rompi ghiaccio sia per quanto riguarda la resistenza degli scettici sui cambiamenti climatici, sia per quanto riguarda l'affrontare un problema nuovo ed intrinsecamente ostico, dal momento che comprende paesi ed interessi diversi. Tuttavia, ad oggi non si hanno prove tangibili del raggiungimento di risultati concreti.

¹ Conference of parties

Senza entrare nello specifico, il meccanismo di surriscaldamento globale ha radici in fattori naturali ed artificiali, le cui dinamiche e relazioni rendono difficoltosa la redazione di stime precise o di scenari attendibili riguardanti l'evoluzione del fenomeno. Ma anche senza avere conoscenza di ciò che accadrà, si ha oggi la cognizione di quanto pesi il nostro contributo sul riscaldamento globale data la repentina accelerazione del surriscaldamento degli ultimi anni e di come esso avvenga: tramite l'emissione in atmosfera dei gas serra di origine antropica. Quest'ultimi sono sostanze gassose presenti naturalmente in atmosfera in determinate concentrazioni, le quali causano l'effetto serra, che è un fenomeno per cui parte della radiazione solare riflessa dalla superficie terrestre nel campo dell'infrarosso resta intrappolata nell'atmosfera con l'effetto in generale di un aumento della temperatura del corpo celeste. Questo fenomeno, in realtà, ha contribuito alla creazione della vita sulla terra, ma l'alterazione dell'equilibrio da parte dell'uomo sta creando problematiche al clima, con l'aggravante dell'accentuazione di tutti i fenomeni estremi. Lo scioglimento dei ghiacci, l'innalzamento del livello del mare, l'aumento di tempeste e uragani, le alluvioni e i periodi di siccità, sono solo piccoli esempi di ciò che sta accadendo e andrà probabilmente peggiorando negli anni a venire. Ed è a questo punto che, domandandosi da dove provengano i gas serra, bisogna analizzare il collegamento tra il problema ambientale e quello energetico.

1.2. Situazione energetica mondiale

Dopo questa breve descrizione del problema ambientale, si vogliono ora analizzare le cause da cui esso deriva. A tal proposito, è stata estrapolata una panoramica generale della situazione energetica mondiale che permette di vedere come l'energia viene oggi utilizzata, da quali risorse proviene e quali settori ne sono influenzati. Per farlo bisogna partire entrando nel merito dei gas serra, per scoprire quali sono e come si formano ma soprattutto quali sono le cause antropiche che contribuiscono alla loro diffusione.

I più diffusi gas climalteranti sono l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4), il vapore acqueo, il protossido di azoto (N_2O) e l'esfluoruro di zolfo (SF_6), di origine sia naturale sia antropica. A questi vanno aggiunti i Cluorofluorocarburi, che invece sono di origine solamente artificiale. Queste sostanze hanno una diversa capacità di intrappolare le radiazioni infrarosse riflesse: a partire dal gas meno efficace, l'anidride carbonica, si definisce un equivalente GWP² che è la capacità di contribuire all'effetto serra rispetto appunto a quella della CO_2 (fonte IPCC).

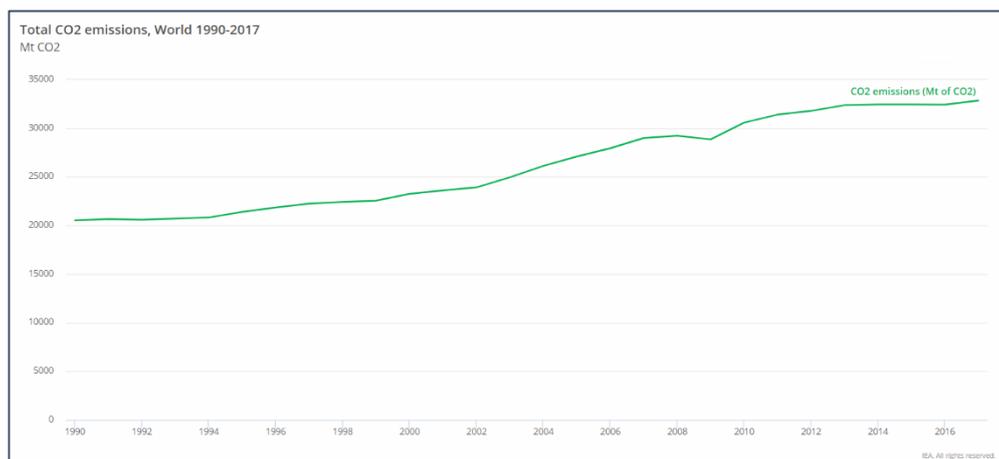
Oltre al GWP c'è un altro parametro fondamentale che determina l'efficacia del fenomeno: la concentrazione in atmosfera. Non a caso il maggior contributo al riscaldamento globale sembra derivare dall'anidride carbonica, che è la sostanza con il GWP minore, ma la più largamente diffusa in atmosfera. Da qui si capisce che peso abbia il contributo antropico; infatti, si ha generazione di CO_2 dalla combustione di quasi tutti di combustibili usati in svariate attività dette Carbon Intensive. Con questo termine si intendono tutti quei processi i quali producono

² Global Warming Potential

un'elevata emissione di CO₂ in atmosfera per svolgere la loro funzione finale. È sufficiente pensare alla produzione di energia elettrica, al trasporto, al riscaldamento di ambienti, ossia utilizzi energetici ormai radicati nella vita di tutti i giorni, a quanto siano diffusi e quanta anidride carbonica possano generare.

Nel grafico seguente sono illustrate le emissioni mondiali di CO₂ dal 1990 ad oggi, in una statistica redatta dalla IEA³ [1].

Figura 1: Emissioni mondiali di anidride carbonica (fonte IEA)



Si capisce subito come il trend mondiale sia in costante crescita. Differente invece è la situazione in Europa ed Italia, dove la curva presenta una lieve flessione. Questo motivo è da ricercarsi più che nelle azioni intraprese contro l'inquinamento globale, nel fatto che nel nostro continente si è vista una riduzione dell'attività economico commerciale a seguito della crisi finanziaria del 2008, che ha contribuito alla riduzione di consumi energetici in maniera più efficace rispetto al resto del mondo. Il risultato però può essere solamente interpretato a livello mondiale, dove questo incremento di emissioni ha portato ad un massimo di concentrazione di CO₂ che ha abbattuto il muro delle 400 ppm in atmosfera, con picchi fino a 410 ppm, una saturazione mai vista nella storia dell'uomo.

Come già anticipato, l'anidride carbonica di origine artificiale deriva per la maggior parte da processi energetici ad alta impronta di carbonio, che sono essenzialmente al 2019 ancora la maggioranza di tutti gli usi. Infatti, la produzione di fonti fossili non rinnovabili non sta accennando a diminuire, nonostante qualche battuta di arresto prima del 2016. Anche la produzione di quasi tutte le risorse non fossili ha avuto un deciso incremento in compenso, ma non comunque sufficiente per soddisfare una quota esauriente della domanda energetica globale.

Ciò è testimoniato dal fatto che dal 1971 ad oggi la il fabbisogno di energia primaria è aumentata di più di 2,5 volte. In generale, "nel 2017, la domanda di energia globale si attesta a poco meno di 14000 Mtoe⁴" secondo la IEA [1], con una

³ International Energy Agency

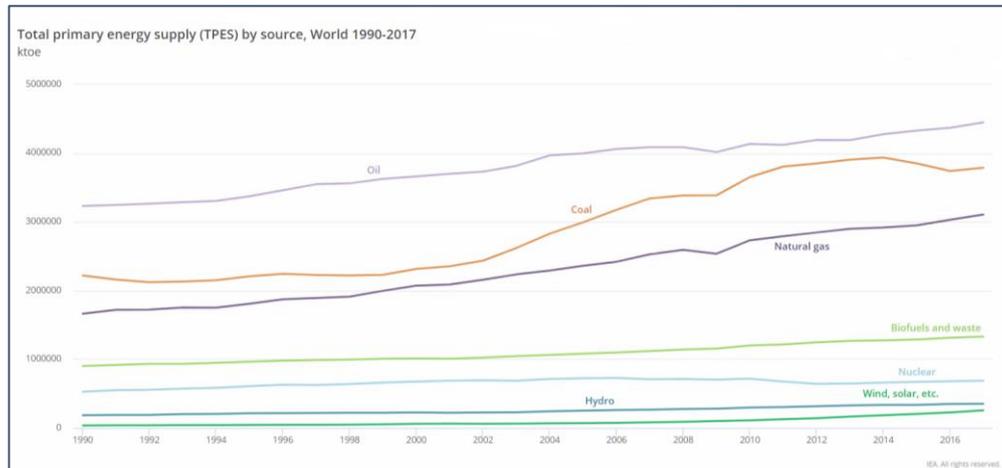
⁴ Million tonnes of oil equivalent

1. Introduzione

crescita complessiva di +1,9% rispetto all'anno precedente. La crescita è dovuta soprattutto per il contributo dei paesi non OECD⁵ in via di sviluppo.

Si delinea una visione più chiara analizzando il fabbisogno mondiale di energia dalle fonti energetiche, in un grafico sempre preso dalla IEA riportato in Figura 2.

Figura 2: Fabbisogno energetico mondiale suddiviso per fonti energetiche (fonte IEA)



Si nota dal grafico come il fabbisogno da fonti fossili (carbone, gas naturale e petrolio) sia in crescita seppur con qualche battuta d'arresto, fino all'aggiornamento del 2017. In generale sono in crescita anche molte fonti rinnovabili come i Biocarburanti e il sole e il vento, ma con ridotti pesi percentuali.

Il motivo è che le moderne tecnologie rinnovabili non riescono a reggere il ritmo dell'aumento di fabbisogno energetico per la trasformazione dell'energia primaria alla destinazione d'uso specifica. Con questo non si vuole proporre di fermare lo sviluppo economico delle nazioni che lo stanno attraversando, ma semplicemente renderlo sostenibile. Secondo la teoria della sostenibilità, infatti, lo sviluppo umano sulla terra richiede un certo sfruttamento di risorse naturali, ma essendo la Terra un sistema termodinamico chiuso, esiste intrinsecamente un limite all'utilizzo delle fonti endogene. Per questo motivo bisogna oculare l'utilizzo intensivo delle risorse energetiche terrestri, secondo i concetti di equità (tra le varie nazioni attualmente presenti) e imparzialità (hanno diritto alle risorse anche le generazioni future, e tutta la biosfera). Ne deriva che lo sviluppo attuale, basato su fonti non rinnovabili, non può durare per sempre, con l'aggravante dell'emergenza climatica incombente. Ma allo stato di fatto attuale, le sole fonti rinnovabili non possono prendersi carico dell'intero fabbisogno energetico mondiale dal punto di vista tecnologico. Per questo motivo per uno sviluppo sostenibile c'è bisogno anche di uno sforzo nella riduzione dei consumi

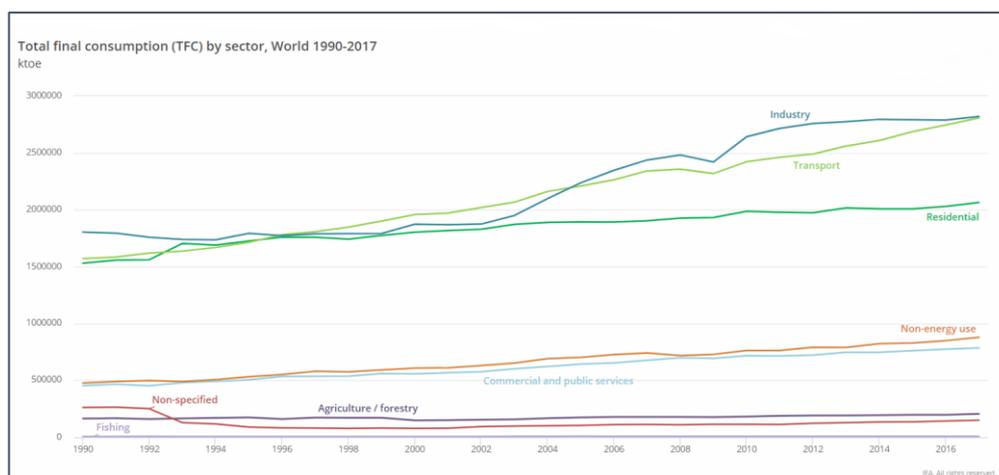
⁵ "OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) è un'organizzazione di 36 stati membro fondata nel 1961 per stimolare il progresso economico e il commercio mondiale." Fonte Wikipedia. Tra i membri si trovano gli stati europei, nordamericani, Australia e Giappone e altri.

energetici a parità di effetto finale e nella gestione oculata delle risorse energetiche.

In tutto questo filone non si stanno considerando tutti i restanti problemi correlati alle fonti fossili che storicamente hanno portato a tensioni e instabilità politiche: oltre la metà della produzione mondiale è concentrata in meno di cinque paesi mentre la richiesta è distribuita su un ventaglio più ampio. Tutto ciò confluisce in logiche di dipendenza e lotte per le risorse tra nazioni che in taluni casi sono sfociate anche guerre, facendo alzare il costo della materia prima e creando un clima globale di instabilità ed incertezza.

Si passa ora ad un'analisi dei consumi energetici prima a livello settoriale e poi a livello continentale. Dal 1971, secondo la IEA [1], nonostante i consumi globali siano aumentati di 2,3 volte fino ad arrivare a 9717 Mtoe, le percentuali dei settori di consumo finale sono praticamente rimaste immutate, con quasi la totalità occupata dal settore industriale, dei trasporti e residenziale. L'industria rimane il settore più energivoro, anche se ormai i trasporti l'hanno raggiunta grazie ad una crescita più marcata. Si riportano le informazioni anche in maniera grafica per una maggiore chiarezza, nella figura successiva.

Figura 3: Consumi energetici finali per settore (fonte IEA)

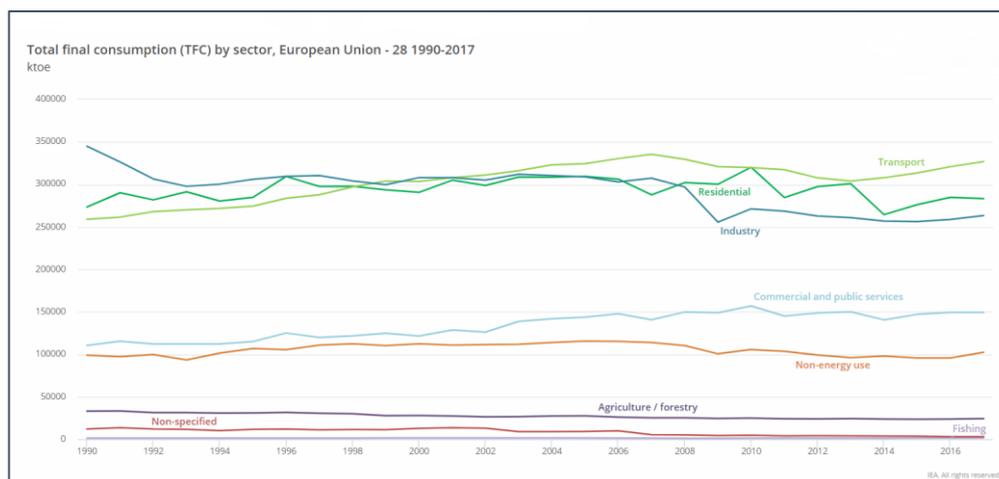


A differenza del trend globale in continua crescita, per i paesi OECD si nota un plateau di circa 3600 Mtoe a partire dalla crisi del 2008 con la crisi economica globale. Il motivo di questa frenata è dovuto a motivi di cessato sviluppo economico dopo la crisi finanziaria da parte degli stati membro dell'organizzazione.

Per entrare nel dettaglio si può analizzare la situazione Europea nel seguente grafico.

1. Introduzione

Figura 4: Consumi energetici finali per settore Europa (fonte IEA)



Chiara è la differenza del grafico in Figura 4 rispetto a quello di Figura 3, dove si nota un andamento molto più stazionario e statico. L'altro aspetto fondamentale è il sostanziale equilibrio tra i tre settori più energivori, in cui però la realtà industriale è leggermente inferiore rispetto al settore dei trasporti e residenziale. L'unico settore in leggera crescita è quello commerciale e dei servizi pubblici.

Per quanto riguarda la situazione italiana, invece, si ha un andamento del tutto simile a quello europeo, con solamente un'accentuazione dei fenomeni di flessione dei tre settori principali negli ultimi anni.

Queste flessioni sono imputabili soprattutto alla regressione finanziaria del 2008, ma lo stesso effetto di riduzione lo si può ottenere tramite l'aumento dell'efficienza energetica nei vari settori a consumo finale. Ed in questo l'Europa si è dimostrata più sensibile rispetto a molti altri paesi nel mondo, avendo già adottato diverse azioni in merito come ad esempio il Piano 20-20-20, che prevede un aumento dell'efficienza nei consumi energetici del 20% entro il 2020. Per il conseguimento di tale obiettivo, è stata emanata la Direttiva Europea 2012/27/UE sull'efficienza energetica, la quale sancisce il ruolo cardine dell'efficienza energetica come strumento strategico nell'attuale panorama europeo, a cui poi si sono susseguiti i vari Decreti nazionali degli stati membro.

Come già detto in precedenza, per un ideale sviluppo sostenibile, non possiamo prescindere da una gestione attenta dell'energia e da un utilizzo efficiente di quest'ultima. In questo scenario si delinea finalmente l'argomento di cui tratterà la tesi, ossia l'applicazione di un Sistema di Gestione dell'energia ad una un'azienda del settore industriale, che come sottolineato in precedenza risulta uno dei settori ancora a maggiore consumo di energia.

Dato il problema generale nel prossimo paragrafo verrà esposta una panoramica della particolare soluzione trattata in questa tesi, inquadrando i Sistemi di Gestione dell'Energia a livello storico ed attuale.

1.3. Efficienza energetica e sistemi di gestione dell'energia

Dare una definizione di Efficienza Energetica, in realtà, è più arduo di quanto ci si possa aspettare. Una plausibile potrebbe essere: *“l'efficienza energetica è il rapporto tra l'effetto utile di un dato processo e l'energia in ingresso al processo stesso. [...] Lo scopo dell'intervento tecnologico mirante a un aumento dell'efficienza energetica è quello di imporre alla trasformazione dei vincoli fisici tali da rendere minima la degradazione energetica contenendo perdite e irreversibilità.”* (Treccani, s.d.)

Nella realtà dei fatti, si vedrà, che il concetto di efficienza energetica ingloba aspetti diversi caso per caso, ma soprattutto dipende dal tipo di processo. Per i processi la cui fisica fornisce indicazioni significative sull'utilizzo energetico, si riesce a trovare una definizione generale, mentre per gli altri diventa alquanto complesso. Si provvederà a spiegare meglio il concetto utilizzando il caso reale che verrà analizzato nei prossimi capitoli.

Nonostante ciò, la definizione menzionata fornisce quello che è idealmente il pregio fondamentale imputabile all'incremento dell'efficienza energetica di un sistema fisico, cioè quello di ottenere lo stesso risultato utile con una spesa energetica minore, minimizzando gli sprechi in un uso razionale degli utilizzatori energetici finali. I vantaggi conseguibili da questi miglioramenti sono in prima istanza quello ambientale ed economico, ma possono poi derivare altri vantaggi secondari come quelli di immagine e sociali.

Si può introdurre ora un altro concetto legato all'efficienza energetica, quello dei Sistemi di Gestione dell'energia. Per la F.I.R.E.⁶, *“un Sistema di Gestione è il complesso di azioni gestionali programmate e coordinate, procedure operative, sistemi di documentazione e di registrazioni realizzati grazie a una struttura organizzativa nella quale ruoli, responsabilità e risorse sono chiari e ben definiti”* (FIRE, s.d.). Nella pratica, un Sistema di Gestione Energetico (SGE), è un SG applicato al settore energetico di una certa organizzazione, che ha la finalità, una volta definita la Politica Energetica interna, di fissare degli obiettivi e di cercare di raggiungerli in un ciclo di miglioramento continuo.

Il SGE non è uno strumento di miglioramento dell'efficienza, ma è lo strumento che conferisce senso all'efficienza energetica, in quanto la inquadra in una struttura organizzata e programmabile. Per concetto di miglioramento si prevede lo studio di misure di risparmio energetico, il quale tramite una conoscenza aggiornata e precisa degli usi e consumi delle risorse energetiche permette una programmazione dettagliata da diversi punti di vista, come quello tecnico ed economico.

Senza un SGE, gli interventi di efficienza energetica rimangono isolati e fini a sé stessi, nel senso che non costituiranno mai insieme un piano a lungo termine di miglioramento aziendale. Basti semplicemente pensare al fatto che se non si

⁶ La F.I.R.E è la Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia. *“E' un'associazione tecnico-scientifica senza finalità di lucro fondata nel 1987 e riconosciuta giuridicamente, il cui scopo è promuovere l'uso efficiente dell'energia.”* Fonte www.fire-italia.org

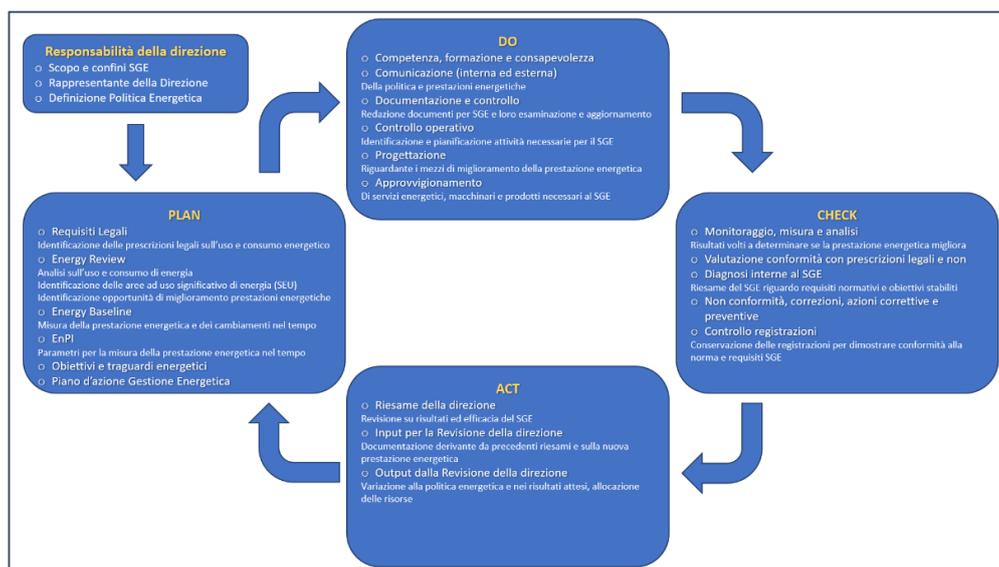
conoscono i risparmi energetici ed economici conseguiti per un intervento di miglioramento dell'efficienza, non si possono in seguito programmare ulteriori interventi tramite le risorse liberate dall'efficientamento precedente. Ed è proprio questa che risulta essere la filosofia della Gestione dell'Energia.

Data la complessità nell'implementazione di un SGE la ISO, l'organizzazione internazionale per la normazione, ha redatto una normativa specifica del caso, la 50001, assorbita dalla corrispettiva italiana UNI EN CEI ISO 50001 "Sistemi di gestione dell'energia – requisiti e linee guida per l'uso". Essa fa parte della famiglia di norme riguardanti i Sistemi di Gestione, tra cui popolari sono la 9001 (Sistemi di Gestione della Qualità) e la 14001 (Sistemi di Gestione Ambientale), con cui è perfettamente integrabile dal momento che condividono numerosi punti in comune.

La normativa è stata pubblicata nel 2011 e aggiornata nel 2018 in un nuovo documento, che mantiene la struttura principale della versione precedente e aggiunge alcuni elementi addizionali. Si riportano ora i concetti base estrapolati dalla normativa, a partire dalla prima versione, per poi analizzare i punti nuovi introdotti dall'aggiornamento.

La ISO 50001:2011 si articola in 4 capitoli, di cui gli aspetti più salienti possono essere riassunti nello schema seguente.

Figura 5: Punti salienti della ISO 50001:2011 (fonte [2])



Si nota subito dalla Figura 5, che il percorso delineato dalla norma è quello del ciclo PDCA⁷. Esso implica un miglioramento continuo nella gestione dei risparmi energetici ottenibili grazie alla nuova Politica Energetica prevista.

Bisogna specificare, prima di entrare un po' più nel dettaglio, che la ISO 50001 non si sofferma sulle modalità pratiche ed operative che è necessario adottare per effettuare le azioni richieste e obbligatorie, ma piuttosto è stata ideata con l'idea di formare un contesto specifico al tema, tramite percorsi metodici e votati

⁷ Plan-Do-Check-Act

all'organizzazione ottimale. Infatti, nel capitolo 4.1 - Requisiti Generali della norma si specifica che *“all'organizzazione viene data flessibilità su come implementare il SGE, [...] il concetto di scopo e confini, permette flessibilità dell'organizzazione a definire ciò che sia incluso all'interno del SGE”* [2].

Prima di entrare nel vivo del ciclo PDCA, la normativa richiede una prima fase organizzativa con la definizione di ruoli, responsabilità e risorse che permetteranno lo svolgimento di tale ciclo. In questa direzione, si devono definire lo scopo e i confini del SGE nascente, dev'essere eletto un responsabile *“con appropriate capacità e competenze”* [2] rappresentante dell'Alta Direzione che avrà l'onere di essere a capo di un eventuale gruppo di Gestione dell'Energia dedicato al progetto. Infine, dev'essere definita da parte della direzione, tramite una breve dichiarazione, una Politica Energetica che *“è il motore per l'implementazione e il miglioramento di un SGE”* [2].

Si entra nel ciclo con la prima fase, quella di Pianificazione (Plan), la quale ha come scopo quello di poter definire, tramite l'analisi sull'uso e consumo energetico dell'organizzazione presente e passato, gli usi significativi di energia e la prestazione energetica e in seguito eventuali opportunità di miglioramento energetico. Una volta stabilita quella che viene chiamata l'Energy Review, si passa alla progettazione di come misurare i cambiamenti della prestazione nel tempo. Gli strumenti da utilizzare costituiscono l'Energy Baseline (che definisce il consumo di riferimento su cui valutare gli scostamenti) e gli EnPI⁸ (indicatori per la misurazione della prestazione energetica), che permettono di poter definire obiettivi e piano d'azione, elementi essenziali della fase di Planning.

La fase successiva, quella del DO, prevede la messa in atto delle azioni pianificate nello step precedente e il conseguimento degli obiettivi prefissati. Proprio in questo step si svolgono attività di formazione, comunicazione, progettazione e controllo operativo per l'estensione della Politica Energetica all'interno di tutta l'organizzazione in modo da poter avviare una comunicazione interna e usufruire di nuovi suggerimenti per il miglioramento. L'ultimo capitolo riguarda l'approvvigionamento di servizi, macchinari e prodotti necessari al SGE. Per tutte queste azioni è richiesta una documentazione aggiornata.

Si passa dunque al Controllo delle azioni svolte fino a questo punto, partendo dalla valutazione di eventuali cambiamenti della prestazione energetica in seguito ad azioni di monitoraggio, misurazione e analisi, tramite *“dati accurati e ripetibili”* [2]. Bisogna poi valutare se le prestazioni sono conformi ai requisiti legislativi ed altri requisiti, pianificando degli Audit interni per la valutazione della conformità. In questa fase, diventa necessario registrare tutte le non conformità, le azioni correttive e preventive che derivano dall'analisi.

L'ACT chiude il ciclo con il Riesame della direzione finale, che necessita di determinati dati in ingresso per la valutazione e la redazione dei dati in uscita, che permettano la valutazione dei risultati conseguiti, l'eventuale modifica della struttura messa in piedi e l'allocazione di nuove risorse per il raggiungimento di nuovi obiettivi, secondo lo schema di miglioramento continuo.

Si conclude così un ciclo che andrà ripercorso di nuovo, fino a quando si vuole tenere la certificazione. In questo modo è possibile accedere ai vantaggi

⁸ Energy Performance Indicators

dell'implementazione di un SGE, cioè sviluppando una Politica Energetica votata all'incremento continuo dei risparmi energetici.

L'aggiornamento normativo del 2018, presenta di nuovo tutti questi punti rimescolati tra di loro, aggiungendo però qualche elemento nuovo per un ulteriore allineamento alle norme ISO 9001 e ISO 14001. In primo luogo, un nuovo paragrafo richiede un'analisi del contesto aziendale, per l'approfondimento della struttura aziendale e per l'individuazione di eventuali Stakeholder societari. L'altro grosso elemento di novità è la richiesta di un'analisi di rischio prettamente energetica, per una valutazione di tutte le variabili di rischio riguardanti il tipo di contratto con i fornitori, le modalità di approvvigionamento, eventuali guasti su linee produttive e altre variabili specifiche per ogni realtà in esame.

Dopo aver delineato i punti più salienti della ISO 50001, nel prossimo capitolo si vuole fornire una panoramica dello stato dell'arte dell'implementazione della normativa nel mondo.

1.4. Statistiche, storia e diffusione della ISO 50001

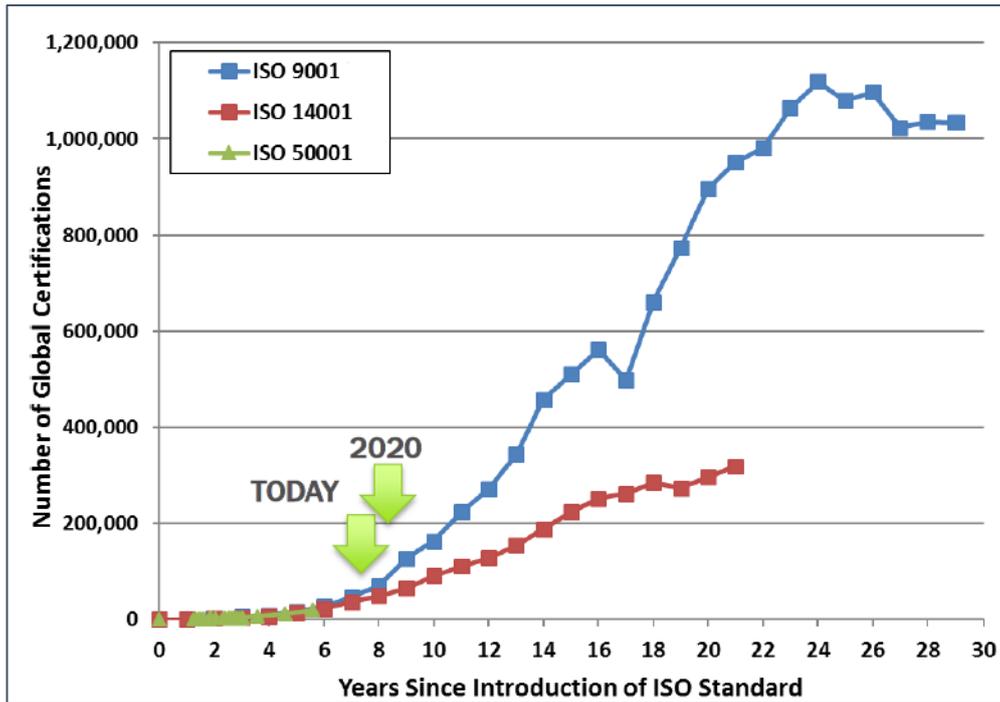
La normativa UNI CEI EN ISO 50001, come già enunciato in precedenza, è stata pubblicata nel 2011 e poi aggiornata nel 2018. Essa, introdotta in sostituzione alla precedente europea UNI CEI EN 16001:2009, ha subito visto un incremento nel numero di certificazioni.

L'aggiornamento al 2017 di tali dati indica che il numero di certificazioni valide per la ISO 50001:2011 è di 18059, per un totale di 46770 siti in tutto il mondo (fonte ISO). Confrontando questi numeri con quelli delle normative sorelle più vecchie e affermate, si nota come la norma sui SGE sia ancora in rampa di lancio. La ISO 9001:1993, sui Sistemi di Gestione della Qualità, vanta 878664 certificati nel mondo per più di un milione di siti, mentre la ISO 14001:1999, sui Sistemi di Gestione Ambientale, 307059 per un totale di 447547 siti (fonte ISO). I numeri ancora ristretti della norma in esame non sono preoccupanti, dato che sono in linea con i dati degli andamenti iniziali delle altre due normative.

Come evidenzia uno studio del *Department of Energy* americano, infatti, si è notato un trend simile nella crescita delle certificazioni mondiali che solitamente osserva un'inflexione a 10 anni dall'uscita della normativa. Il grafico riportato in seguito mette a confronto le tre normative a partire dall'anno zero di pubblicazione ufficiale, con una stima dell'aumento delle previsioni per i prossimi anni.

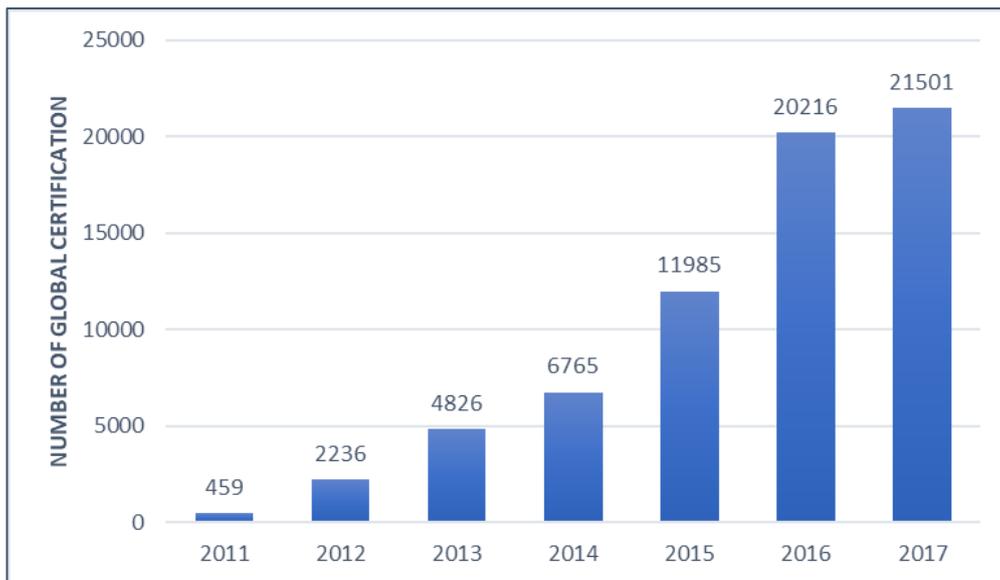
1. Introduzione

Figura 6: Confronto del trend mondiale delle diverse normative ISO (fonte Department of Energy)



Il trend positivo dei primi anni di implementazione è osservabile anche dai dati provenienti direttamente dal sito dell'ISO. Dal 2011 si sono notificati incrementi annuali che vanno da un minimo del 6% ad un massimo del 387% rispetto all'anno precedente. Nella figura seguente si riportano i numeri di certificati delle implementazioni anno per anno.

Figura 7: Numero di certificazioni globali per anno (fonte ISO)

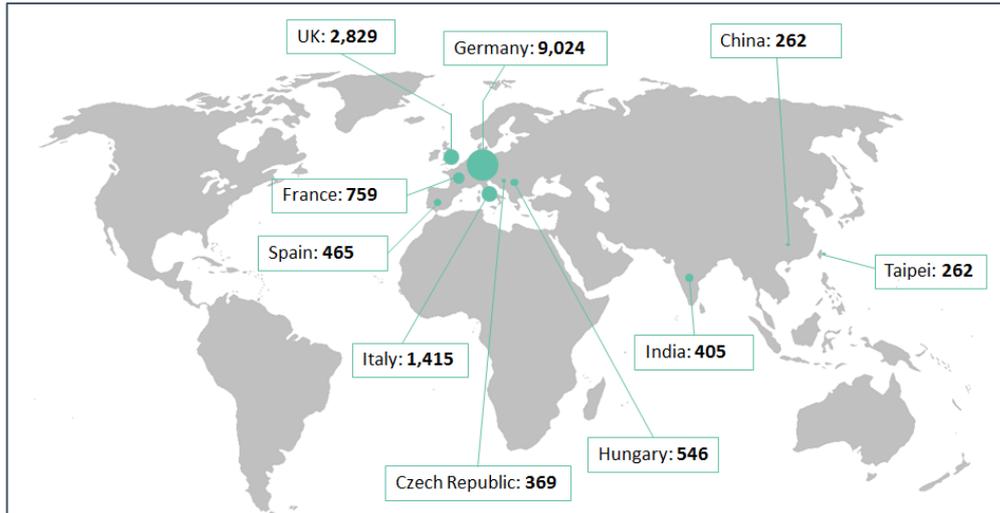


1. Introduzione

Sostanzialmente, il continente che ha contribuito di più alla crescita della normativa è l'Europa, con una media di share annuale di nuove certificazioni superiore all'80% di tutte le implementazioni globali, seguito dall'Asia orientale e pacifica che attesta un 10% medio.

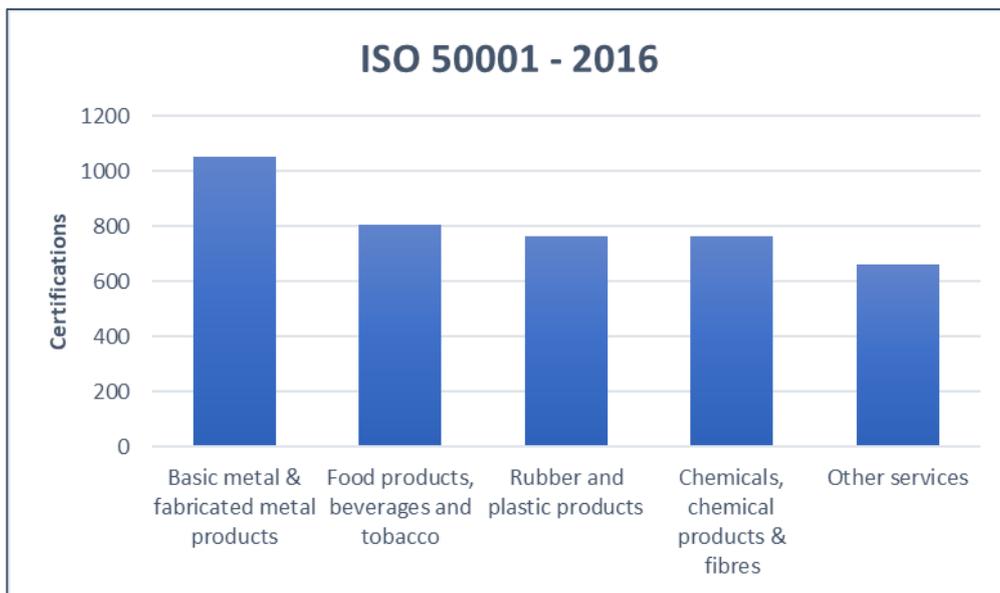
Al 2016, secondo la suddivisione dei primi 10 paesi per numero di certificazioni a livello mondiale, la panoramica è quella riportata nella Figura 8 in seguito.

Figura 8: Primi 10 paesi per numero di certificazioni al 2016 (fonte carbon credentials)



La nazione con più certificazioni al mondo è con ampio margine la Germania, grazie alle forti agevolazioni conseguibili tramite l'implementazione della norma, seguita dal Regno Unito e dall'Italia, a chiudere il podio. Si riportano ora i dati statistici riguardanti i settori applicativi in cui è avvenuta l'implementazione della ISO 50001. I primi 5 settori sono riportati nel grafico che segue.

Figura 9: Principali settori di implementazione della ISO 50001 (fonte ISO)



Come evidenziato dal grafico, il settore con più certificazioni a livello mondiale è quello metallurgico, seguito da quello alimentare e poi gomme e plastiche. Dai risultati della breve analisi statistica appena effettuata, si capisce come la progettazione di un Sistema di Gestione dell'Energia, per un'azienda operante nel settore della lavorazione di metalli per uso Automotive, sia pienamente in regola con la tendenza mondiale appena osservata.

Durante l'elaborazione non seguiranno le procedure indicate dalla 50001, anche perché molti dei punti da svolgere sono di natura amministrativa e legale, e possono essere svolti solamente dall'azienda. In questa tesi si studieranno invece gli aspetti restanti, approfondendo i lati più tecnici di un SGE e sfruttando la libertà concessa nei metodi e approcci per l'analisi energetica.

L'obiettivo è quindi quello di progettare la struttura di un Sistema di Gestione che poi sia realizzabile nella pratica e di fornire gli strumenti all'azienda per potersi migliorare continuamente sotto l'aspetto energetico. Per arrivare ad un tale risultato, si toccheranno inevitabilmente diversi punti della ISO 50001 che saranno evidenziati.

Infine, si potrà effettuare una valutazione di quanto manca all'azienda sotto esame, che presenta già diverse certificazioni compresa la ISO 14001, per l'ottenimento di tale certificazione.

Conclusa l'introduzione al problema, si entra nel merito della soluzione, con un inquadramento dell'azienda caso di studio, analizzandone gli aspetti principali per l'implementazione di un Sistema di Gestione dell'Energia.

2. Analisi Aziendale

2.1. Premessa

Come già anticipato nel Sommario, gli studi effettuati per la stesura della tesi sono stati effettuati presso la società E.S.Co. BPE Beam Power Energy che aveva come cliente da diversi anni quello che sarà l'oggetto di studio: lo stabilimento ZF Automotive Italia S.r.l., facente parte del gruppo ZF.

I dati necessari per lo studio sono stati ricavati tramite comunicazione con il personale aziendale, e tramite un sopralluogo tecnico effettuato in data 17/09/19, mentre i restanti dati sono stati derivati dai progetti effettuati in precedenza dalla BPE per conto di ZF. Tra questi documenti, si trovano i dati del progetto di monitoraggio installato nel Luglio 2018 e la redazione della Diagnosi Energetica dello stabilimento ai sensi del Decreto Legislativo 102/14, per cui ZF ha l'obbligo di consegna entro la data 5 dicembre 2019.

Con queste informazioni si vuole intendere come sia possibile progettare la struttura di un SGE tramite un'attività di consulenza a distanza. In seguito, sarà l'azienda stessa a dover mettere in atto le azioni prescritte per poter accedere eventualmente alla certificazione.

2.2. ZF Group

La ZF Friedrichshafen AG è una società tedesca fondata nel 1915, tra i leader mondiali nella fornitura di componentistica e sistemi di natura principalmente Automotive. Il gruppo vantava al 2018 la presenza in 40 Paesi in tutto il mondo, per un totale di 230 sedi e 20 sedi di sviluppo principale. Sempre alla fine del 2018, la multinazionale contava una forza lavoro di 148969 dipendenti, per la maggior parte Europei (47%), ma con consistenti contributi dal Nord America e dal bacino Asia-Pacifico (fonte ZF).

Continuando a fornire un po' di numeri, ZF ha presentato nel 2018 un fatturato di 36,9 miliardi di euro, con le vendite ripartite per l'80% nel settore auto e veicoli commerciali leggeri, il 12% in quello dei veicoli commerciali con peso maggiore di 6 tonnellate e la quota restante è divisa in macchinari agricoli e di costruzione, imbarcazioni marine, aeromobili, veicoli ferroviari e speciali e turbine eoliche [3].

Il gruppo è suddiviso in molteplici divisioni dislocate nel mondo, che costituiscono il core business aziendale. La divisione di principale interesse è la "Car Powertrain Technology" che si occupa della fabbricazione di organi di trasmissione automatica e manuale. Ma se ne trovano numerose altre come la divisione "Car Chassis Technology" in cui vengono fabbricati componenti per il telaio automobilistico, senza scordare le restanti sulle applicazioni su veicoli

commerciali, su tecnologia industriale generale, su sicurezza automobilistica ed elettronica, senza contare tutti i siti dedicati all'aftermarket.

Lo stabilimento sotto esame in realtà non è sempre stato parte della ZF. Fino al 2014 faceva parte di un'altra azienda multinazionale, l'americana TRW Automotive, ma tra quell'anno e il 2015, la vecchia società è stata interamente acquistata dalla ZF e rinominata ZF TRW Automotive Holding Corp. Lo stabilimento di Ostellato, a parte questo passaggio societario, non ha vissuto cambiamenti drastici: si occupa della produzione di pompe per applicazioni automobilistiche dal 1998.

Tale produzione necessita di una considerevole domanda di energia per il suo svolgimento. ZF, infatti, è un grande consumatore di vettori energetici quali energia elettrica e gas naturale per i suoi siti sparsi nel mondo. Nonostante questo, da quando il problema ambientale si è fatto sentire maggiormente, l'azienda ha sempre dimostrato una forte dedizione verso uno sviluppo interno sostenibile, cercando di ridurre l'impatto creato dalle sue attività non solo in termini di energia, ma anche di fornitura di materie prime e acqua, di emissioni, di scarti e rifiuti.

Secondo il Report di Sostenibilità pubblicato dall'azienda nel 2018 [3], la somma di tutti i consumi energetici dei siti nel mondo ammonta a 4121 GWh per tale annualità, divisi per il 65% in energia elettrica, 29% in gas naturale e 6% altro. È proprio per la riduzione di questi numeri che la casa madre ha fissato obiettivi per l'abbassamento dei consumi e l'aumento dell'efficienza energetica, tramite degli indicatori che ogni sito ha il compito di aggiornare e analizzare. Inoltre, ZF sta promuovendo le certificazioni interne ISO 50001: infatti si è passati da un totale di 47 siti certificati nel 2017 a 61 nel 2018, sempre secondo il rapporto di sostenibilità.

In questo trend generale si inserisce perfettamente lo stabilimento di Ostellato, che come si vedrà in seguito, si è dimostrato sensibile all'argomento energetico, seguendo le direttive Europee e della casa madre.

Si analizzeranno nel prossimo paragrafo le caratteristiche principali dello stabilimento, perché per l'applicazione di un SGE è necessario innanzitutto avere una visione chiara del contesto aziendale e un inquadramento globale del sito, come richiesto anche dalla normativa ISO 50001.

2.3. ZF Automotive Italia S.r.l. – Stabilimento di Ostellato

ZF Automotive Italia è presente sul suolo italiano in quattro diversi stabilimenti, assorbiti dal gruppo ZF nel 2015. Si prenderà in esame il sito di San Giovanni di Ostellato, in provincia di Ferrara, uno stabilimento fondato nel 1997 e che ha vissuto tanti cambiamenti, oltre il cambio di società, per l'adattamento ad un mercato dinamico come quello dei trasporti.

Una breve descrizione di quella che è la storia ventennale dell'azienda, la fornisce un articolo pubblicato dalla Confindustria Emilia: *“lo stabilimento ZF di Ostellato,*

[...] dal 1997, ha sviluppato, ingegnerizzato e prodotto sistemi per il servo sterzo elettroidraulico fino al momento in cui si è modificata la domanda di mercato a vantaggio del sistema sterzante elettrico. Avendo al proprio interno lo sviluppo del prodotto e quindi le competenze e soprattutto la visione per poter anticipare le evoluzioni del mercato, il management di Ostellato ha saputo cogliere diverse tendenze del mercato riposizionandosi in un ambito tecnologico ricco di opportunità, ovvero il mondo dei cambi robotizzati. Questa intuizione ha permesso non solo di compensare i cali di volumi dovuti al progressivo abbandono dei sistemi sterzanti elettroidraulici, ma di aumentare considerevolmente i propri volumi produttivi e il livello occupazionale. Lo stabilimento di Ostellato occupa 380 persone tra le quali operatori specializzati, tecnici e un reparto di ingegneria di assoluta avanguardia” (fonte Confindustria Emilia). La principale attività del sito è infatti la progettazione, fabbricazione e vendita di pompe oleodinamiche ad ingranaggi esterni per applicazioni automobilistiche. Dal 1998 lo stabilimento ne ha prodotte oltre 45 milioni, dimostrazione di come il mercato abbia di fatto imposto il cambiamento produttivo: dalle pompe per i vecchi servosterzi elettroidraulici si è passati ad una produzione di pompe per applicazioni di trasmissione meccanica generale e cambi automobilistici.

Per concludere, si sottolinea anche che ZF Automotive Italia di Ostellato ha vinto il premio speciale come “stabilimento più performate del 2018” tra tutti gli stabilimenti del gruppo ZF, alla fine di una valutazione dei risultati analizzati da parte di una giuria interna.

Inquadramento aziendale

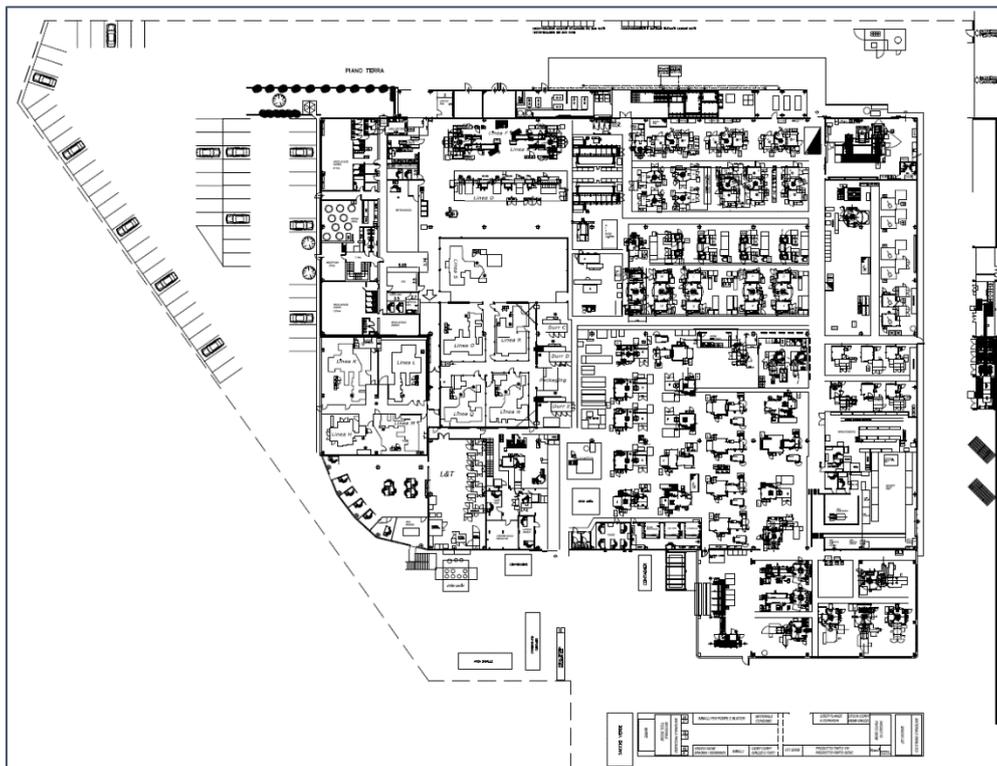
ZF Automotive Italia contava al suo interno 374 dipendenti nel 2018; nello stesso anno ha fatturato 65.072.000,00 euro. Questi numeri la collocano di diritto nella classificazione di Grande Impresa ai sensi del Decreto Ministeriale del 18 aprile 2005.

Figura 10: Vista dello stabilimento di ZF Automotive Italia Ostellato



Lo stabilimento è composto da un unico corpo fabbrica sviluppato su un solo piano fuori terra, che si estende per una superficie di 10050 m² ed un volume totale di quasi 70mila m³. Nello stabile sono presenti oltre al reparto produttivo, uffici, laboratori di ricerca e locali ad uso generico come mensa, cucina, spogliatoi, bagni a servizio dei dipendenti.

Figura 11: Pianta dello stabilimento



Per entrare all'interno della vita aziendale, si vuole delineare quello che è il profilo occupazionale dell'azienda. Lo stabilimento è operativo 6 giorni alla settimana, con la chiusura nella giornata di domenica. L'attività produttiva è suddivisa quotidianamente in 4 turni da 6 ore ciascuno, mentre quella di ufficio si articola in 8 ore lavorative. Il sito rispetta le chiusure in concomitanza delle festività, con l'aggiunta di chiusure aziendali durante il mese di agosto e di dicembre in concomitanza delle festività natalizie. Il risultato è di una media di circa 7000 ore lavorative all'anno.

Infine, si fornisce l'elenco delle certificazioni conseguite negli anni da parte dell'azienda, che sono la IATF 16949⁹, la ISO 14001 e l'OHSAS 18001¹⁰, a testimonianza dell'attitudine dello stabilimento di Ostellato nell'impegno verso l'ottenimento di tali riconoscimenti.

⁹ La IATF 16949 è sviluppata da ISO e IATF (International Automotive Task Force) "per uniformare e migliorare la qualità di tutti i prodotti e servizi dell'indotto automobilistico a livello globale". Fonte: www.icim.it

¹⁰ OSHAS è l'acronimo di "Occupational Health and Safety Assessment Series", con la 18001 si "attesta l'applicazione volontaria, all'interno di un'organizzazione, di un sistema che permette di garantire un adeguato controllo riguardo la sicurezza e la salute dei lavoratori" (Wikipedia)

Processo produttivo

Ostellato è uno stabilimento che 20 anni fa ha cominciato la sua attività come fornitore di pompe per il servosterzo idraulico, ma dal 2006 ha convertito la produzione in pompe a ingranaggi per il mercato della trasmissione meccanica nel settore Automotive. Attualmente è in piedi ancora una linea produttiva per il servosterzo di veicoli commerciali pesanti, mentre il resto dei processi produttivi sono occupati da attività che hanno come destinazione d'uso finale pompe per gli attuatori idraulici di nuovi cambi automatizzati che dalla metà degli anni 90' stanno prendendo piede nel mercato dei trasporti. Si tratta di una produzione unica nel suo genere, visto che non sono presenti stabilimenti simili nel gruppo ZF, ma anche all'esterno.

Nel dettaglio il prodotto è costituito da pompe oleodinamiche ad ingranaggi esterni, cioè dispositivi in cui si pompa un fluido, in questo caso olio idraulico, per effetto dell'ingranamento di due ruote dentate che causano una variazione di volume e dunque una variazione di pressione (fonte Wikipedia). La complessità del prodotto richiede una verticalizzazione spinta dei processi produttivi: i componenti principali sono prodotti internamente, così come gli assemblaggi, il rodaggio e la validazione finale del prodotto, che è fornito al cliente secondo le sue specifiche richieste e necessità.

Le pompe sono contraddistinte da elevati rendimenti: grazie al rendimento volumetrico che arriva al 98% ed a quello meccanico al 92%, si arriva ad ottenere un'efficienza globale pari al 90% in condizioni ottimali di funzionamento (fonte ZF). Anche i range di funzionamento sono ampliati, con prestazioni notevoli anche a -40 °C.

Si riportano due esempi di pompe nella Figura 12, in cui si mostrano due dispositivi con la stessa applicazione, cioè due motori con cambio a doppia frizione a secco, ma destinati a due clienti diversi e con diverse funzioni: quella a destra è una pompa a singolo stadio con la funzione di accumulatore idraulico per l'attuazione di frizione e cambio, mentre l'altra, a doppio stadio, presenta anche la funzione di raffreddamento.

Figura 12: Esempi di pompe prodotte nello stabilimento di Ostellato (fonte: ZF)

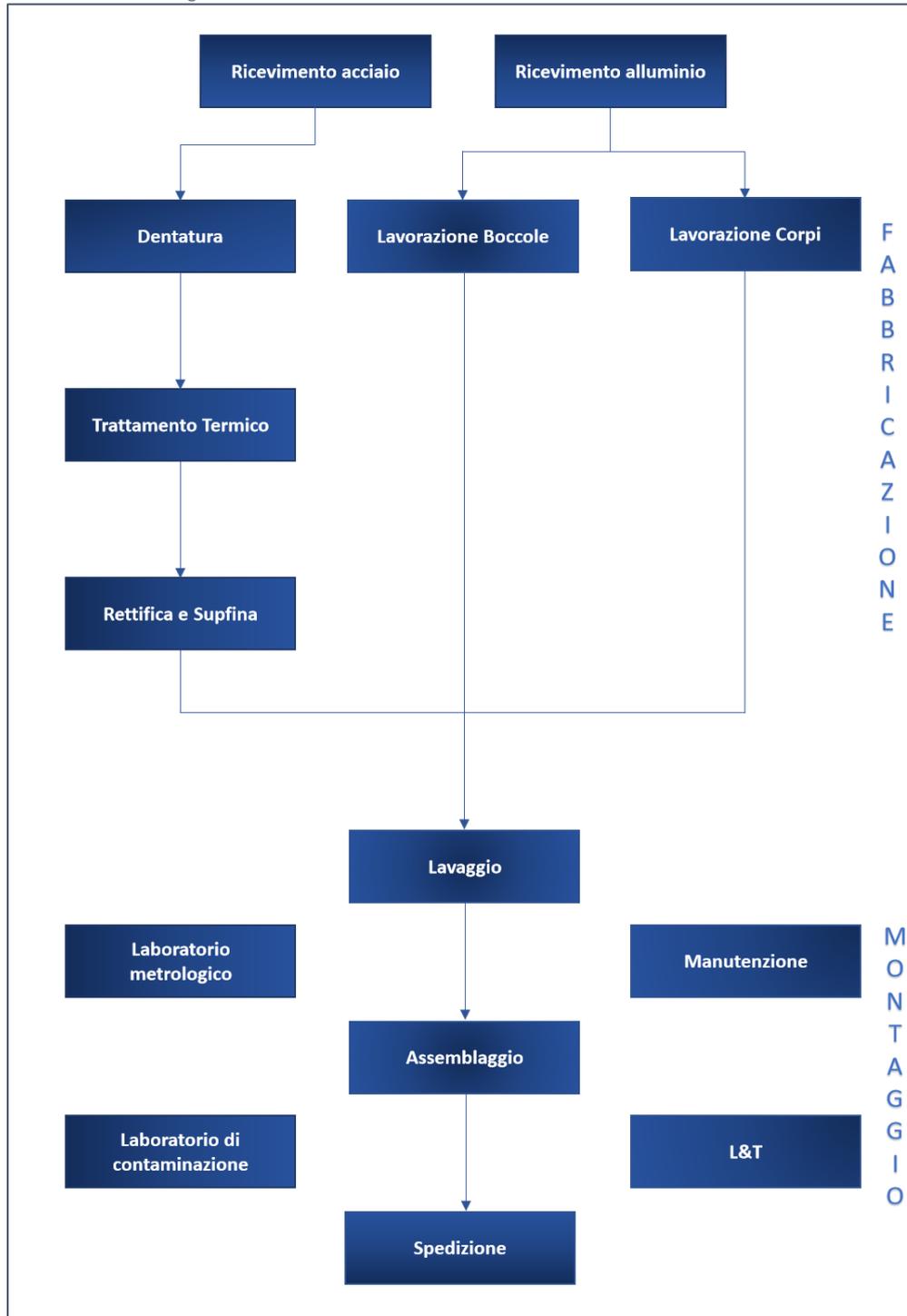


Il cuore della pompa è composto da due ingranaggi di acciaio speciale. Il processo produttivo di questi componenti prevede la dentatura, il trattamento termico e tre fasi di rettifica e supfinitura.

Gli ingranaggi della pompa sono a loro volta racchiusi in due boccole, che costituiscono il pacchetto degli ingranaggi, che a sua volta è contenuto nel corpo pompa, il quale viene completato con flangia e coperchio. Boccole, corpo, flangia e coperchio sono costituiti da alluminio.

Il flusso di lavorazione, che è schematizzato nella pagina seguente, comprende due principali aree di lavorazione meccanica: quella dell'acciaio e quella dell'alluminio, all'interno delle quali vi sono varie celle di lavorazione. I lavorati poi convergono nel reparto montaggio e collaudo, mentre il prodotto finito viene imballato, stoccato nel magazzino e poi spedito. Queste attività possono essere considerate attività dirette.

Figura 13: Flusso di lavorazione dello stabilimento di Ostellato



Nei prossimi paragrafi si descriveranno in maniera più dettagliata le principali funzioni assolve nelle due linee produttive. Il flusso produttivo è continuo, ma all'interno dello stabilimento si evidenziano diverse aree di "buffer", cioè delle zone di deposito temporaneo dove i semilavorati prodotti nei vari reparti aspettano i restanti pezzi per la costruzione del prodotto finito. Infatti, si vedrà che la presenza di questi polmoni farà variare la produzione dei singoli componenti della pompa, per cui verrà richiesta un'analisi dettagliata reparto per reparto.

Linea acciaio

L'acciaio, una volta lavato, subisce in primo luogo l'operazione di dentatura nell'apposito reparto. Si eseguono tali lavorazioni degli ingranaggi delle pompe, impiegando mediamente 4 persone per turno. Il reparto è composto da diverse macchine dentatrici robotizzate, che vengono approvvigionate di ingranaggi torniti provenienti da fornitori esterni. I pezzi lavorati vengono destinati alla parte successiva del ciclo. L'impianto di aspirazione dedicato (aspirazione residuo di particolare ferroso) segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro: i tempi di avvio/spegnimento e messa in regime sono nell'ordine di pochi minuti.

Segue nel processo il trattamento termico. Il trattamento utilizzato è quello della carbocementazione, durante la quale viene utilizzato un forno elettrico in cui i pezzi in acciaio da trattare, detti carica, vengono portati all'interno della camera calda fino alla temperatura di austenizzazione (circa 900°C). Alla fine della diffusione del carbonio i pezzi dalla camera calda passano nel bagno di tempra in olio tenuto a 110°C tramite resistenze ed agitatori. Dopo la tempra la carica passa in lavatrice, prima dell'ultima fase del trattamento termico che è il passaggio nel forno di rinvenimento riscaldato tramite resistenze. Il ciclo attuale della carica ha le seguenti tempistiche di massima: 1 ora in lavatrice, 4,4 ore in forno, 1 ora in lavatrice e 1 ore in rinvenimento.

Figura 14: Forno di rinvenimento e lavatrice nel processo di trattamento termico



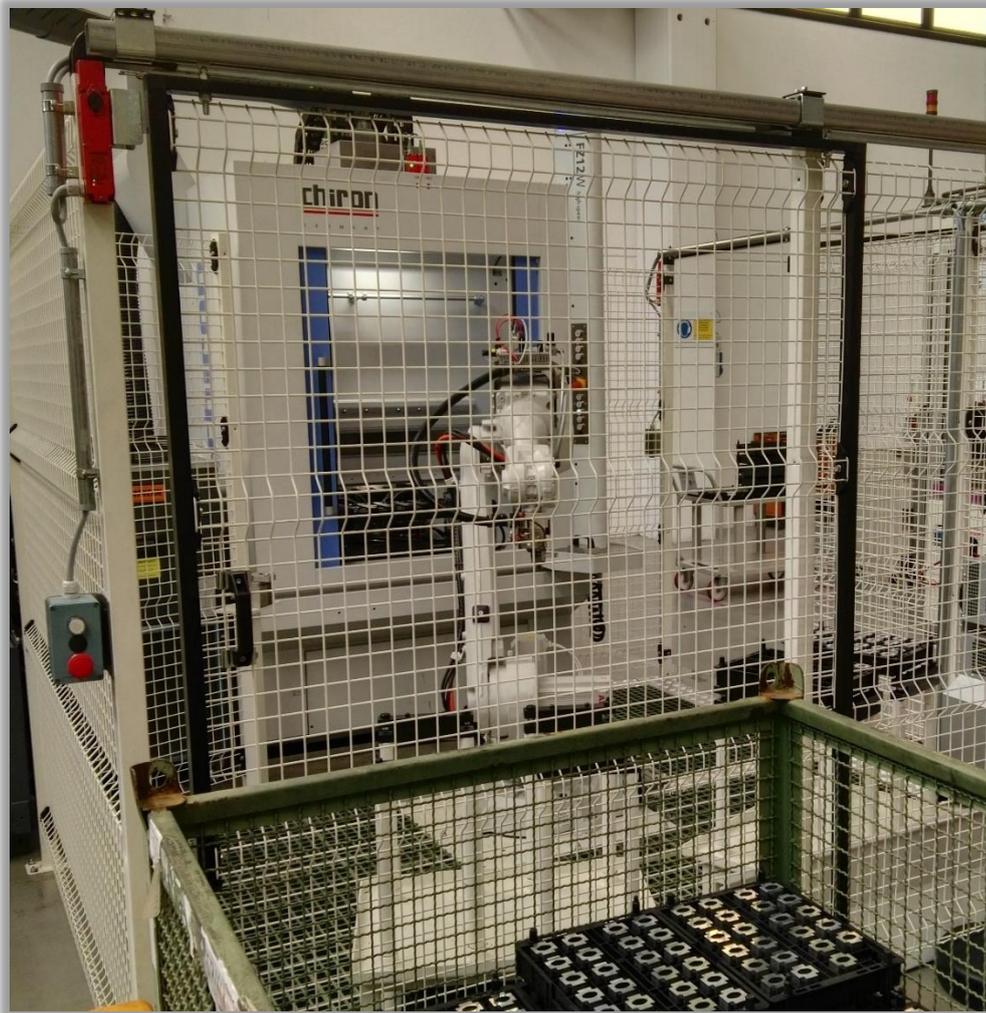
La fase finale nella produzione di ingranaggi è quella di finitura del componente: nel reparto apposito vengono eseguite le operazioni di rettifica e di supfinitura superficiale degli ingranaggi. Il reparto è composto da celle rettificatrici e celle supfinitrici, tutte robotizzate, gestite mediamente da 9 persone per turno. Le

celle vengono alimentate di ingranaggi dentati, derivanti dalla fase di trattamento termico, i quali subiscono in seguito i due trattamenti per poi essere destinati alla parte successiva del ciclo. I componenti rettificati vengono poi trattati superficialmente con un antiruggine non critico per l'ambiente.

Linea alluminio

Questa linea è suddivisa nella lavorazione Boccole e nella lavorazione Corpi. Nel primo reparto sono eseguite le lavorazioni di fresatura su boccole. Le lavorazioni sono effettuate all'interno di macchine robotizzate ed impiegano mediamente 6-7 persone per turno.

Figura 15: Centro di lavoro con isola robotizzata reparto boccole



Nel secondo reparto sono eseguite le lavorazioni di fresatura sui corpi pompa. Anche in questo caso le lavorazioni sono effettuate all'interno di macchine robotizzate ed impiegano mediamente 4 persone per turno.

Linea produttive lavaggio e montaggio

Tutti i semilavorati prodotti dalle lavorazioni meccaniche dell'acciaio, e dell'alluminio convergono nel reparto lavaggio, dove vengono lavati in apposite macchine utilizzando un'emulsione acqua/tensioattivi, con l'impiego mediamente di 4 persone per turno.

Il flusso confluisce nel reparto di montaggio dove vengono effettuate le operazioni di assemblaggio dei vari componenti. In totale sono impiegate mediamente 25 persone e le attrezzature sono costituite da linee di montaggio con magazzino a bordo linea. Il ciclo della linea è continuo, con operatori che pre-assemblano i semilavorati prima delle azioni automatizzate da parte delle macchine. A monte del reparto, bisogna evidenziare come entrino nel processo altri componenti, come viti, guarnizioni e coring. La pompa verrà quindi composta dal corpo e le due boccole, che conterranno i due ingranaggi derivati dalla linea acciaio, montanti insieme alla flangia e coperchio fino alla chiusura del prodotto finale pronto allo step successivo.

Servizi

Per attività di servizi si intendono quelle indicate nel flow chart come Ricevimento materiali, Spedizione, Laboratorio Metrologico, Laboratorio di Contaminazione, Manutenzione, Lab & Test, a cui si aggiungono gli uffici ed il deposito rifiuti. Tra questi si evidenzia quello di Engineering (L&T), dove viene progettato internamente il prodotto finito tramite banchi di prova di stress del prodotto e il reparto Manutenzione dove vengono pianificate le azioni sia ordinarie sia straordinarie sia preventive. Il laboratorio contaminazione invece serve alla cura di test di qualità a cui vengono sottoposti tutti i macchinari dopo una certa quantità di pezzi prodotti.

Linea valvole CPV

Si menziona anche questa ulteriore linea produttiva presente nello stabilimento, ma di utilizzo ridotto, che è quella delle valvole di sicurezza CPV, che vede tecnologie e tecniche produttive diverse.

Suddivisione in reparti e macchinari operativi principali

Da quanto illustrato nel paragrafo precedente, si delinea quella che sarà la suddivisione in reparti dello stabilimento produttivo.

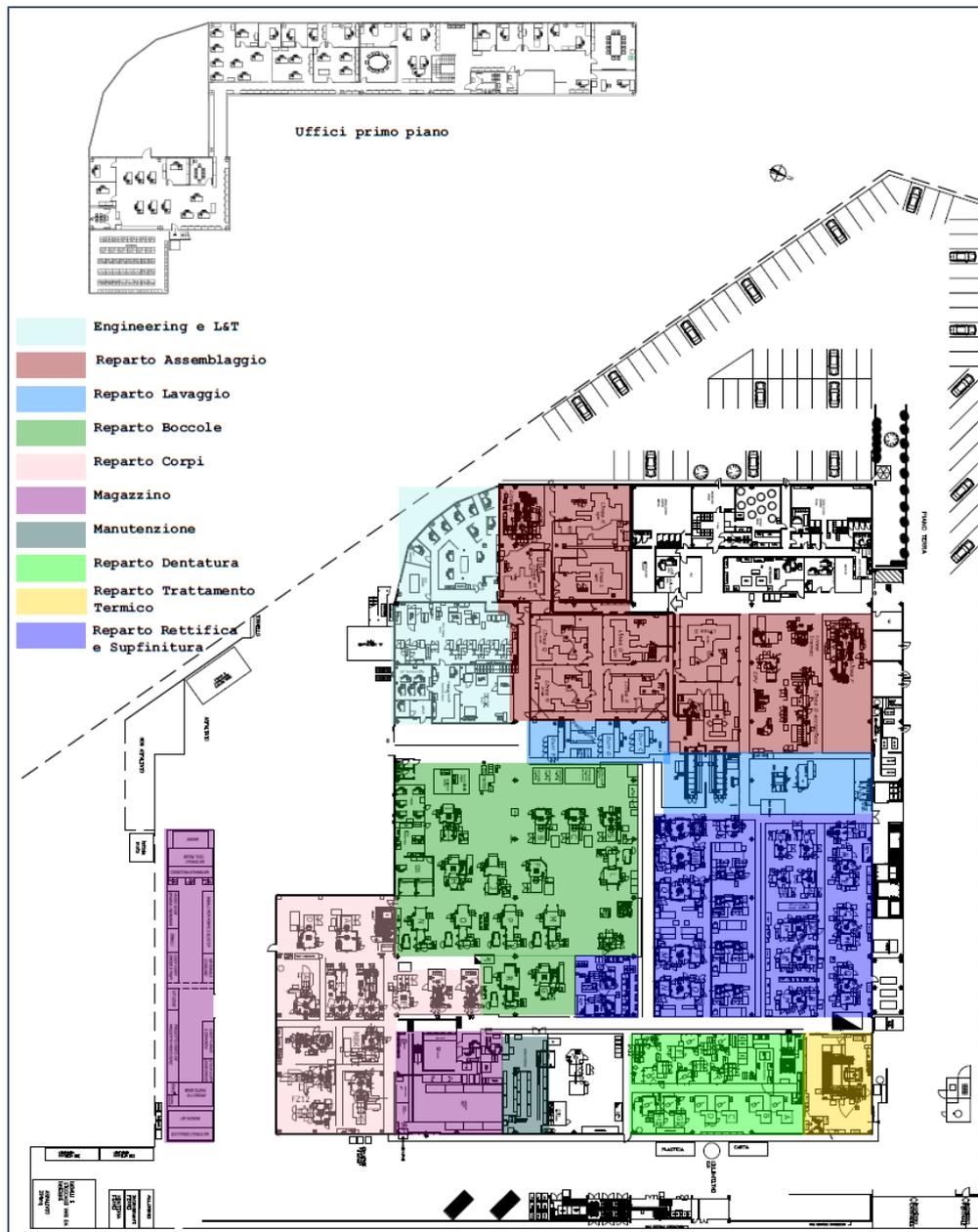
L'azienda viene suddivisa innanzitutto in due moduli: fabbricazione e assemblaggio entrambi occupati per gli stessi turni settimanalmente. I due moduli vengono a loro volta suddivisi nei seguenti reparti, a seconda del semilavorato che viene prodotto o della funzione specifica che accomuna determinati locali.

- ❖ Reparto Corpi
- ❖ Reparto Boccole
- ❖ Reparto Dentatura
- ❖ Reparto Trattamento Termico
- ❖ Reparto Rettifica e Supfinitura
- ❖ Reparto Lavaggio
- ❖ Reparto Assemblaggio
- ❖ Reparto Engineering e L&T
- ❖ Reparto Compressori
- ❖ Reparto Manutenzione
- ❖ Reparto Metrologico
- ❖ Laboratorio di Contaminazione

Si vedrà in seguito che per la caratterizzazione energetica dello stabilimento, difficilmente si potranno utilizzare i consumi globali dello stabilimento perché dipendenti da variabili molto diverse tra loro.

La suddivisione nei vari reparti risulta quindi un processo delicato per la logica dell'implementazione di un SGE, dato che per la parte di analisi energetica sarà richiesto di dettagliare i consumi nelle aree interne del sistema per l'identificazione delle aree a forte consumo di energia. Da lì sarà possibile identificare quella che è la prestazione energetica di ogni reparto, con cui sarà più semplice andare a individuare eventuali inefficienze e cambiamenti degli indicatori nel tempo. Pertanto, riuscire nella missione di dettagliare gli utilizzi energetici per reparto in un'organizzazione complessa come il sito di Ostellato, non solo è un'operazione preziosa, ma inevitabile.

Figura 16: Pianta dello stabilimento e suddivisione nei reparti produttivi



Si procederà ora al censimento dei macchinari presenti per ogni reparto.

Reparto Corpi

Questo reparto conta un totale di 14 di fresatrici con isola robotizzata, la maggior parte dotate anche di un sistema di spazzolatura dei pezzi, più una macchina lavapezzi. Nel reparto corpi entrano i componenti grezzi, che tramite l'azione dei macchinari di asportazione del materiale, vengono modellati e rifiniti secondo le esigenze, seguite da un controllo numerico.

Figura 17: Lotto di componenti in alluminio grezzi per corpo pompa



I consumi di questo reparto sono imputabili per la maggior parte alle fresatrici, a causa del motore elettrico azionante il mandrino, ma non sono da trascurare i contributi dei bracci robotizzati e degli altri ausiliari della macchina.

Nel dettaglio le 14 macchine fresatrici sono: 3 Heller, 4 Stama, 2 Makino, 4 Chiron, 1 Emmeotto. Tutte le celle sono dotate di sistema di aspirazione autonomo, senza punti di emissione non collegati a quello centralizzato.

La potenza nominale totale si assesta sui 698,2 kW per tutte le macchine.

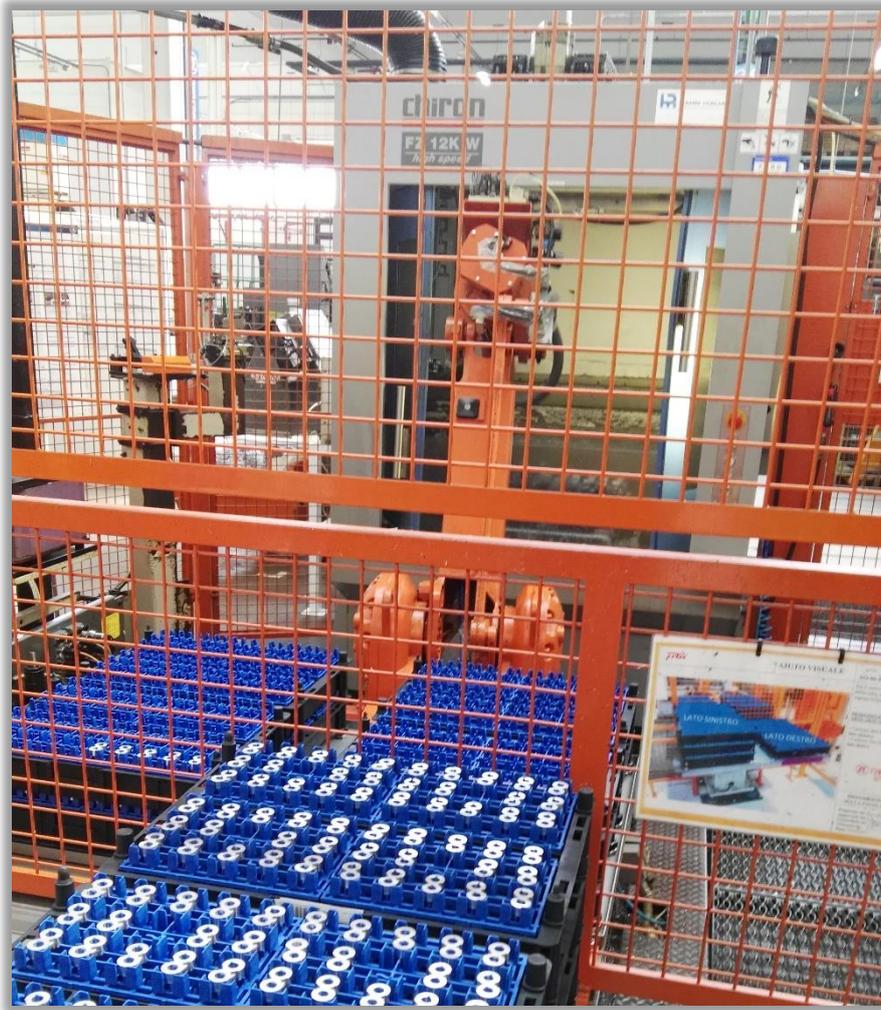
Reparto Boccole

Questo reparto conta un totale di 13 fresatrici con isola robotizzata, per le quali non è prevista un'apposita spazzolatrice. Il processo di questo reparto è del tutto simile a quello visto per il reparto corpi. Si riporta l'elenco delle macchine presenti, comprese di isola robotizzata: 5 Stama, 2 Hermle, 6 Chiron. Nel reparto si denota la presenza anche di una marcatrice laser, che serve per l'identificazione e gestione dei semilavorati secondo uno specifico codice che è marcato sulla superficie del componente.

Tutte le celle sono dotate di sistema di aspirazione autonomo, senza punti di emissione, tranne la cella CTS taglia barre, il cui sistema di aspirazione (truciolo di alluminio) segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro.

Sommando la potenza nominale delle macchine più robot, si ottiene una potenza globale di reparto di 539,4 kW.

Figura 18: Fresatrice per boccole



Reparto Dentatura

Questo reparto è dedicato alla creazione della dentatura da materiale in acciaio grezzo. Si usano speciali macchine dette dentatrici Pfauter, per un totale di 12 in numero e 178,8 kW nominali. La dentatura Pfauter è anche detta a creatore dal momento che viene usata una vite senza fine per la modellazione del componente, che permette però solamente il taglio per dentature esterne.

Figura 19: Operazione di dentatura: elementi in acciaio prima e dopo la dentatura.



L'impianto di aspirazione dedicato per il residuo di particolare ferroso segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro; i tempi di avvio/spengimento e messa in regime sono nell'ordine di pochi minuti.

Reparto Trattamento Termico

Il locale è quello con superficie e numero di macchinari minore. Come solitamente accade nella produzione di ingranaggi, per aumentarne la resistenza all'usura essi subiscono il trattamento termico della carbocementazione, che comprende una fase di austenizzazione e una successiva di rinvenimento come descritto nel processo produttivo.

Questo reparto comprende due forni di cui uno adibito all'austenizzazione l'altro al rinvenimento e una lavatrice, i quali costituiscono quasi l'intera potenza nominale del reparto. Le altre macchine restanti sono ausiliari come robot e celle di raddrizzatura.

La potenza totale si assesta sui 112 kW elettrici. Esiste anche un bruciatore di gas naturale utilizzato per il processo di carbocementazione, all'interno dei forni elettrici.

Dal processo di trattamento termico si ha produzione di materiale particellare, sostanze organiche volatili ed ossidi di azoto, che sono convogliate in un apposito sistema di aspirazione che segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro; i tempi di avvio/spegnimento e messa in regime sono nell'ordine di pochi minuti anche in questo caso.

Reparto Rettifica e Supfinitura

In questo reparto, adibito al trattamento superficiale dei componenti in acciaio, sono ubicate un totale di 22 Macchine.

Nel dettaglio si hanno 6 Tacchella Grindiflex, 3 Tacchelle Pulsar, 2 Tacchella Crossflex, 4 Studer, 7 Supfina, Melchiorre. Le macchine di rettifica generalmente hanno la funzione di asportare un sottilissimo strato superficiale, per aumentare il grado di finitura e ridurre le micro-imperfezioni causate eventualmente dalle lavorazioni che potrebbero in seguito creare cricche o punti critici, minando in questo modo la lunghezza di vita del componente.

L'operazione finale per l'ingranaggio è costituita dalla supfinitura *“ossia un ultimo processo di rifinitura superficiale, tramite sistemi per operazioni di finitura e rettifica con nastri abrasivi di precisione”* (fonte Supfina).

Nel complesso si tratta di due operazioni molto energivore per cui questo reparto costituisce la maggior parte dei consumi aziendali contribuendo con una potenza di 2,181 MW elettrici. Il motivo è dovuto al gran numero di macchinari doppi di rettifica e micro-rettifica presenti ed inoltre alla consistente quantità di macchine ausiliari come aspiratori, gruppi frigoriferi, vasche di refrigerazione, robot e spazzolatrici.

L'impianto di aspirazione dedicato segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro.

Reparto Lavaggio

Questo reparto presenta pochi macchinari ma molto energivori: per un totale di 9 lavatrici industriali la potenza nominale totale è di 483,3 kW. L'elenco dei macchinari è di 4 Lavatrici Durr, 4 Dbm e un Buratto.

Le lavatrici sono connesse ad un sistema di aspirazione dedicato che segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro.

Reparto Assemblaggio

Il reparto è costituito da 14 Linee di montaggio principali, ma che presentano diverse sotto linee interne ed eventualmente banchi e robot. Le linee principali sono adibite al montaggio delle pompe, ma si evidenzia anche una linea per le valvole di sicurezza CPV. Si rileva una potenza totale di 1,233 MW.

Tutte le linee sono dotate di sistema di aspirazione autonomo (residui di olio), senza punti di emissione, tranne due linee specifiche, il cui sistema di aspirazione segue la durata dei turni e dei giorni di lavoro.

Reparto Engineering L&T

Il reparto Lab and Test conta 10 Banchi suddivisi in 5 Banchi di durata, 2 Banchi master, un Banco Freno, un banco di Shock termico, una Camera anecoica, 2 Multipurpose Test Bench, un Banco assemblaggio e un Banco prove scoppio.

Sommando tutte le potenze si trova un totale di 277,2 kW.

Reparto Compressori

Il reparto è composto da due locali diversi in cui sono presenti i generatori adibiti alla produzione di aria compressa, tutti di marca Atlas Copco.

Nella sala compressori A, sono presenti due compressori GA 55C, altri due GA 37 e altri tre GA 55+, mentre nella sala compressori B è ubicato il GA132.

Il totale della potenza impegnata dai compressori è di 495,5 kW, compreso il contributo di quattro essiccatori.

Altri carichi del reparto produttivo

Tra i carichi rimanenti nel reparto produttivo si trovano gli aspiratori e macchine ventilanti dei vari reparti. A questi impianti fanno capo 6 Unità di Trattamento Aria. La potenza nominale di questi impianti è di 94,5 kW.

L'illuminazione nei reparti produttivi è costituita da un totale di 472 lampade, di cui 264 a tecnologia LED per una potenza di 37,17 kW.

I reparti denominati di assemblaggio e di engineering hanno a disposizione un impianto di raffrescamento estivo dedicato, a cui fanno capo due gruppi frigoriferi di 227 e 179 kW.

Infine, nonostante la maggior parte delle zone non abbia bisogno di riscaldamento invernale data l'ingenza della dissipazione termica operata dai macchinari, i reparti sono asserviti da due caldaie a gas naturale, per una potenza termica totale di targa di 1,264 MW termici.

Altri carichi stabilimento

Il cuore dei consumi dello stabilimento è ovviamente costituito dal reparto produttivo, ma c'è da evidenziare la presenza di altri carichi negli altri locali dello stabilimento, che non verranno poi analizzati nel dettaglio nell'analisi energetica.

Per quanto riguarda l'illuminazione delle altre aree interne ed esterne, si evidenziano altre 391 lampade per la maggior parte LED, costituenti una potenza totale di 24,15 kW.

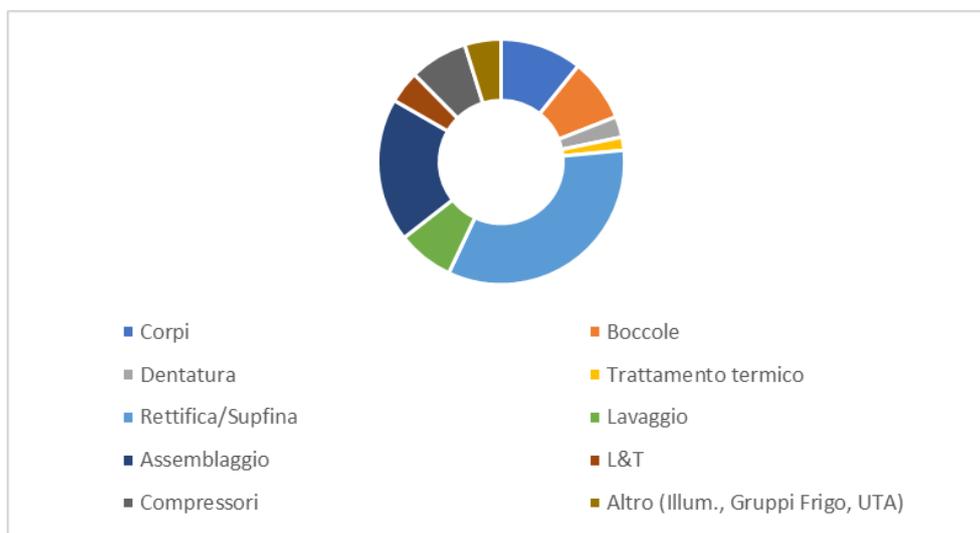
Per il riscaldamento invernale invece esiste una centrale termica con una caldaia di 105 kW di potenza.

Infine, rimangono tutta quella molteplicità di carichi minori, tra cui quelli per la movimentazione merci (carrelli elevatori elettrici), apparecchiature da ufficio e cucina.

Tutti questi carichi costituiscono un peso relativo sulla potenza globale dello stabilimento.

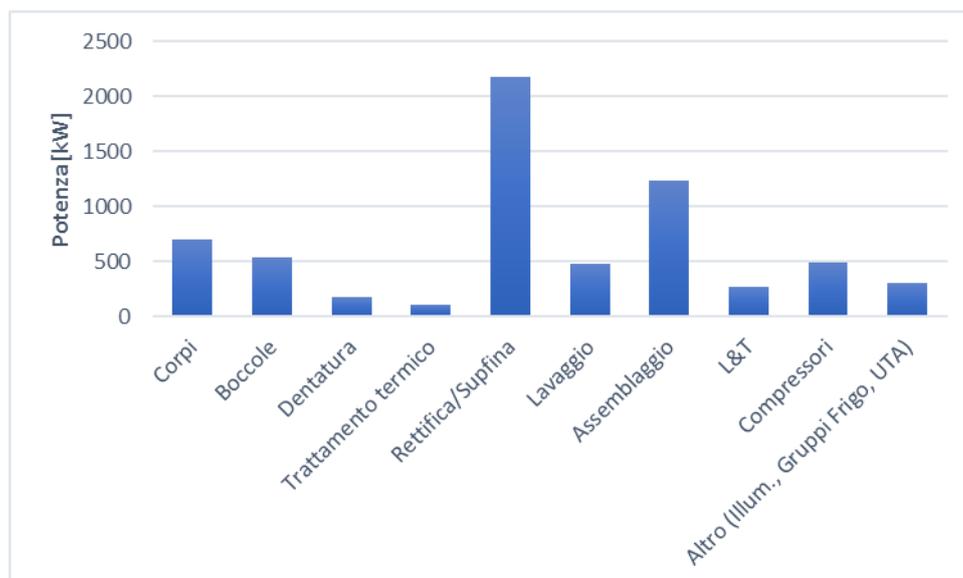
Per avere una cognizione di come siano distribuite le potenze elettriche globali nominali ricavate dalla targa dei macchinari, si riporta il diagramma con il peso delle potenze nominali del reparto produttivo, comprendente di tutti i reparti, carichi di illuminazione e climatizzazione, confrontata con le potenze dei rimanenti reparti dello stabilimento, come gli uffici, le zone comuni.

Figura 20: Confronto delle potenze del reparto produttivo e il resto dello stabilimento



Quindi il 95% della potenza impegnata dall'azienda fa parte del reparto produttivo. Si valuta tramite il diagramma in Figura 21, come è ripartita la potenza nello stabilimento.

Figura 21: Ripartizione delle potenze del reparto produttivo



Dal grafico si vede che il reparto potenzialmente più energivoro è quello di Rettifica e Supfina, seguito da Assemblaggio e Corpi. Il reparto meno consistente risulta invece quello di Trattamento Termico, mentre si vede quanto è ridotto il contributo della voce "Altro", il quale comprende tutti i carichi non direttamente implicati nel processo produttivo.

Quella effettuata però è una valutazione sulle potenze, utile ad avere un'idea di quelle che possono essere le aree a maggior consumo, ma non sufficiente per poter ripartire senza effettuare stime o calcoli approssimativi il totale acquistato nei vari reparti/macchinari. Infatti, per passare dalle potenze alle energie, bisogna passare inevitabilmente dall'uso energetico dei macchinari, il quale introduce numerose variabili come il tempo di utilizzo effettivo di un certo carico e con che grado rispetto a quello nominale.

Non si riporta una suddivisione simile per quanto riguarda il secondo vettore energetico acquistato dall'azienda ovvero il gas naturale, in quanto esso è utilizzato solamente dalle tre caldaie per il riscaldamento invernale e dal forno per il processo. Si vedrà che non ci sarà bisogno di ripartire i consumi termici per i macchinari, in quanto è possibile fare valutazioni direttamente dai consumi fatturati in bolletta.

Si passa ora ad un'analisi di quelli che sono i consumi totali dei vettori energetici entranti nell'azienda: Energia Elettrica e Gas Naturale. Infatti, si farà un'analisi dei consumi rilevati dai contatori fiscali, per effettuare valutazioni energetiche ed economiche.

Fornitura energetica

Come già anticipato, lo stabilimento di Ostellato si rifornisce di Energia Elettrica e Gas Naturale per lo svolgimento delle attività di produzione. In una visione generale riguardo alle forniture generali invece, bisognerebbe considerare tutti i flussi entranti nel sistema termodinamico costituito dal sito. Ma per quello che è lo scopo di questo studio non si renderanno necessari studi su acqua e materie prime entranti in azienda, perciò non vengono riportate nemmeno in questo capitolo. Si comincia con il considerare il vettore Energia Elettrica con considerazioni sui consumi registrati dai contatori fiscali nelle diverse annualità di cui erano presenti, ripartiti mensilmente. Seguirà una trattazione analoga per quanto riguarda il Gas Naturale.

Energia Elettrica

L'energia elettrica costituisce il vettore energetico principale tra quelli di cui si rifornisce l'azienda. Il suo contributo, infatti, serve all'alimentazione di tutti i macchinari del reparto produttivo, dei carichi di illuminazione e climatizzazione estiva, nonché di tutti i carichi ausiliari alla produzione come l'aria compressa, gli uffici e la movimentazione merci.

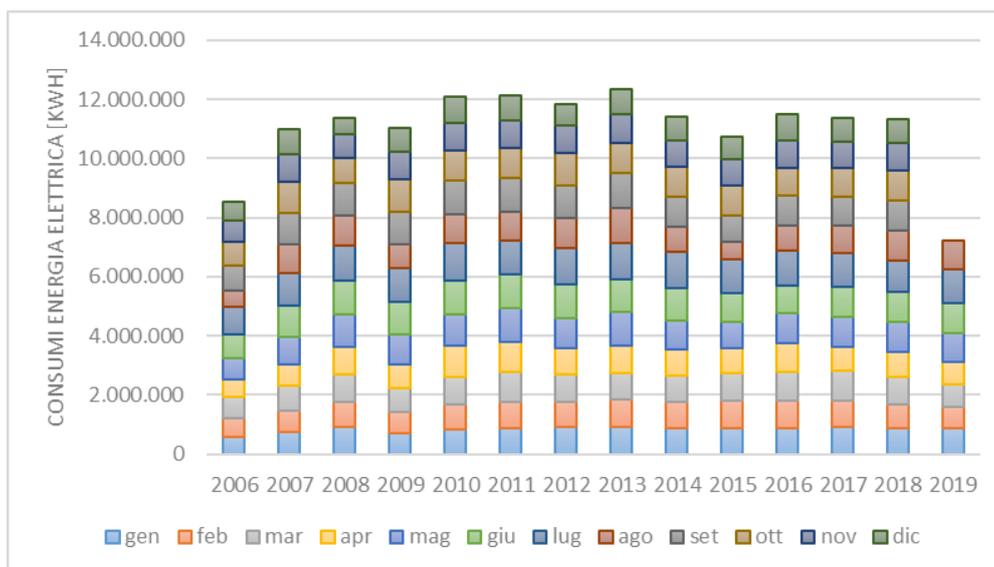
L'azienda dispone di un impianto elettrico trifase dedicato alla fornitura in media tensione. In tale senso sono disponibili un numero di sei Trasformatori attivi da 630 kVA, adibiti alla trasformazione della tensione dal lato di fornitura a 15 kV, fino al lato stabilimento a 400 V. Sul lato di bassa tensione si trovano due quadri generali detti QGBT 1 e 2, dotati di rifasatori, i quali ripartiscono le linee di alimentazione per tutti i reparti dello stabilimento. Sistemi di rifasamento sono presenti anche su alcune linee dell'impianto in modo localizzato.

La fornitura per lo stabilimento è effettuata tramite un unico POD¹¹, per cui si riportano ora i valori dei consumi storici fatturati dal contatore del distributore, ripartiti mensilmente.

¹¹ Point Of Delivery, identificato da un numero seriale, caratterizza il contatore fiscale dedicato all'energia elettrica.

2. Analisi Aziendale

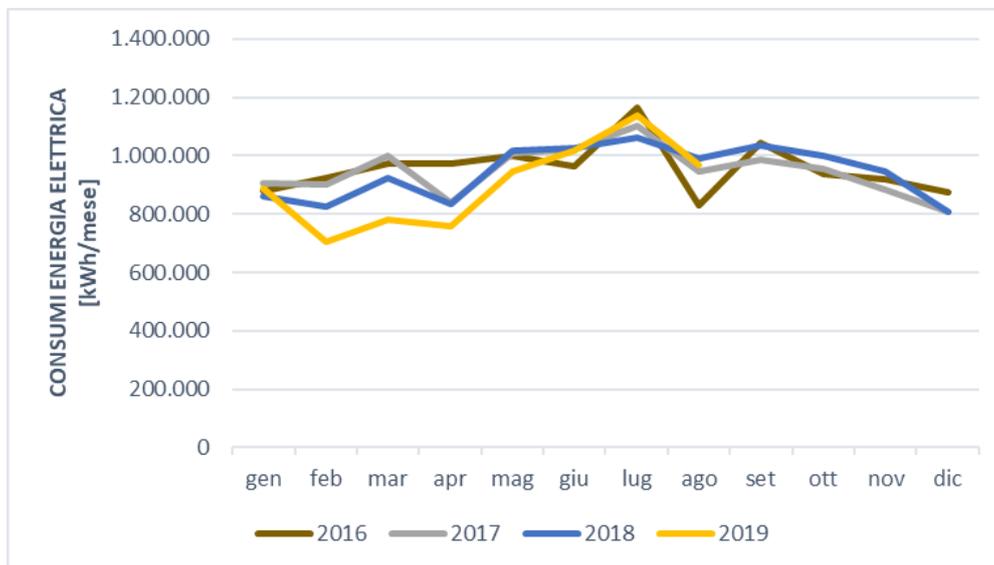
Figura 22: Dati di consumo storici di energia elettrica da bolletta



Si nota come il consumo di Energia Elettrica, eccetto per l'anno 2006, sia stabilmente sopra i 10 GWh all'anno, con punte che superano i 12 GWh. Bisogna inoltre ricordare che i dati per il 2019 non sono completi.

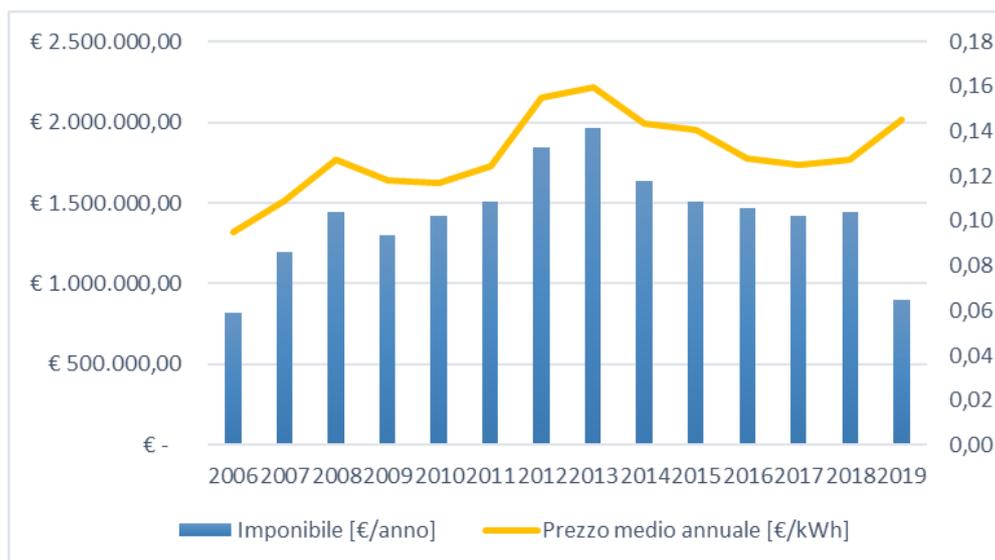
Per avere un confronto di quelli che sono i consumi più aggiornati, si riporta la baseline degli ultimi quattro anni.

Figura 23: Consumi mensili di energia elettrica negli ultimi quattro anni



Inoltre, si vuole dare un'idea di quella che invece è la spesa di energia elettrica: per farlo si riporta, nella Figura 24, la somma degli importi mensili per ogni anno e il prezzo medio per lo stesso anno. I valori economici riportati non comprendono l'IVA.

Figura 24: Relazione tra costi e prezzi per la fornitura di energia elettrica



Dal grafico si nota subito come gli andamenti dei costi e i prezzi siano in linea tra di loro, con gli imponibili che crescono al crescere del prezzo medio dell'energia. Si nota anche come l'andamento dei prezzi sia più altalenante rispetto a quello dei consumi riportato in Figura 23, dovuto a variabilità del mercato e a cambi di fornitori: si passa da una media di 10 centesimi di euro ogni kWh dei prezzi mensili, ad una di 16 centesimi.

L'esborso per l'energia elettrica, con l'eccezione dell'anno 2006, è sempre sopra il milione di euro all'anno, ma nel 2013 ha praticamente raggiunto i due milioni totali annuali.

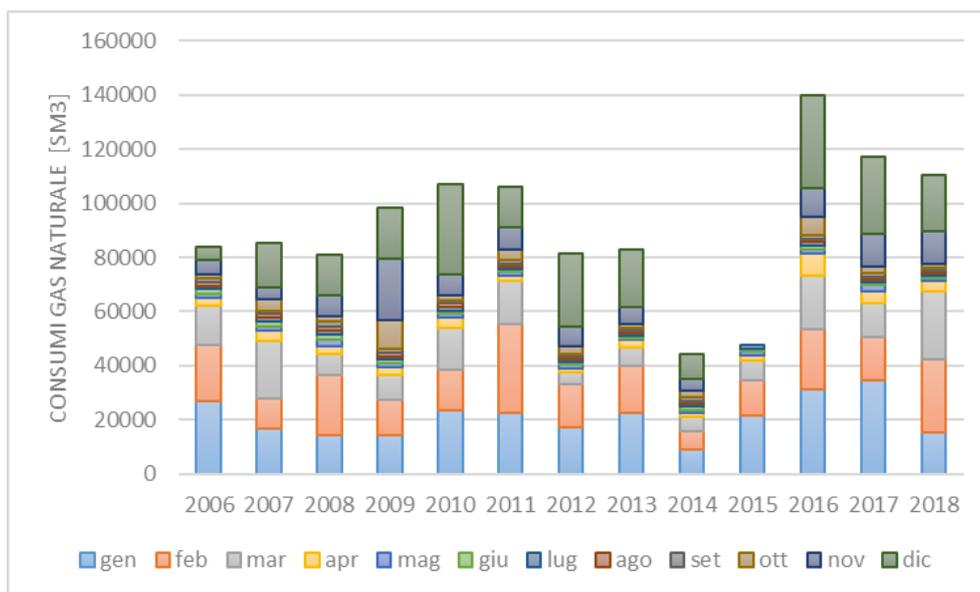
Gas Naturale

Si ripropone un'analisi del tutto simile a quella effettuata per l'energia elettrica anche per il vettore energetico gas naturale. Esso è fornito tramite un unico PDR¹² ed è impiegato quasi totalmente per il riscaldamento degli ambienti durante il periodo invernale. Tuttavia, una piccola parte viene utilizzata anche per alimentare un unico forno durante il trattamento termico.

Si riporta l'analisi dei consumi storica di tutti quegli anni per cui erano disponibili i dati. L'anno 2015, per esempio, non è completo, inoltre si è dovuto ricorrere a delle ricostruzioni per alcuni mesi di altre annualità. Tali ricostruzioni sono state effettuate in casi per cui i dati erano disponibili ad una frequenza minore di quella mensile, per cui dal totale si è ripartito il bimestre tramite una media pesata sui Gradi Giorno della località.

¹² Punto di Riconsegna, identificato da un numero seriale, caratterizza il contatore fiscale dedicato al gas naturale.

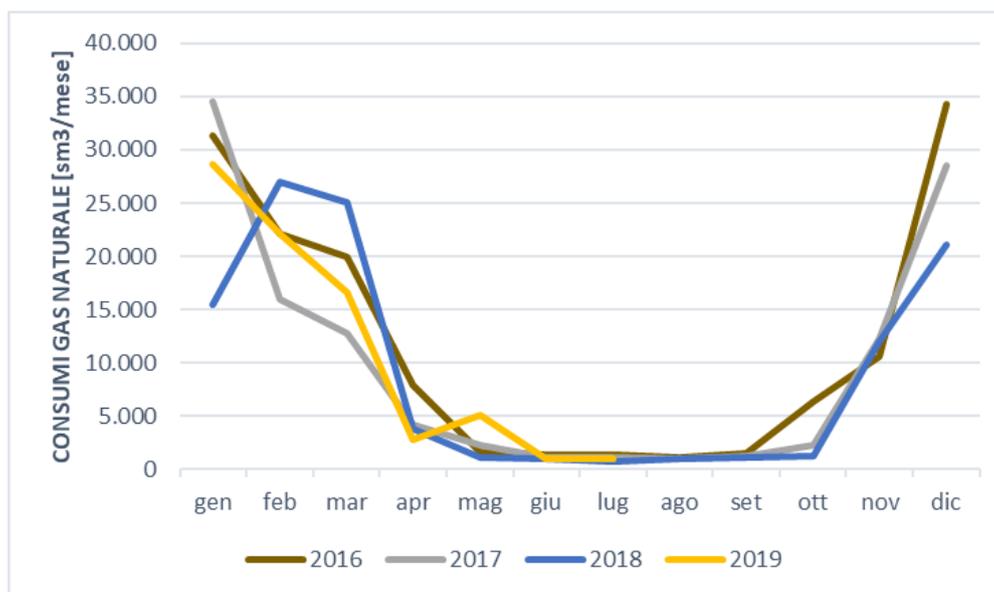
Figura 25: Dati di consumo storici di gas naturale da bolletta



I consumi termici sono contraddistinti da una variabilità più marcata rispetto a quelli elettrici, in quanto la variabile da cui dipendono maggiormente, che sono le condizioni climatiche, non è costante negli anni. Si osserva inoltre come il contributo di una mensilità possa variare di anno in anno, nonostante la forte stagionalità nel consumo.

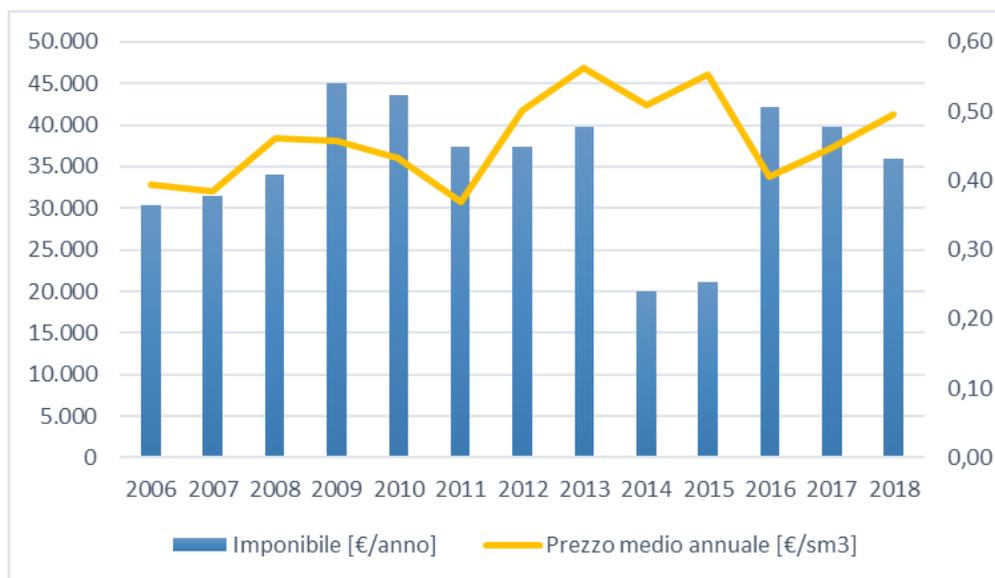
Quest'ultima è meglio osservabile nella seguente figura, che riporta l'analisi degli ultimi quattro anni.

Figura 26: Consumi mensili di gas negli ultimi 4 anni



Dopo i consumi si nota come ci sia una ancor più marcata variabilità tra costi e prezzi del gas naturale. In tale senso si riporta la stessa tipologia di grafico usata per l'energia elettrica, in cui si ha però un risultato differente.

Figura 27: Relazione tra costi e prezzi per la fornitura di gas naturale



Dalla Figura 24 emerge infatti come l'imponibile totale e il prezzo medio annuale non siano più in linea per molte annualità, come invece accadeva nel caso dell'energia elettrica. Questo è dovuto all'incostanza che ha avuto il prezzo del gas naturale, che notoriamente è più alto per minori consumi mentre è più basso per consumi maggiori. Complessivamente, dal 2006 al 2018, il prezzo del vettore energetico ha variato da un minimo di 37 centesimi di euro a standard m³, fino a 56 centesimi ogni unità di volume acquistata.

Consumi globali

In questo paragrafo, si vogliono confrontare i consumi dei due vettori energetici in termini di energia primaria, tramite la conversione in tep¹³. Tale operazione è effettuata per l'energia elettrica secondo le costanti di conversione stabilite dall'ARERA¹⁴ tramite la Delibera EEN 03/08, pari a 0,187 tep/MWh, valore che tiene conto dell'attuale prestazione di generazione e distribuzione dell'energia elettrica nei confini italiani. La costante per il gas naturale è di 0,8127 tep ogni 1000 standard metri cubi.

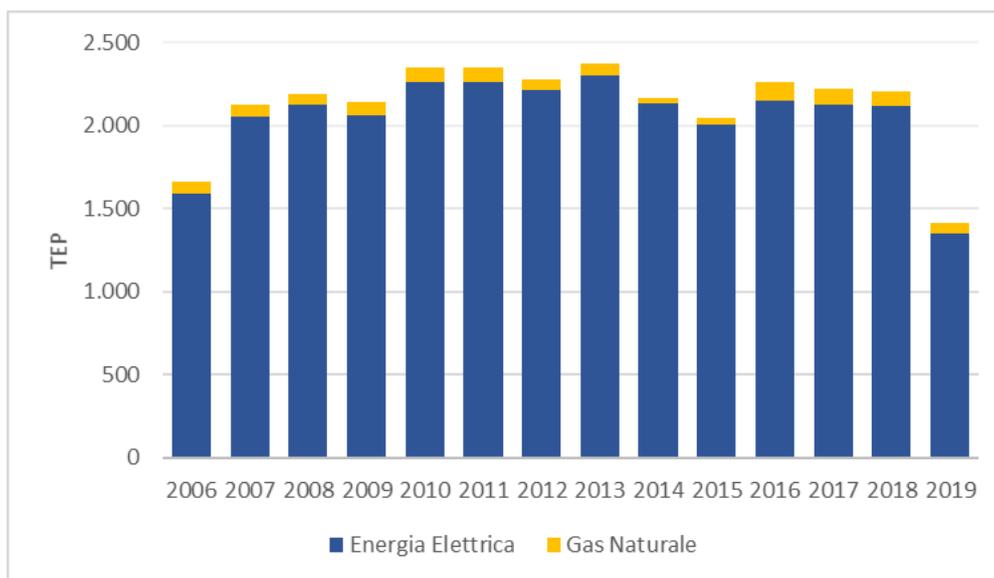
Tramite questo confronto si può visualizzare graficamente quello che è il peso di ogni vettore energetico entrante nello stabilimento.

¹³ Tonnellata Equivalente di Petrolio, pari all'energia rilasciata dalla combustione di 1000 kg di tale combustibile. Dal momento che tale valore dipende da Potere calorifico dell'idrocarburo, è fissata convenzionalmente l'equivalenza a 41,86 GJ.

¹⁴ L'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente.

2. Analisi Aziendale

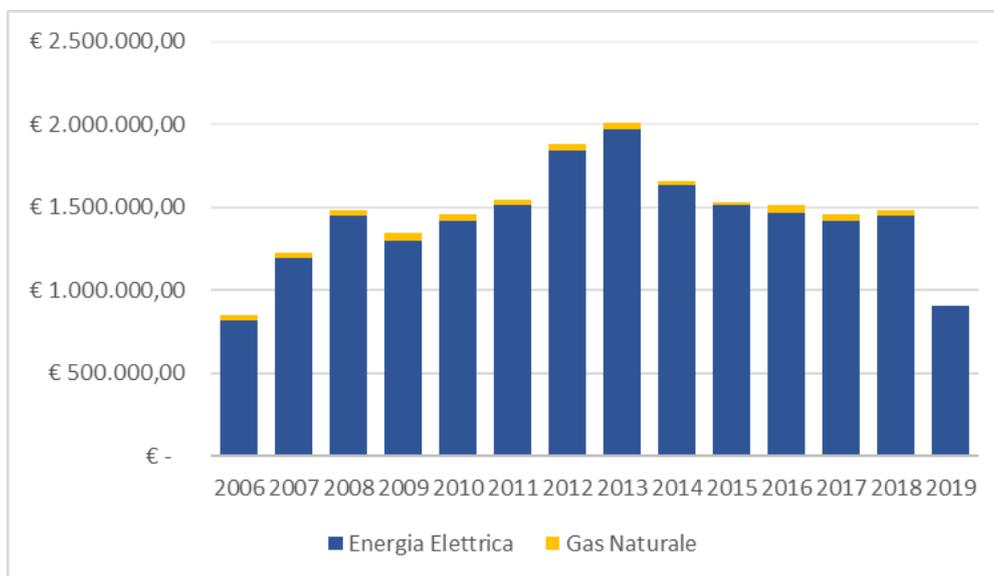
Figura 28: Confronto in tep dei consumi globali storici dello stabilimento



Come ci si aspettava, praticamente quasi tutto il contributo ai consumi globali è dovuto al vettore elettrico, che per tutte le annualità presenta uno share di più del 90%.

Si riporta lo stesso grafico per confrontare la spesa dei due vettori.

Figura 29: Confronto della spesa economica annuale dei due vettori energetici



Si nota un ancora più marcato contributo dell'energia elettrica alla spesa energetica totale, a testimonianza di come essa costi di più a parità di energia primaria.

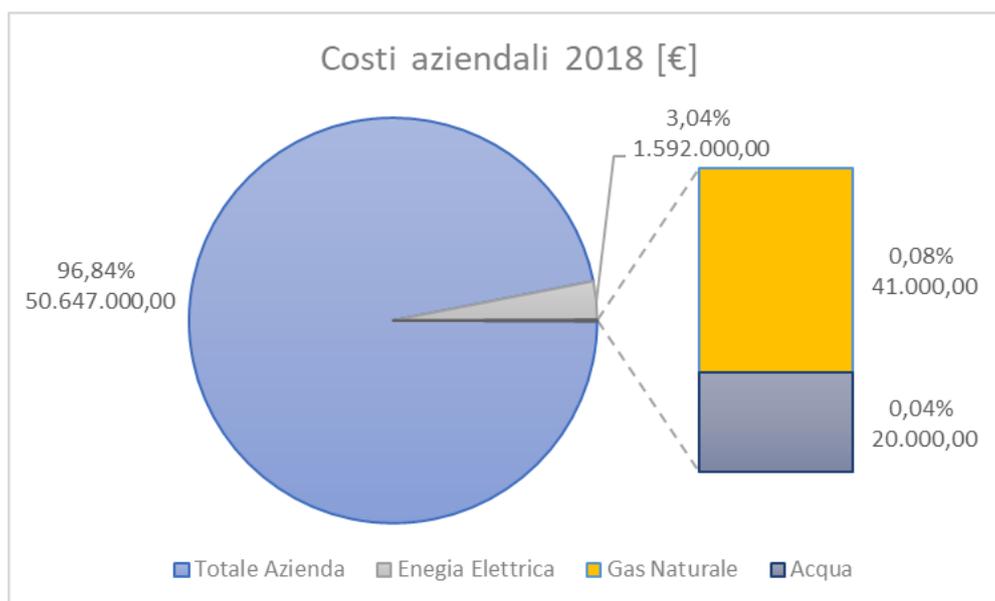
Chiarito come e quanto ZF Automotive Italia spenda per l'approvvigionamento di vettori energetici, si vuole ora analizzare quanto questa spesa incida sui costi totali dell'azienda.

Incidenza dell'energia sul bilancio aziendale

Nell'ultimo paragrafo di inquadramento aziendale si vogliono analizzare gli aspetti relativi all'influenza che assumono i costi energetici rispetto al totale dei costi aziendali, di un'azienda metalmeccanica come ZF Automotive. In alcuni casi, i costi energetici, non assumono un'incidenza tale da rendere interessanti degli investimenti per il risparmio energetico da parte della direzione, la quale preferisce metterli tra le spese fisse. Nel caso invece che la fetta occupata dalla spesa energetica sul totale sia rilevante, un sito potrebbe essere più interessato al risparmio energetico, e quindi anche all'applicazione di un SGE.

Per l'analisi si sono utilizzati come riferimento, i dati forniti per il 2018, che sono riassunti nel grafico seguente.

Figura 30: Incidenza dei costi energetici sul totale di ZF Automotive



Come mostrato dal grafico, il totale dei costi energetici incide per poco più del 3% sui costi aziendali. La maggior parte dei costi è dovuto all'acquisto di energia elettrica, mentre è molto meno rilevante l'incidenza del gas naturale e l'acqua.

Si tratta dunque di cifre considerevoli contando che solitamente, l'energia incide per quote che si aggirano all'1% in aziende metalmeccaniche come quella in esame, mentre in questo caso si supera il 3% (fonte [4]). Questa tendenza è sottolineata anche dal fatto che lo stabilimento di Ostellato, presenta un indice di consumo specifico dal punto di vista economico superiore alla media del gruppo ZF. Si parla infatti per il 2018 di 174 MWh/M€ del sito in esame, considerando i 65M€ di fatturato annuo, rispetto alla media generale dell'holding ZF di 82 MWh/M€, come emerge dal documento di sostenibilità proposto sul sito del gruppo [3].

Per questo motivo ZF Automotive Italia continua a dimostrare un grande interesse e impegno per un percorso di miglioramento dell'efficienza energetica. L'implementazione di un sistema di gestione dell'energia invece vuole dimostrare come sia possibile liberare importanti risorse economiche che possono essere reinvestite anche altrove.

3. Sistema di Monitoraggio

3.1. Premessa e stato dell'arte

Base essenziale per l'implementazione di un qualsiasi SGE è la possibilità di misurare le grandezze energetiche di interesse dapprima per la costruzione di un modello matematico rappresentativo degli usi e consumi energetici di un'organizzazione e dei suoi sottoinsiemi, in seguito per permettere la valutazione della sua prestazione energetica e le eventuali variazioni nel tempo [4]. Proprio per questo motivo è necessario installare un sistema che permetta di ricevere i dati rilevati in modo preciso e aggiornato, con la possibilità quantificare i miglioramenti dovuti alle azioni effettuate per la prosecuzione del ciclo continuo di ottimizzazione richiesto dalla ISO 50001. Come si vedrà in seguito infatti, la costruzione dell'Energy Baseline e degli EnPI, che sono le fondamenta della iniziale fase di pianificazione richiesta dalla norma, saranno costruite tramite dati provenienti dal sistema di monitoraggio presente nel sito di Ostellato.

Per sistema di monitoraggio infatti, si intendono non solo i misuratori (o sensori), ossia quei dispositivi adibiti al rilevamento di una certa grandezza fisica, ma anche tutti gli elementi che permettono l'elaborazione, la trasmissione e la visualizzazione del dato [5].

Un esempio di strumenti di misura sono i contatori fiscali, ossia quel sistema che grazie alla progressiva digitalizzazione, permettono l'invio della quantità di vettori energetici acquistati da una certa organizzazione per il seguente recapito della fattura. Anche lo stabilimento di ZF Automotive Italia ne possiede, ed è grazie a questi dispositivi che si dispongono i consumi globali con cui sono state effettuate le analisi nel capitolo precedente.

Ma la necessità di indagare su come l'energia viene trasformata e consumata all'interno di un sistema di gestione energetico, rende necessaria l'installazione di strumenti di misura in alcune sotto aree del sito ad attività diverse, il quale è possibile grazie alle nuove tecnologie disponibili sul mercato. Sono infatti numerosi i progressi effettuati sotto vari punti di vista: da una parte, si ha un aumento delle prestazioni dell'elemento sensibile, in termini di accuratezza, precisione e sensibilità, il che garantisce di ricevere informazioni attendibili nel tempo, dall'altra si evidenzia un miglioramento nel sistema di acquisizione dati, tramite l'aumento della velocità di campionamento, della risoluzione e del numero di canali delle schede di acquisizione, senza infine trascurare i miglioramenti dell'interfaccia utente. Quest'ultime caratteristiche, consentono di ricevere dati e altre informazioni come allarmi o avvisi, direttamente da remoto, per una conoscenza continua dello status dei sistemi sotto misura.

Per concludere, si sottolinea come il progresso tecnologico abbia consentito la possibilità di controllo automatico dei dati acquisiti dagli strumenti di misura, tramite il contributo dei nuovi sistemi elettronico-informatico noti con diversi

acronimi, tra cui SCADA¹⁵ e EMS¹⁶. Tramite l'ingresso nel mercato di tali dispositivi infatti, si aggiunge in maniera automatizzata la possibilità di regolazione e di gestione di un sistema energetico secondo dei canoni fissati e programmabili, per il perseguimento dell'ottimizzazione energetica.

Questi nuovi strumenti domotici trovano un campo di applicabilità notevole nel settore energetico, con la potenzialità di costituire un supporto fondamentale nella gestione dell'energia di un sistema di qualsiasi natura. Nella pratica queste tecnologie permettono di mettere in comunicazione i dati riportati da tutti i misuratori installati, elaborare le informazioni tramite l'implementazione di determinati algoritmi e di attuare misure stabilite, riportando i risultati ottenuti e le procedure svolte.

Per effettuare qualche esempio per una realtà industriale come quella in esame, nell'ambito energetico si affaccerebbe la possibilità di controllo delle analisi prestazionali di sistemi meccanici, termici ed elettrici, in termini sia di ottimizzazione energetica, sia identificazione e riduzione delle perdite, sia di allarmi per la manutenzione preventiva dei macchinari [5]. Altri esempi di applicazione consistono nella gestione ottimizzata dei carichi, tramite l'attuazione di attività automatizzate come Demand-response¹⁷ e Peak-Shaving¹⁸, oppure nell'implementazione di algoritmi di machine learning, i quali rendono i macchinari "intelligenti" tramite apprendimenti da risultati errati secondo alcuni parametri fissati a priori, in un processo di continuo miglioramento conforme alla ISO 50001.

Il futuro delle applicazioni energetiche verterà sempre di più verso la gestione dei sistemi ad opera di dispositivi intelligenti, in uno scenario in cui tutte gli oggetti sono virtualmente collegati e comunicanti tramite l'utilizzo della rete, secondo il quello che è chiamato Internet of Things.

Queste tecnologie si inseriscono perfettamente in un campo come quello della gestione dei sistemi energetici, ma non verranno analizzate ulteriormente in questa tesi data la vastità dell'argomento. Nel prossimo capitolo invece si analizzerà il sistema di misuratori interni attualmente installato nello stabilimento ZF e di quali dati è stato possibile prendere visione per effettuare i calcoli necessari per l'implementazione del SGE.

¹⁵ Supervisory, Control and Data Acquisition

¹⁶ Energy Management Systems

¹⁷ Attività per cui si seguono i picchi di offerta e domanda di un determinato mercato energetico (i.e. mercato elettrico) aumentando e riducendo la richiesta di fornitura dalla rete, consentendo una maggiore stabilità di essa e un utilizzo più efficiente e meno costoso delle infrastrutture energetiche.

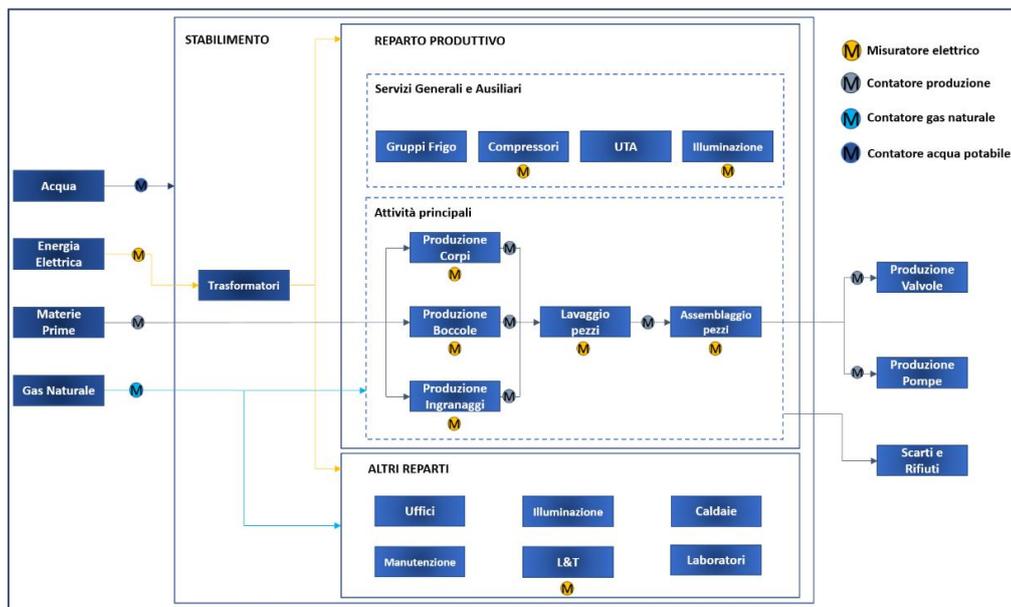
¹⁸ Riduzione dei picchi di potenza di richiesta di energia elettrica, tramite azioni di gestione dei carichi e implementazione di sistemi di accumulo elettrico.

3.2. Stato di fatto aziendale: analisi dei sistemi installati

Fino ad ora si è analizzato il sistema ZF Automotive Italia considerando semplicemente i flussi energetici in entrata allo stabilimento, ma per poter effettuare analisi sulla prestazione dello stabilimento tramite la validazione di un modello matematico, diventa necessario disaccoppiare gli usi energetici in base all'attività di ogni area a consumo energetico significativo dello stabilimento (per esempio reparto per reparto) per poterne studiare dunque i consumi specifici. In questo capitolo verrà effettuata un'analisi su come è stato possibile ricavare i dati di consumo dei reparti interni all'azienda, ossia dal sistema di monitoraggio presente nello stabilimento di San Giovanni di Ostellato.

Prima di entrare nel dettaglio, per offrire una panoramica generale di come l'energia viene acquistata, trasformata e utilizzata nei vari reparti dello stabilimento, si riporta una panoramica dei flussi energetici dello stabilimento tramite il fence diagram nella figura di seguito.

Figura 31: Fence Diagram dello stabilimento ZF



Innanzitutto, si può notare come lo stabilimento sia stato suddiviso in due macro aree: reparto produttivo e altri reparti, in quanto, come ipotizzabile, la maggior parte dei consumi deriva dai macchinari produttivi, quindi l'area più significativa dal punto di vista energetico è proprio in quel reparto. Quest'ultimo viene a sua volta suddiviso in tre categorie in base all'attività specifica di una sotto area, in accordo a quanto stabilito dalla normativa UNI CEI EN 16247 [6] per la redazione di Diagnosi Energetiche:

- ❖ Attività principali, cioè quelle attività che concorrono direttamente nel processo produttivo o che caratterizzano un servizio erogato
- ❖ Servizi ausiliari, o le attività di supporto a quelle principali
- ❖ Servizi generali, tutte le attività non connesse al processo produttivo

I flussi energetici invece sono stati suddivisi in vari vettori energetici, per i quali viene indicato quali aree dello stabilimento vanno ad asservire. Sono infatti presenti diversi livelli energetici, che distinguono l'acquisto dei vari vettori energetici, la loro trasformazione e il loro utilizzo finale. Nella Figura 31 si riporta anche il flusso di tutti i materiali entranti nello stabilimento, come acqua potabile e materie prime per la produzione, che segue dunque lo schema del layout produttivo già visto nello scorso capitolo.

Infine, si è indicato il posizionamento dei vari misuratori presenti attualmente nell'azienda: dove essi sono posti in cascata al flusso, significa che il misuratore copre tutta la quantità passante da quell'area, mentre se il dispositivo è posto sotto il riquadro, ne copre solamente una quota parziale.

Dal fence diagram si capisce che sono installati essenzialmente misuratori interni per la contabilizzazione delle quantità di materiali passanti dal processo produttivo e misuratori installati sulla rete elettrica, mentre per acqua potabile e gas naturale sono presenti solamente i contatori fiscali.

Acquisizione dati di produzione

Come già anticipato nel capitolo precedente, lo stabilimento di ZF produce pompe oleodinamiche per applicazione automotive e valvole di sicurezza. Per il processo l'azienda si rifornisce di principalmente di due tipologie di materie prime: acciaio e alluminio, dove il primo è usato per la produzione degli ingranaggi interni alla pompa oleodinamica e delle valvole di sicurezza, mentre il secondo è invece utilizzato per la costruzione della struttura del prodotto, cioè il corpo pompa e le due bocche. A tale scopo, lo stabilimento è diviso in diversi reparti ognuno adibito alla produzione di una tipologia di componente, i quali vengono infine lavati e assemblati per la fabbricazione del prodotto finale. Durante le lavorazioni intermedie si generano degli scarti di lavorazione che vengono in seguito smaltiti.

Tutte queste grandezze vengono misurate tramite un sistema apposito, grazie al quale sarà possibile trovare degli energy drivers, cioè delle variabili in grado di influenzare i consumi di energia, per poi sviluppare il processo di caratterizzazione energetica.

Il conteggio è effettuato da tutte le singole macchine nel reparto produttivo che sono dotate di sensori per la misura della quantità (in kg) in ingresso di materie prime (acciaio e alluminio), le quali sono archiviate in un database di inserimento. In seguito, altri sensori forniscono i dati in uscita costituiti da numero di pezzi prodotti e scarti. L'acquisizione e l'elaborazione di tali dati è gestita da un unico software interno, che rielabora le informazioni provenienti da ogni macchinario e classifica le quantità misurate in materie prime, semilavorati, prodotti finiti e scarti.

Analizzatori sulla rete elettrica

Caratteristiche principali del sistema installato

L'azienda ha effettuato l'installazione di un sistema di monitoraggio sull'impianto elettrico nel luglio del 2018. Il sistema, costituito da un totale di 18 punti di misura diversi, è di marca Kerberos ed è costato oltre 20000€. Per ogni punto di misura è previsto un power meter, cioè un contatore di energia elettrica trifase, montato a quattro fili, auto-alimentato e conforme alla direttiva MID¹⁹ e la norma EN 50470. I sensori utilizzati sono costituiti da TA²⁰ per la misura dell'intensità di corrente di ognuna delle tre fasi, strumenti del tipo rigido e apribile, di taglia e grandezza diverse in quanto montati su cavi a sezione differente. Sono presenti inoltre dei voltmetri per la misura diretta della tensione, dalla quale in combinazione con la corrente elettrica e lo sfasamento tra le due grandezze permette il calcolo di Potenza Apparente, Attiva e Reattiva.

Il sistema di misura viene quindi collegato ad un'infrastruttura di rete, ossia quell'insieme di dispositivi che permette la trasmissione delle grandezze elettriche rilevate senza l'utilizzo di cablaggi. Innanzitutto, i power meter vengono integrati in una rete a maglie in cui vengono acquisiti i dati e immessi in una scheda SD che permette di conservare informazioni per un periodo fino a tre mesi. Nel frattempo, grazie ad un Gateway Wireless che permette l'accesso alla rete via internet da una postazione remota, ad un Router UMTS²¹ industriale con uscita Ethernet per la trasmissione dei dati e diversi ripetitori (uno per punto di misura) Master ModBus Wireless, si riesce a trasmettere i dati ad una piattaforma online che si occupa di elaborare, memorizzare e storicizzare i dati acquisiti. La piattaforma è quindi accessibile da remoto tramite qualsiasi dispositivo dotato di una connessione internet. La rete interna al sito è perfettamente integrabile con eventuali sistemi SCADA e EMS, nonché estendibile ad altri misuratori.

Sulla piattaforma è stato quindi possibile, tramite l'accesso ad un account dedicato, prendere visione delle grandezze istantanee derivanti dagli analizzatori elettrici installati e dei dati storici. In particolare, sono presenti dati relativi ad intensità di corrente (divisa per fasi), la tensione rms e il fattore di potenza, da cui vengono automaticamente calcolati i valori di potenza apparente, attiva e reattiva e di conseguenza energia attiva e reattiva.

Oltre al sistema di monitoraggio appena analizzato, ZF dispone di due contatori di energia elettrica omologati MID, montati su due quadri all'interno dello stabilimento, installati in seguito ad un progetto per il riconoscimento di Titoli di Efficienza Energetica in seguito alla sostituzione dei vecchi corpi illuminanti con nuovi a tecnologia LED. Le specifiche di questi misuratori non sono note, ma si useranno comunque i dati estrapolati da questo sistema per effettuare delle considerazioni sui consumi di illuminazione.

¹⁹ Measuring Instrument Directive 2014/32/UE

²⁰ Trasformatore Amperometrico, il sensore per la misura dell'intensità di corrente elettrica.

²¹ Universal Mobile Telecommunication System

Punti di misura del sistema di monitoraggio elettrico

L'impianto elettrico esistente all'interno dell'azienda risulta molto articolato, con un elevato numero di quadri e sotto-quadri distribuiti nelle varie zone di tutta la pianta.

Infatti, l'energia elettrica acquistata per lo svolgimento delle attività lavorative all'interno dello stabilimento, una volta che passa dai sei trasformatori installati per il passaggio alla bassa tensione, confluisce in due quadri generali di bassa tensione (QGBT, QGBT2). Da qui l'alimentazione elettrica si dirama nei vari reparti dello stabilimento. I misuratori presenti attualmente nel sito, sono installati su linee elettriche che fanno capo ad un totale di 4 quadri di stabilimento, il QM1, QM2, QM3, QM4.

I power meter sono quindi installati a monte di alcune linee di alimentazione dei vari macchinari, le quali consistono in un insieme di blindosbarre, cioè condotti sbarra utilizzati soventemente in campo industriale data la facilità di manutenzione e comodità per interventi sui cablaggi. Per una maggiore chiarezza si è scelto di chiamare i misuratori con il nome della rispettiva blindosbarra che monitorano. Si riassume nella seguente tabella il riepilogo dei misuratori installati, con i relativi condotti sbarra a cui sono relegati.

Tabella 1: Riepilogo quadri principali, misuratori e condotti monitorati

Quadro	Analizzatore	Alimentazione	Nome
QM1	PMT1	Blindosbarra 1	Blindo 1
	PMT2	Blindosbarra 2	Blindo 2
	PMT3	Blindosbarra 3	Blindo 3
	PMT4	Blindosbarra 4	Blindo 4
	PMT5	Blindosbarra 5	Blindo 5
	PMT6	Blindosbarra 15	Blindo 15
	PMT7	Blindosbarra 12	Blindo 12
	PMT8	Blindosbarra 13	Blindo 13
	PMT9	Blindosbarra 9	Blindo 9
QM2	PMT0	Blindosbarra 6	Blindo 6
	PMT1	Blindosbarra A1-12	Reparto Corpi
	PMT2	Blindosbarra 7	Blindo 7
	PMT3	Blindosbarra 8	Blindo 8
	PMT4	Blindosbarra 10	Blindo 10
	PMT5	Blindosbarra 14	Blindo 14
	PMT6	Blindosbarra 16	Blindo 16
QM3	PMT1	Quadro Sala Compressori A	Compressori
QM4	PMT3	Quadro GA55+	GA55+

I condotti sbarra alimentano diversi macchinari e tendenzialmente seguono la suddivisione in reparti effettuata in precedenza in base alle diverse attività effettuate all'interno dello stabilimento. Di tutti e 18 i punti di misura, 16 sono all'interno del reparto produttivo, adibiti al monitoraggio delle Attività Principali,

mentre i restanti due misurano due zone dei locali tecnici in cui sono presenti i compressori (Servizi Ausiliari).

Non sono stati inclusi invece i misuratori per l'impianto di illuminazione per il calcolo dei TEE conseguiti in seguito alla sostituzione LED, in quanto fanno parte di un sistema a parte.

Per l'estrapolazione dei dati necessari per la Caratterizzazione Energetica che verrà affrontata nel prossimo capitolo, si è affacciata la necessità di disaccoppiare ulteriormente le grandezze elettriche misurate nei diversi sotto reparti di attività specifica aziendale. Questa suddivisione però, si è dimostrata non sempre così immediata, in quanto sono presenti delle blindosbarre che alimentano macchine appartenenti a diversi sotto reparti.

Si specifica che lo stabilimento è soggetto a frequenti cambiamenti nella disposizione delle macchine e nella loro alimentazione elettrica, per cui la suddivisione riporta nella e nella è riferita all'ultimo aggiornamento ricevuto dall'azienda.

Nella tabella di seguito si propone la suddivisione per reparti effettuata. Se il nome del sezionatore è presente sotto più reparti è perché alimenta macchinari di diverse aree.

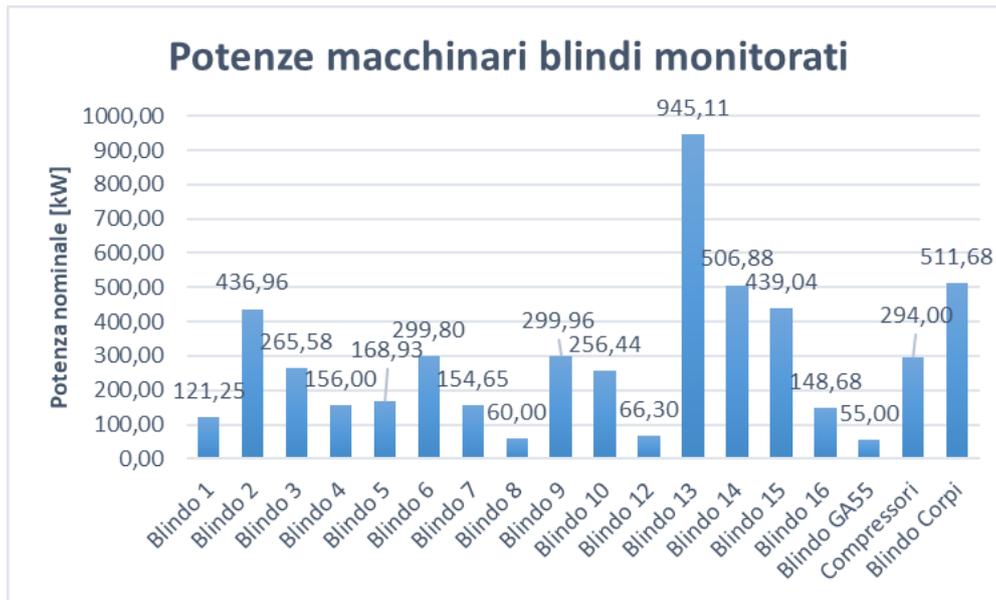
Tabella 2: Suddivisione misuratori elettrici per reparto

Reparto	Blindi
Corpi	Blindo Corpi, Blindo 6, Blindo 10
Boccole	Blindo 6, Blindo 7, Blindo 9, Blindo 10
Ingranaggi	Blindo 1, Blindo 2, Blindo 3, Blindo 9, Blindo 13, Blindo 14
Lavaggio	Blindo 9, Blindo 12
Assemblaggio	Blindo 2, Blindo 4, Blindo 5, Blindo 15, Blindo 16
L&T	Blindo 8
Compressori	Blindo GA55, quadro compressori

Come già anticipato si nota che i tutti i misuratori ad eccezioni del Blindo 2, Blindo 6, Blindo 9 e Blindo 10, sono perfettamente attribuibili ad un singolo reparto in quanto non alimentano macchinari di diversa attività. Invece i misuratori indicati presentano uno o più macchinari appartenenti a diverse aree produttive. Nel dettaglio il Blindo 2 presenta tutti i macchinari appartenenti al reparto ingranaggi più una linea di assemblaggio, il Blindo 6 presenta tre macchine dal reparto boccole e quattro dai corpi, mentre il Blindo 9 e 10 presentano macchine da tre diversi reparti. Di questi quattro condotti si è adottata una diversa strategia per la suddivisione in reparti dei consumi complessivi: per quelli che presentavano una bassa incidenza di macchinari o linee in termini di numeri e potenza su totale monitorato, i dati si sono attribuiti al reparto con maggiore peso, mentre per le blindosbarre che presentano macchinari ad attività diverse in una quota simile tra di loro, è stata effettuata un'attribuzione per reparto sulla base di un media pesata sulla potenza nominale totale dei macchinari misurati.

3. Sistema di Monitoraggio

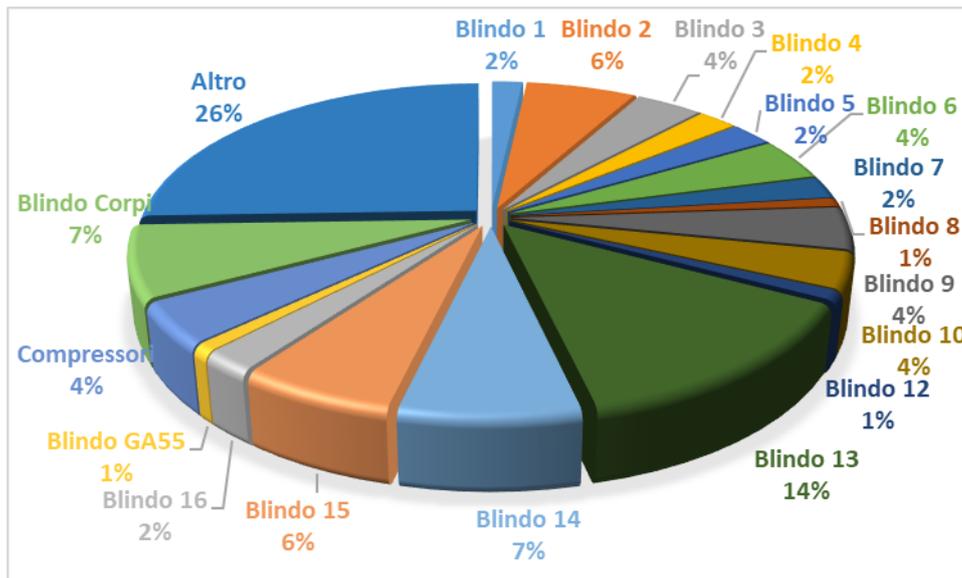
Figura 33: Suddivisione delle potenze nominali per i carichi elettrici monitorati



Dal grafico si può avere un'idea iniziale di quali linee di alimentazione presenteranno più consumi: una volta che si analizzeranno i consumi storici, si farà un confronto tra la suddivisione in potenze nominali proposta dalla Figura 33 e quella dei consumi energetici rilevati.

Si riporta ora nel grafico a torta che segue, il peso di ogni misuratore rapportato al totale della potenza installata nell'intero reparto produttivo. In questo modo si riesce ad avere un'indicazione di quanto sia estesa la rete di monitoraggio sull'intero reparto produttivo e quanto peso hanno le varie blindosbarre su cui sono installati i misuratori.

Figura 34: Peso percentuale delle potenze nominali dei macchinari nel reparto produttivo



Dall'analisi sulle potenze, risulta che il 73,6% dei macchinari del reparto produttivo sono soggetti a monitoraggio e viene riportata l'ulteriore suddivisione del peso delle 18 linee di alimentazione secondo le potenze dei macchinari che sono asserviti. Da qui si vede come già indicato dalla precedente Figura 33, che la

Blindo 13 è di gran lunga quella che presenta i macchinari a maggior potenza, seguita dal Blindo Corpi e il Blindo 14. Sia Blindo 13 (rettifica e dentatura) che 14 (rettifica e supfina) fanno parte del reparto ingranaggi, sottolineando che peso questo reparto produttivo sui consumi globali. Si noterà un andamento del tutto simile quando si studieranno le energie.

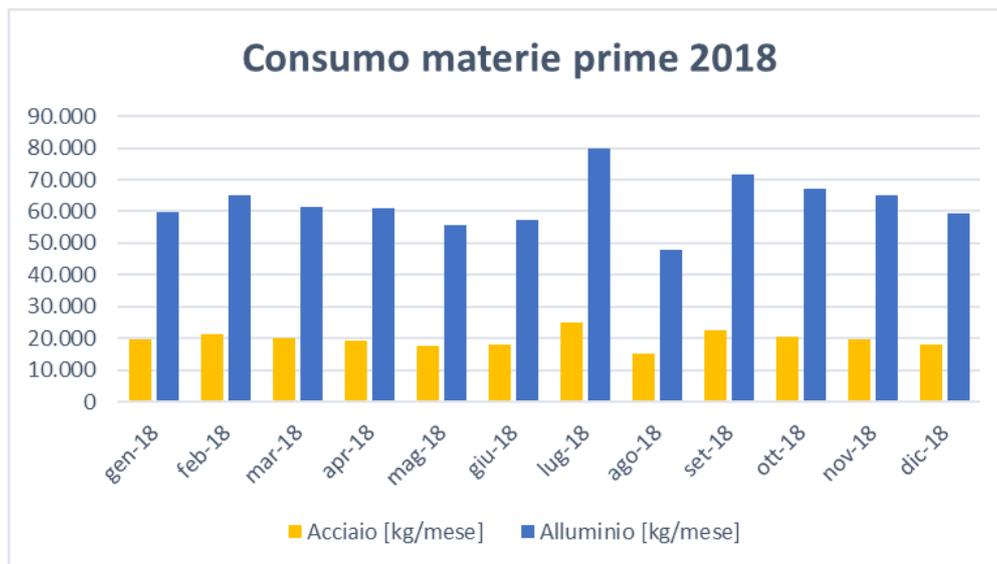
3.3. Analisi di copertura e miglioramenti del sistema

Dati di produzione: analisi di copertura

Si riportano ora alcuni grafici in cui è possibile prendere visione dei dati di produzione provenienti dal sistema di conteggio pezzi aziendale. Per come è strutturato il sistema, si hanno i dati a coprire il 100% di tutto il flusso dei materiali che passano per il ciclo produttivo. Questi dati saranno utilizzati in seguito per i calcoli della correlazione con le variabili energetiche.

Si comincia con i flussi in entrata di materiali, cioè le quantità di acciaio e alluminio in kilogrammi, tramite i campionamenti mensili durante l'anno 2018.

Figura 35: Consumo di materie prime per il processo produttivo

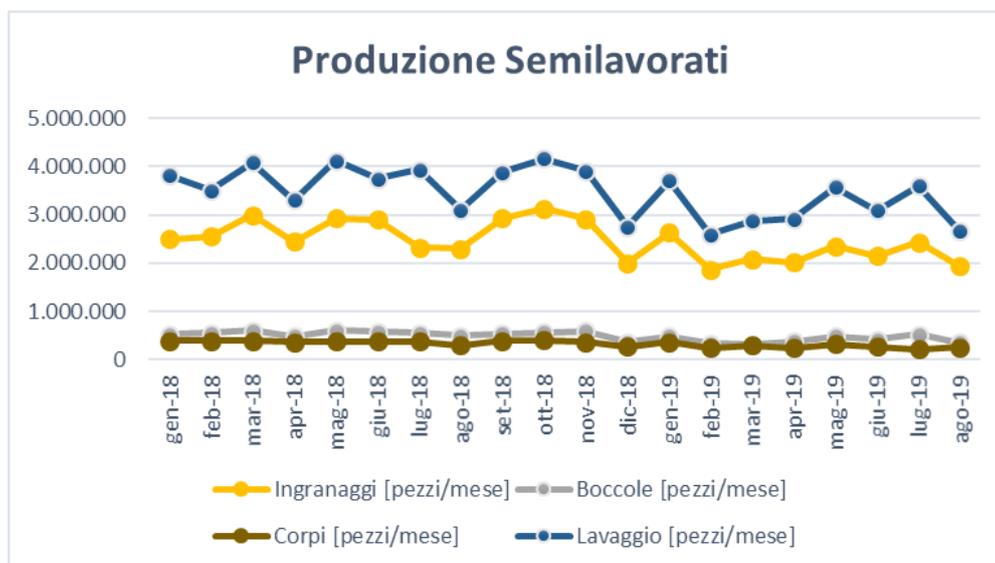


Dalla figura si denota come il consumo di acciaio sia circa un terzo di quello dell'alluminio in termini di kg, in maniera costante per tutte le mensilità. Questo è giustificato dal fatto che i componenti in acciaio sono sensibilmente più piccoli rispetto all'intera struttura della pompa in alluminio.

Si riporta quindi l'andamento della produzione dei semilavorati per le mensilità per cui sono disponibili i dati.

3. Sistema di Monitoraggio

Figura 36: Andamento della produzione di semilavorati del processo produttivo

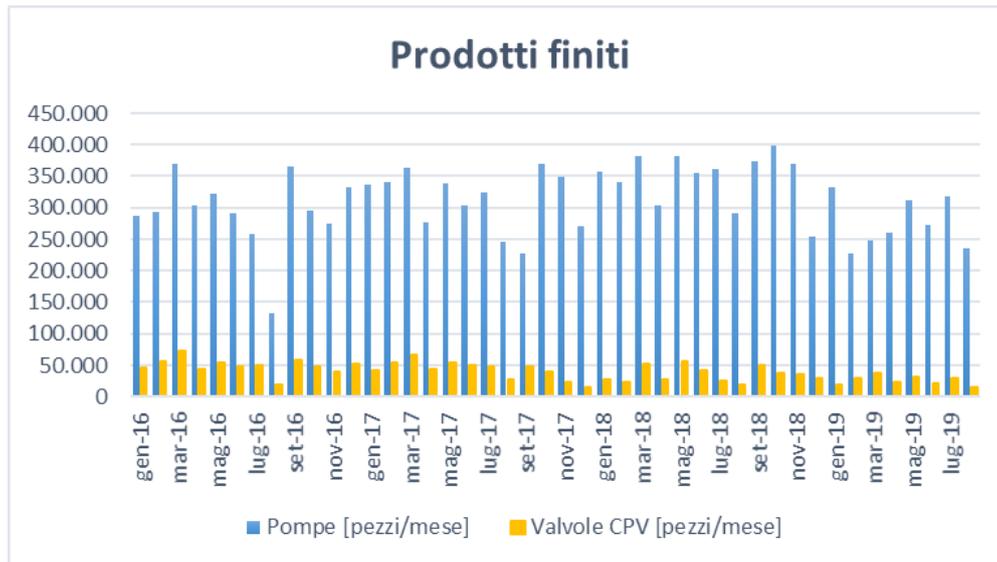


Emergono subito due andamenti diversi che accomunano due diverse coppie di semilavorati. I componenti che vantano una produzione mensile più elevata, sono gli ingranaggi, che vantano picchi fino a quasi 3 milioni di pezzi al mese, mentre boccole e corpi hanno numeri mensili sensibilmente più bassi (intorno ai 500 mila pezzi mensili). Infine, il sistema di contabilizzazione pezzi conta anche i componenti che passano nelle lavatrici industriali prima del passaggio al reparto assemblaggio, con un andamento mensile del tutto simile a quello di produzione degli ingranaggi tramite picchi superiori ai 4 milioni di pezzi al mese.

Si specifica che non è presente una corrispondenza matematica esatta tra i semilavorati e prodotto finito in quanto all'interno dello stabilimento sono presenti diverse aree buffer di stoccaggio componenti, i quali vengono prelevati all'esigenza delle richieste del cliente.

Per concludere il ciclo produttivo, si riportano i dati di fabbricazione del prodotto finito, nella figura che segue.

Figura 37: Produzione di componenti pronti per la vendita



Come già anticipato si vede come la produzione sia incentrata quasi esclusivamente sulle pompe oleodinamiche, mentre le valvole di sicurezza presentano numeri mensili di molto inferiori.

Dati di consumo elettrico: analisi di copertura

In questo paragrafo si vogliono studiare i dati dei consumi acquisiti in seguito all'attività di monitoraggio delle grandezze elettriche, per i punti dello stabilimento che si sono studiati in precedenza.

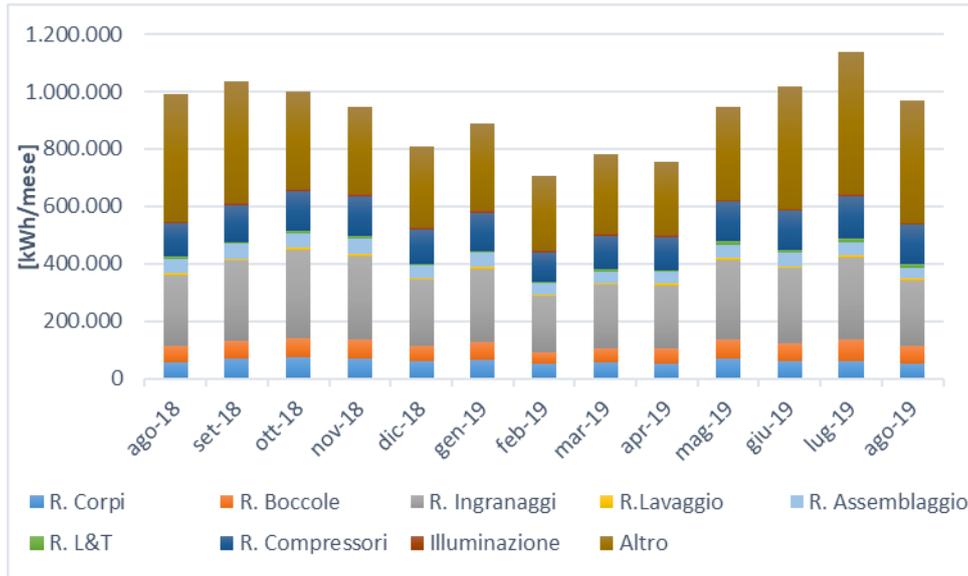
I valori di energia in kWh, calcolati dall'elaboratore di rete che aggiorna il contatore energetico progressivo per ogni punto di misura, sono stati quindi scorporati e divisi per ogni mese. Qui si sono attribuiti secondo la suddivisione di appartenenza dei macchinari di una blindosbarra ad un dato reparto, e divisi come già spiegato nel paragrafo: "Punti di misura del sistema di monitoraggio elettrico" ed in particolare nella Tabella 2. Per questo meccanismo, la somma dell'energia attiva mensile rilevata dai diversi Blindo, viene in seguito raggruppata come consumo del reparto di appartenenza. Per esempio, il consumo del reparto Ingranaggi è il risultato della somma dei misuratori sulla blindosbarra 1, 2, 3, 13, 14, mentre il consumo del reparto Boccole è la somma del totale mensile rilevato dai Blindo 7 e 10, più una certa percentuale del Blindo 6 determinata in base alla percentuale di potenza dei macchinari facenti parte del suddetto reparto. Questa tecnica di raggruppamento verrà utilizzata anche per i consumi di reparto durante l'attività di Caratterizzazione Energetica.

Si precisa che ogni sezione denominato con il nome consumo reparto, non costituisce in assoluto il reale consumo del reparto, poiché in quasi tutti i casi non è presente una copertura su tutti i macchinari realmente presenti sotto la linea di alimentazione monitorata. L'obiettivo di questo paragrafo è proprio quello di quantificare la copertura dei consumi monitorati, per poter capire se i dati sono

a sufficienza per poter in seguito sviluppare delle analisi rappresentative ed attendibili.

Si comincia con l'analisi di copertura globale dei consumi monitorati per tutte le mensilità a partire dall'installazione del sistema sotto analisi. I dati calcolati, vengono poi rapportati ai consumi globali mensili derivanti dalle fatture elettriche, tramite cui è possibile trovare per differenza la voce "Altro". I dati vengono riportati in maniera grafica per una maggiore comprensione.

Figura 38: Riepilogo copertura - confronto con valori fatturati

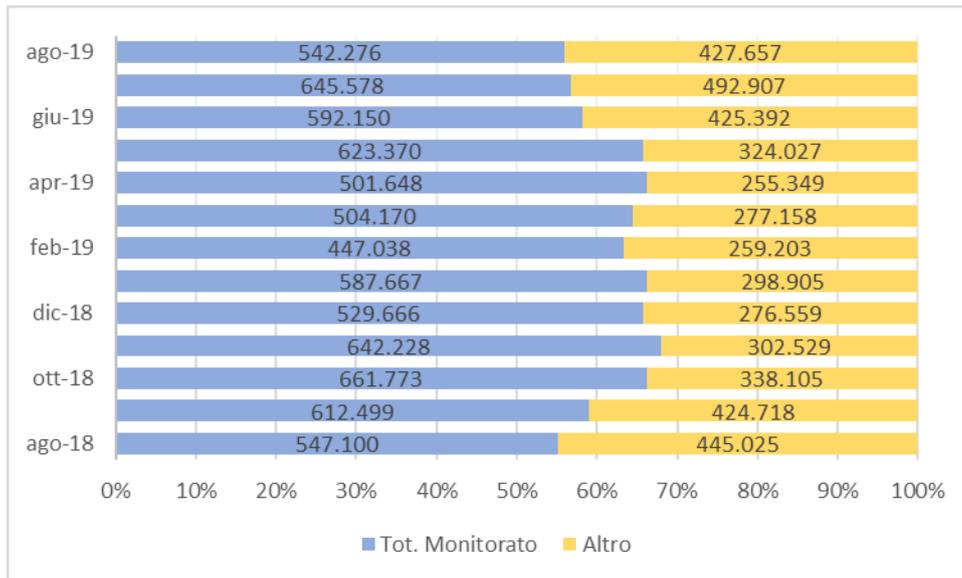


Si può notare come la voce più ampia sia la voce "Altro", in cui sono presenti non solo tutti i macchinari del reparto produttivo non coperti dal sistema di monitoraggio, ma anche tutti i restanti carichi elettrici presenti in azienda come quelli di illuminazione, climatizzazione, carichi degli uffici, aria compressa. Nella restante quota ci sono tutti i contributi dai misuratori dei vari reparti, dove la percentuale maggiore è occupata dal reparto ingranaggi, come prevedibile dall'analisi sulle potenze.

Per avere una migliore panoramica della portata dei consumi che sono stati monitorati sul totale, si può vedere in Figura 39 come la quota di energia monitorata, si attesti mediamente su valori sopra il 50% del totale consumato.

3. Sistema di Monitoraggio

Figura 39: Copertura consumi mensili su quelli fatturati



Infine, si vuole approfondire i pesi specifici di ogni reparto/linea che hanno contribuito a formare la voce “Tot. Monitorato”, tramite la tabella seguente.

Tabella 3: Percentuali di copertura mensili per reparto

Mese	R. Corpi	R. Boccole	R. Ingranaggi	R. Lavaggio	R. Assemblaggio	R. L&T	R. Compressori	Illum.
ago-18	10,4%	10,8%	44,8%	1,1%	9,5%	1,1%	21,1%	1,3%
set-18	11,0%	10,7%	45,2%	1,1%	8,7%	0,7%	21,0%	1,5%
ott-18	11,3%	10,0%	46,4%	1,1%	7,8%	1,1%	20,6%	1,7%
nov-18	11,1%	9,9%	45,6%	1,1%	8,1%	1,2%	21,6%	1,4%
dic-18	11,3%	9,9%	43,9%	1,1%	7,9%	1,0%	22,9%	2,0%
gen-19	11,4%	10,3%	43,4%	1,2%	8,3%	1,0%	23,0%	1,5%
feb-19	11,1%	9,8%	43,4%	1,2%	8,8%	1,3%	22,7%	1,7%
mar-19	11,3%	9,3%	43,9%	1,3%	7,9%	1,7%	22,8%	1,7%
apr-19	10,1%	10,7%	44,0%	1,1%	8,1%	1,6%	23,0%	1,5%
mag-19	10,8%	10,7%	44,7%	1,0%	7,6%	1,8%	22,0%	1,4%
giu-19	10,3%	10,6%	44,1%	1,1%	7,9%	2,0%	22,7%	1,4%
lug-19	9,4%	11,7%	44,4%	1,1%	7,1%	1,8%	23,2%	1,4%
ago-19	9,4%	11,4%	42,1%	1,2%	6,8%	2,3%	25,4%	1,4%

Anche la Tabella 3 conferma il reparto ingranaggi come il più energivoro, seguito dai reparti per la fabbricazione di Boccole e Corpi, come confermato dall’analisi delle potenze. Non è possibile invece fare una valutazione sulla copertura del sistema, rispetto i consumi totali dell’intero reparto produttivo, essendo questo dato incognito e di stima difficoltosa. Dagli studi fatti fino ad ora si può però concludere che i dati derivanti dal sistema di monitoraggio, sono sufficienti per effettuare valide considerazioni per parti del SGE come la caratterizzazione energetica.

Verrà comunque effettuata una valutazione della possibile estensione del sistema di monitoraggio nel capitolo dedicato ai miglioramenti consigliati.

4. Caratterizzazione Energetica

4.1. Teoria e inquadramento normativo

In questo capitolo verranno analizzati gli aspetti legati alla Caratterizzazione Energetica dei consumi di Energia Elettrica e Gas Naturale dello stabilimento ZF.

Per caratterizzazione energetica si intende l'implementazione di un modello matematico basato sui consumi energetici passati di un sistema, per la costruzione di un riferimento con cui confrontare i consumi futuri. La tecnica che si utilizzerà è quella di *Energy Monitoring & Targeting*, che permette la gestione dei consumi misurati in un sistema: in primo luogo si stabilisce dai dati di consumo passati, una base di previsione per i consumi futuri. In seguito, si trovano le differenze tra previsione e i dati di consumo derivati e secondo valutazioni statistiche si determina l'accettazione o meno di tali scostamenti. Infine, si individuano le cause di differenze inaccettabili e si aggiorna il modello con azioni di miglioramento del modello energetico [4].

Da quanto detto fino ad ora, si possono notare molte analogie con quello che è definito nella fase di Pianificazione della normativa ISO 50001. Come già anticipato infatti, la norma non si sofferma sulle tecniche e attività da effettuare, ma piuttosto sul modus operandi da sviluppare. In tale senso, nella prima fase del ciclo PDCA, l'ISO 50001 definisce il concetto di Energy Review, che consiste nell'analisi dell'uso e consumo energetico dell'azienda, l'identificazione delle aree ad uso significativo di energia (SEU²²), e l'identificazione di opportunità di miglioramento della prestazione energetica.

Per la conformità all'Energy Review, è necessario costruire una Energy Baseline, che è la misura della prestazione energetica della società che richiede la certificazione, da cui successivamente bisogna estrarre degli indicatori di prestazione detti EnPIs²³. Il modello matematico che verrà illustrato in seguito, avrà la funzione di Energy Baseline per il sito di Ostellato, dato che permetterà di misurare la prestazione energetica e i suoi cambiamenti nel tempo, e sarà utilizzato per il calcolo degli EnPI [2].

Riassumendo in questo capitolo verrà mostrato come è possibile caratterizzare energeticamente un sistema, che si tratta di una fase molto delicata per il conseguimento alla certificazione. Essa verrà costruita stabilendo delle relazioni tra i consumi energetici ed alcune variabili che li influenzano dette Energy Drivers. Queste relazioni dovranno in seguito trovare validità statistica per poter essere utilizzate per la valutazione della prestazione energetica di un processo.

Questa analisi statistica permette infatti di ottenere una caratterizzazione della prestazione da dati di consumo generali e di osservare i suoi cambiamenti nel tempo, ma non sempre fornisce indicazioni precise sulla causa specifica di tali deviazioni, che possono derivare da cambiamenti degli impianti oppure da una

²² Significant Energy Use

²³ Energy Performance Indicator

differente gestione di essi. Per questo motivo verrà illustrata in seguito tramite un esempio applicativo, l'analisi deterministica, che è un metodo il quale approfondisce lo studio dei consumi e degli Energy Drivers da misure dirette alle singole macchine, senza passare dunque attraverso previsioni. Quest'ultima è utile a caratterizzare i processi la cui fisica non fornisce indicazioni sull'efficienza energetica di un sistema, ma verrà utilizzata anche come complemento all'analisi statistica, per districarsi dalla complessità di processi e attività, approfondendo il controllo sulle prestazioni energetiche.

Si vuole sottolineare come la necessità di avere i dati di consumo dei vettori energetici sempre aggiornati, richieda intrinsecamente la presenza di una sistema di monitoraggio. Lo sviluppo del modello energetico per ZF Automotive Italia utilizzerà proprio i dati estrapolati dai misuratori descritti nel capitolo precedente, senza i quali sarebbe impossibile sviluppare l'analisi statistica. Inoltre, in questo modo la caratterizzazione può essere dettagliata al reparto, operazione utile non solo per fornire un quadro più specifico di ogni sotto area ad attività diversa, ma anche in un'ottica del controllo di gestione energetico, come verrà specificato nel capitolo specifico.

Altri dati essenziali per lo sviluppo della caratterizzazione energetica sono gli Energy Drivers e anch'essi devono essere aggiornati con la stessa frequenza con cui vengono assunti i dati di consumo. I drivers sono di natura diversa e possono provenire da informazioni di produzione, informazioni occupazionali del sito e dati ambientali. La difficoltà è stata ottenere le informazioni sui consumi e sui drivers sincronizzate nel tempo.

Verranno approfondite le logiche di scelta ed acquisizione degli energy drivers nel paragrafo successivo.

4.2. Ricerca degli Energy Drivers

La ricerca delle variabili che influenzano gli utilizzi di energia è un passo fondamentale per l'avviamento della caratterizzazione energetica di un sistema: infatti esprimere i consumi energetici nel tempo in funzione degli energy drivers consente di ottenere degli strumenti per la previsione della prestazione energetica. Ognuna delle variabili di consumo può dipendere da una o più variabili indipendenti, secondo un legame detto correlazione.

I drivers dipendono sovente dal tipo di attività a cui appartiene il processo utilizzato. Per una realtà industriale come lo stabilimento di ZF, l'ED usato più spesso è la produzione. Esso è espresso in diversi modi, a seconda delle caratteristiche del prodotto finale. Nel caso in esame, esso verrà espresso in termini di numero di pompe prodotte al mese, dato che esse sono tutte di dimensioni e pesi simili. In altri casi risulta più opportuno esprimere il prodotto finito in termini di peso, superfici o volumi mensili. Nel dettaglio, la produzione verrà correlata con i consumi di energia elettrica da forza elettromotrice utilizzata dai macchinari del reparto produttivo, mentre in taluni casi, per caratterizzare i reparti specifici, al posto dei dati di produzione del prodotto finito, verranno utilizzati i dati di produzione dei semilavorati come Corpi,

Boccole, Ingranaggi. Meno utilizzati invece sono i dati di consumo delle materie prime, in questo caso alluminio e acciaio, in quanto più difficilmente correlabili statisticamente.

Altri Energy Drivers che vengono utilizzati di solito per i consumi elettrici sono i dati occupazionali e alcuni parametri climatici. Per i primi si intendono i Giorni Lavorati mensili, oppure in alternativa i Turni Lavorati, ma essendo lo stabilimento aperto per sei giorni a settimana con quattro turni per giorno, statisticamente parlando non c'è differenza tra le due variabili. Le analisi condotte con queste due variabili indipendenti però non hanno prodotto nel caso in esame risultati validi. Il motivo può risiedere nel fatto che nel conteggio dei giorni non è stata considerata la differente forza lavoro che può esserci tra un giorno lavorativo e l'altro.

Per tenere conto invece della stagionalità del consumo elettrico, si ricorrerà al calcolo dei Gradi Giorno estivi medi giornalieri, calcolati come la somma delle differenze positive mensili tra la temperatura media giornaliera della località di Ferrara e una temperatura di set point dell'impianto di climatizzazione di 18 °C. La scelta di questo valore è stata effettuata in quanto non si disponeva di dati migliori riguardo il sistema di condizionamento, ed è un valore empirico che riesce a dare spiegare in modo efficace i consumi legati al clima. Innanzitutto, se si utilizzasse la reale temperatura di set point del sito, si troverebbe una temperatura intorno ai 26°C. In questo modo il valore dei gradi giorno estivi sarebbe praticamente nullo perché la temperatura media esterna raramente supera i 25 °C. Per migliorare la stima dell'energy driver climatico bisognerebbe conoscere la temperatura esterna almeno con cadenza oraria, la temperatura dell'aria condizionata all'uscita della batteria fredda, la frazione di portata ricircolata e gli orari di accensione e spegnimento.

Questa variabile si dimostrerà comunque molto utile in quanto non monitorando i carichi elettrici per il condizionamento estivo degli ambienti, bisognerà togliere questa influenza dai carichi totali di stabilimento tramite una correlazione multipla.

Infine, per quanto riguarda i carichi di illuminazione, essi verranno caratterizzati tramite la variabile variazione di ore buio (VOB). Quest'ultime vengono calcolate a partire dalle ore buio, ossia le ore di un giorno meno la differenza tra l'ora di tramonto e l'ora di alba medie mensili in un sito posto ad una certa latitudine. Per ottenere le VOB invece bisogna sottrarre alle ore buio mensili, quelle del mese con meno ore buio dell'anno, il quale viene assunto come riferimento.

Per quanto riguarda il gas naturale invece, si è scelto di usare come driver i gradi giorno invernali. Essi, analogamente a quanto visto per quelli estivi, sono calcolati come la somma tra le differenze positive mensili tra una temperatura interna di 18 °C, tipico set point dei capannoni industriali, e la temperatura media giornaliera della località ospitante il sistema sotto esame. Questa variabile infatti è spesso utilizzata per caratterizzare i consumi da riscaldamento degli ambienti, essendo un indice di quanto freddo sia un mese.

L'obiettivo è quindi quello di trovare significatività nella relazione lineare tra le variabili dipendenti costituite dai consumi energetici, e le variabili indipendenti costituito dagli Energy Drivers. Per ognuna di queste correlazioni, verrà

effettuata una valutazione statistica della bontà del legame tra variabili, esplicita tramite il coefficiente di correlazione²⁴ (R) o il coefficiente di determinazione²⁵ (R²). Se il risultato della correlazione sarà positivo, si otterrà un'equazione del tipo:

$$C = C_0 + c_1 \cdot ED_1 + c_2 \cdot ED_2 \dots \quad (1)$$

I coefficienti dell'equazione (1) dovranno anch'essi essere validati statisticamente. Tra questi si distinguono C_0 che è conosciuto come intercetta e i vari coefficienti di pendenza. Questi coefficienti danno indicazioni importanti nel caso in cui la correlazione sia significativa: l'intercetta assume il significato di consumo energetico a produzione nulla, cioè una quota fissa di consumo presente a prescindere dal livello produttivo. La pendenza, misurata in unità energetica su volume produttivo, è appunto l'incremento di energia necessaria per la produzione di un'ulteriore unità. Dalla definizione si può già subito notare come possa essere legato all'efficienza energetica di un processo. La caratterizzazione energetica finale sarà costituita da una o più equazioni come la (1). [4]

Nel prossimo paragrafo verranno presentate le correlazioni effettuate per la costruzione del modello energetico di ZF Automotive Italia.

4.3. Analisi statistica

In questo paragrafo verranno riportati i calcoli effettuati per l'implementazione della caratterizzazione energetica tramite l'analisi statistica descritta in precedenza. In particolare, si cercherà di correlare linearmente i campioni dei consumi delle aree ad uso significativo di energia, con i più appropriati Energy Drivers, tramite il processo di regressione lineare.

Si partirà con i consumi di energia elettrica, per poi finire con l'analisi dei consumi di gas naturale.

Consumi di energia elettrica totali di stabilimento

I dati di consumo per l'intero stabilimento sono disponibili dalle fatture dell'energia elettrica. All'interno di essi sono contenute tutte le informazioni sull'utilizzo energetico di ogni dispositivo elettrico acceso nel periodo di analisi all'interno dallo stabilimento, dai carichi per la produzione, a quelli per la climatizzazione degli ambienti, senza scordare tutti i carichi elettrici ausiliari alla produzione e quelli dovuti agli uffici. Per questo motivo la scelta dei driver risulta

²⁴ R: coefficiente o indice di correlazione di Pearson, esprime la correlazione lineare tra due variabili. Assume valori tra -1 e 1, dove il primo indica una correlazione lineare negativa, il secondo una correlazione lineare positiva. Se R=0 invece, c'è assenza di correlazione lineare.

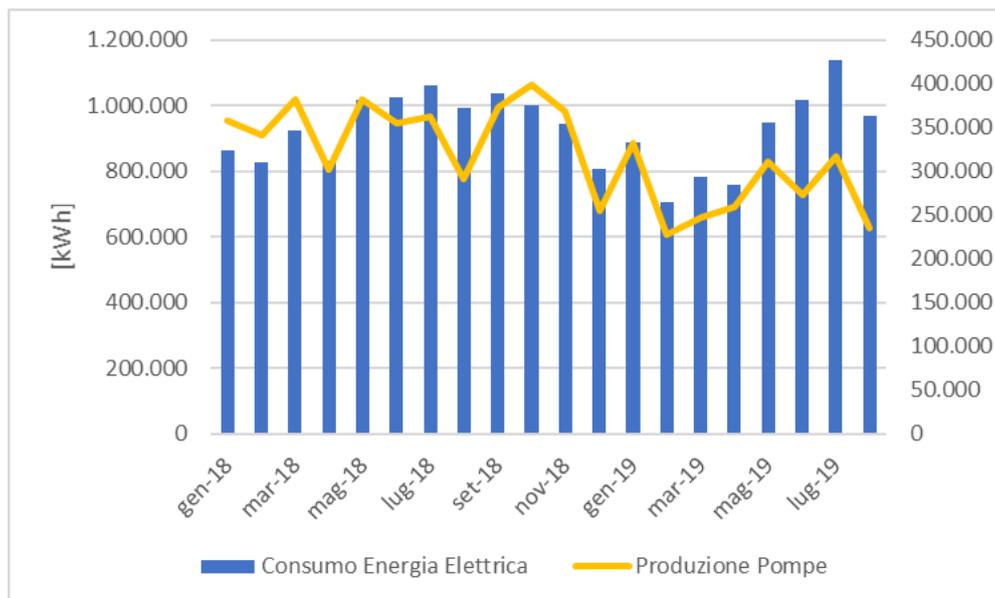
²⁵ R² è "una proporzione tra la variabilità dei dati e la correttezza del modello statistico utilizzato". (Wikipedia). Nel caso di correlazione lineare semplice coincide con il quadrato del coefficiente di correlazione

4. Caratterizzazione Energetica

ardua in questi casi e si è dovuto procedere a tentativi. Dopo un primo tentativo di correlazione con i giorni lavorati non rappresentativo, si è provato con la produzione, dal momento che la maggior parte dei consumi di energia elettrica è speso per la fabbricazione delle pompe. I dati del driver produzione erano disponibili solamente a partire dal 2018 con cadenza mensile, per cui il periodo di analisi parte da gennaio 2018 fino ad agosto 2019, per un totale di 20 mensilità.

Nella figura sottostante si riportano gli andamenti delle variabili dipendenti e indipendenti.

Figura 40: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione

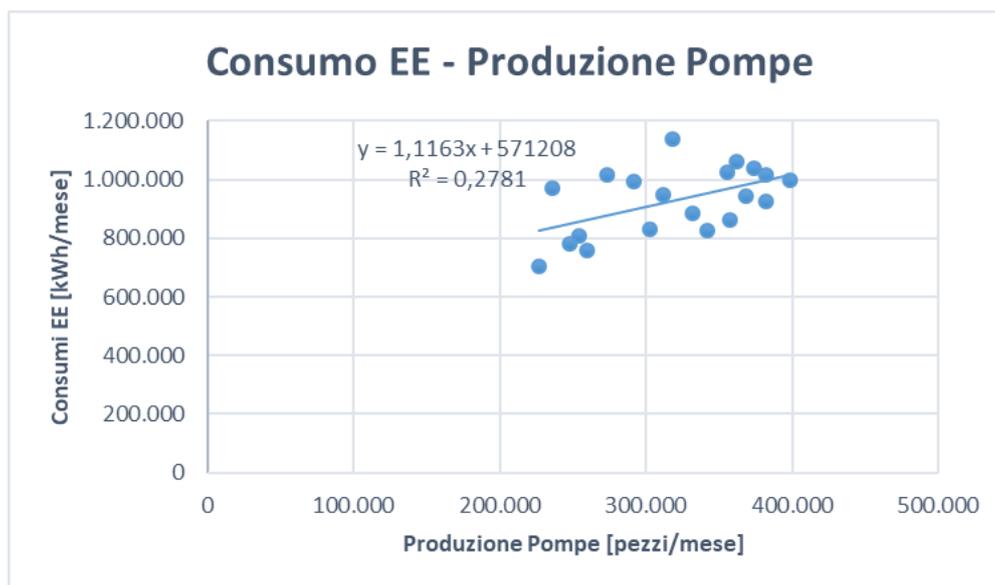


Si nota come i due andamenti spesso siano differenti, soprattutto nei mesi estivi. Questo potrebbe essere dovuto ad una maggiore incidenza dei carichi elettrici per il raffrescamento estivo nel mix di consumi nei periodi di condizionamento ambienti. Non ci si aspettano quindi dei buoni risultati di correlazione tra queste due variabili, come si può notare nei contenuti sottostanti.

Tabella 4: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R²	Co	c₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,278135	0,238031	571208,1	1,11627
p-value	1,69%	-	1,69%	0,00%

Figura 41: Interpolazione lineare dei dati campione – Intero Stabilimento



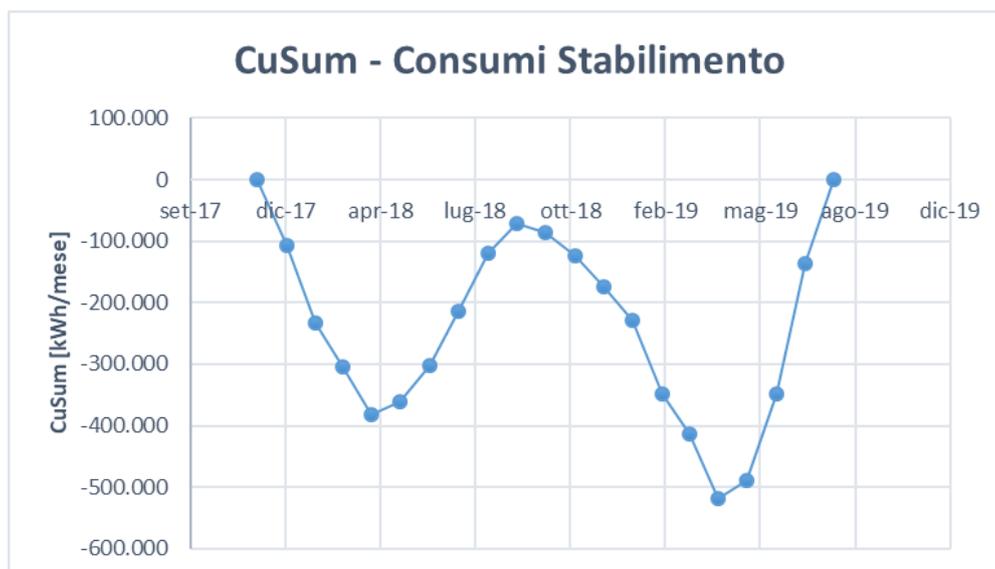
L'elevata dispersione dei campioni infatti determina un coefficiente di correlazione lontano dal valore unitario, a testimonianza della scarsa correlazione tra le due variabili. I coefficienti della retta sono costituiti dall'intercetta C_0 , e la pendenza c_1 e nonostante i rispettivi p-value²⁶ siano soddisfacenti non possono essere ritenuti significativi.

Per la valutazione dei cambiamenti nel tempo della prestazione energetica e quindi della caratteristica energetica, si fa uso del diagramma CuSum. Esso si ottiene cumulando le somme dei residui tra i consumi effettivi e quelli previsti dal modello matematico trovato, e permette di individuare graficamente i nodi, cioè i mesi in cui potenzialmente è avvenuta la variazione dell'uso energetico.

Nel dettaglio utilizzeremo in questo caso il diagramma CuSum invece per individuare i periodi a prestazione energetica differente, per poi avere la possibilità di approfondire la correlazione dei consumi di stabilimento.

²⁶ Il p-value è un indice percentuale utilizzato per la verifica della significatività di un test di ipotesi per rifiutare un'ipotesi nulla fissando un errore massimo tollerabile del 5%. Se il valore del p-value risulta inferiore α imposto, si ha sufficiente evidenza statistica per rifiutare l'ipotesi nulla. [4]

Figura 42: Diagramma CuSum



Dal diagramma emerge subito come esistano quattro diverse pendenze della curva, simili a due a due. I punti a pendenza negativa corrispondono infatti ai mesi invernali del 2018 e 2019, mentre quelli a pendenza positiva corrispondono ai mesi estivi. Risulta chiara la necessità di tenere conto di questa stagionalità nel consumo e si procede dunque tramite un'analisi di correlazione multivariabile aggiungendo alla produzione anche il driver gradi giorno estivi.

Prima di procedere con i calcoli però, bisogna effettuare la verifica per escludere la potenziale presenza di multicollinearità tra i due Energy Drivers, che renderebbe non significativa la regressione multipla. Per scongiurare questa possibilità si procede effettuando una regressione tra le due variabili e solamente se la relazione non presenta evidenza di correlazione lineare si può escludere il fenomeno. Per avere una panoramica globale delle relazioni tra le tre variabili, si riporta nella Tabella 5, la matrice degli energy drivers, dove sopra la diagonale unitaria si riportano i p-value sulla correlazione delle rispettive variabili, mentre sotto la diagonale i valori dei coefficienti di correlazione corrispondenti.

Tabella 5: Matrice degli energy drivers

	V [pezzi/mese]	GGe [°C/mese]	C [kWh/mese]
V [pezzi/mese]	1	80,97%	1,69%
GGe [°C/mese]	0,05750	1	0,01%
C [kWh/mese]	0,52738	0,75274	1

Dalla matrice si nota che il p-value tra la variabile produttiva V e la variabile gradi giorno estivi GGe, è significativamente maggiore del 5%, a testimonianza della mancanza di correlazione tra i due drivers. Eliminata la possibile multicollinearità, si nota una marcata e significativa correlazione tra i gradi

giorno estivi e i consumi (C) di energia elettrica da fattura, mentre sono confermate le indicazioni statistiche effettuate in precedenza tra consumi elettrici e volumi produttivi.

Si procede dunque alla regressione multipla, i cui risultati sono riportati in tabella sottostante. Non si riporta invece il grafico con l'interpolazione dei punti campione: infatti essendo una correlazione multivariabile che geometricamente corrisponde a un piano, si rende più difficoltosa la rappresentazione grafica.

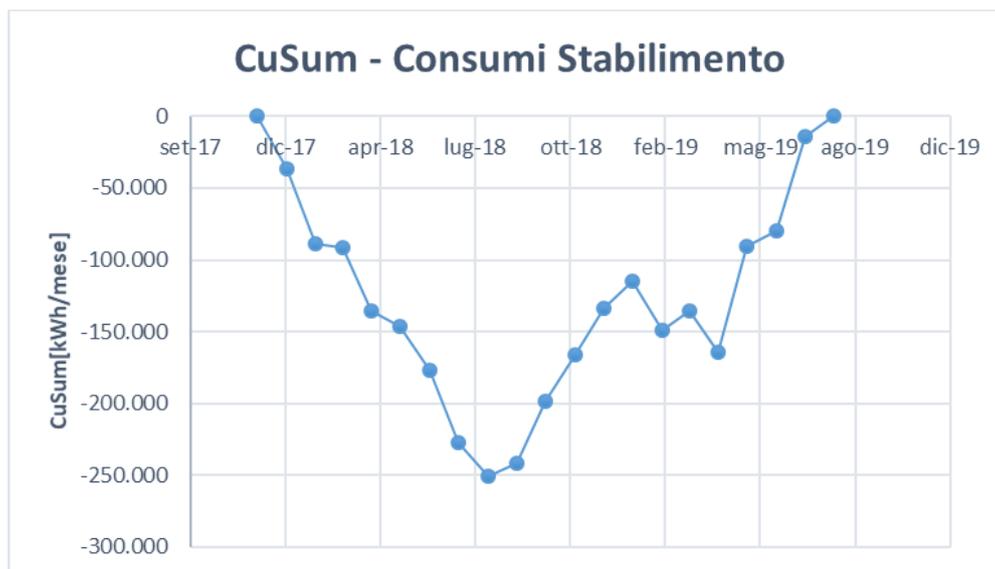
Tabella 6: Dati statistici di regressione lineare multipla

	R	R ²	C ₀	c ₁	c ₂
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/°C]	[kWh/pezzo]
valore	0,945182	0,893368	465518,9	636,2736	1,211896
p-value	5,46E-09	-	1,77E-07	1,78E-08	1,44E-06

Si nota un netto miglioramento della caratterizzazione complessiva grazie ai due energy drivers utilizzati. Questo cambiamento fa variare anche i coefficienti C₀ e c₁ rispetto alla regressione semplice effettuata in precedenza. Si può assumere l'equazione $C = 465519 + 636,3 \cdot GG_e + 1,21 \cdot V$ riportata di sotto come la caratteristica energetica globale dello stabilimento grazie ad una sufficiente evidenza statistica.

A questo punto, avendo definito una baseline, si può costruire nuovamente il CuSum per la valutazione di eventuali cambiamenti nella prestazione energetica all'interno del periodo di riferimento.

Figura 43: Diagramma CuSum per i consumi di Energia Elettrica nel periodo di analisi



Dal diagramma emerge un potenziale cambiamento evidenziato dal nodo in concomitanza con il mese di agosto 2018. Infatti, il grafico è idealmente dividibile in due rette a diversa pendenza che si incrociano nel nodo di agosto, il che implicherebbe due periodi a diversa prestazione energetica. Prima di confermare questa ipotesi bisogna effettuare un test di ipotesi F di Fisher sulle varianze dei

campioni dei due periodi e un test di ipotesi t di Student sull'uguaglianza delle medie dei due campioni. In altri termini si sta cercando di verificare se le due serie presentano una probabilità soddisfacente (si impone il solito errore del 5%) di avere medie e varianze diverse. Nel caso la statistica lo confermasse, si può ritenere veritiero il cambiamento a seconda che o le medie o le varianze risultino significativamente diverse.

Si tralasciano i passaggi dei due test di ipotesi sui due campioni, che risultano avere due medie diverse per il test t: si ha la conferma di un cambiamento ad Agosto 2018.

Per comprendere meglio l'entità del cambiamento, si può ricostruire la caratteristica energetica secondo i campioni di un periodo della serie, scelto come quello più recente stabile. Si effettuerà in tale senso la caratterizzazione del primo periodo per valutare i cambiamenti avvenuti nel secondo periodo, ma nel caso si volesse utilizzare il CuSum per monitorare le prestazioni future dello stabilimento, conviene invece utilizzare la caratteristica sul secondo periodo che è quello più recente.

Si riportano i risultati della nuova regressione multipla sui consumi del primo periodo.

Tabella 7: Dati statistici regressione lineare multipla sul primo periodo

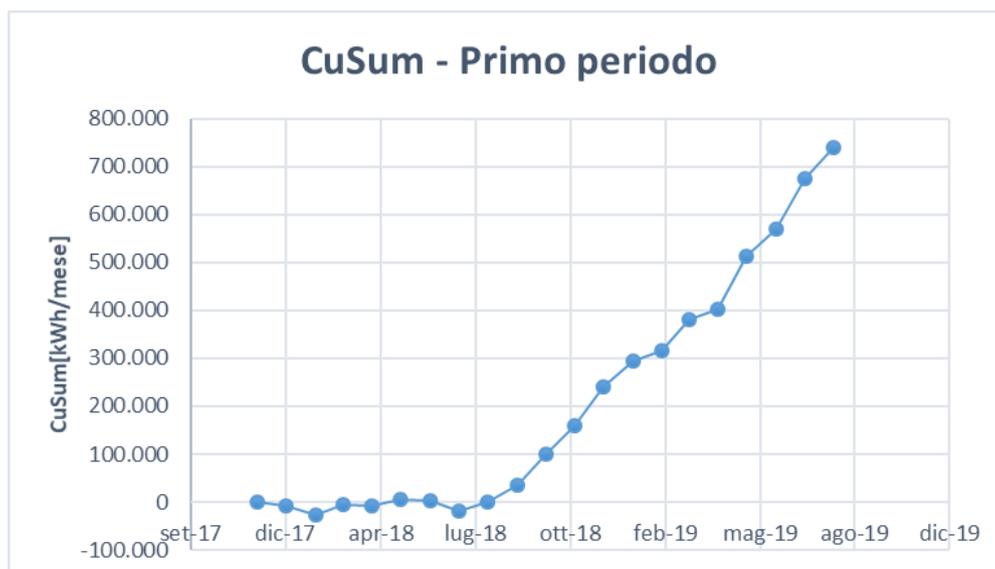
	R	R²	C₀	c₁	c₂
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/°C]	[kWh/pezzo]
valore	0,983823	0,967907	363383,8	637,8128	1,415526
p-value	1,85E-04	-	6,94E-03	7,98E-05	1,67E-03

Dai dati statistici si nota rispetto alla regressione precedente un'ancora più forte correlazione, sottolineata da alti valori di R e R², ad una diminuzione dell'intercetta, ed un leggero incremento dei coefficienti interpolatori.

Diagrammando il CuSum sull'intero periodo secondo la caratteristica del primo periodo, si possono quantificare i risparmi/consumi aggiuntivi derivanti dal cambiamento di prestazione. Il risultato in questo caso è di un aumento dei consumi, come evidenziato nella figura sottostante.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 44: CuSum sulla caratteristica del primo periodo



Il consumo aggiuntivo a parità di variabili produttive e ambientali è di circa 740.000 kWh per il peggioramento delle prestazioni nei 12 mesi successivi al primo periodo. Questa perdita energetica, che con un prezzo medio aziendale di acquisto dell'energia elettrica di 0,13 €/kWh al netto dell'IVA, corrisponde ad una perdita economica di circa 96200 €. Per vedere in che modo è cambiata la caratteristica, si riporta anche la caratteristica energetica del secondo periodo.

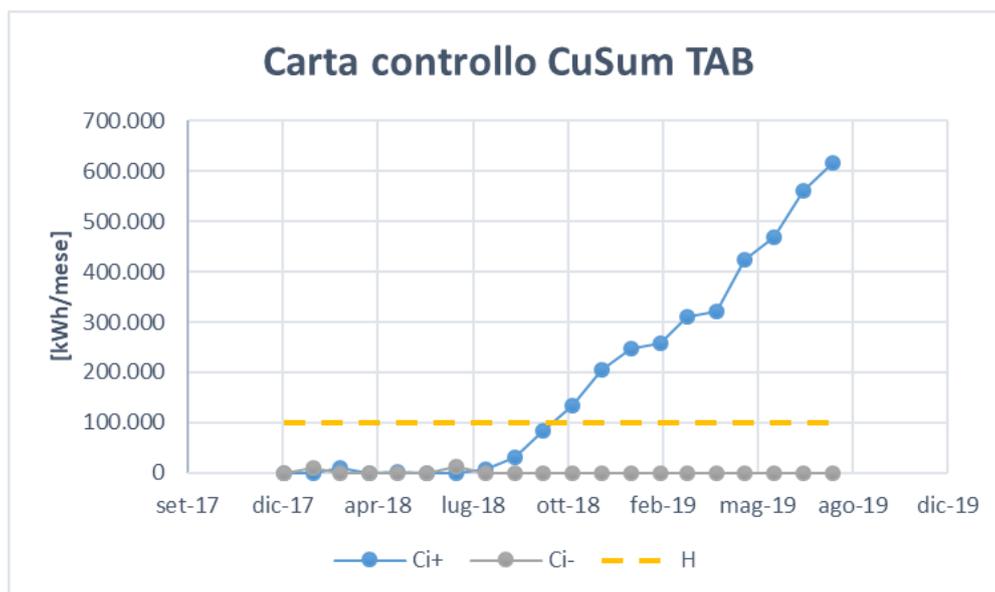
Tabella 8: Dati statistici regressione lineare multipla sul periodo di setup

	R	R ²	C ₀	c ₁	c ₂
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/°C]	[kWh/pezzo]
valore	0,977915	0,956319	396668,5	690,4245	1,492162
p-value	7,61E-07	-	1,83E-05	1,46E-06	4,96E-06

Dal confronto tra le due tabelle emerge che il secondo periodo meno performante riporta una quota fissa nettamente maggiore, ma anche i coefficienti delle pendenze maggiori, a testimonianza di un peggioramento globale dell'efficienza energetica.

Viene spontaneo chiedersi se ci si poteva accorgere tempestivamente di questo peggioramento, allo scopo di analizzare la situazione ed eventualmente intervenire. In tale direzione esistono delle tecniche per il controllo dei consumi futuri, le carte di controllo, le quali servono ad identificare dei cambiamenti della prestazione energetica. A titolo di esempio si riporta la carta di controllo CuSum Tabulare, simulando un aggiornamento dei dati sui mesi successivi ad agosto 2018, per constatare se fosse stato possibile notificare l'allarme in precedenza.

Figura 45: Carta di Controllo CuSum Tabulare



L'allarme per una deviazione fuori dal normale si ha quando una delle due statistiche Ci+ o Ci-, superano il valore della banda limite H. Dal grafico si evidenzia quindi un fuori controllo a partire da novembre 2018, che equivale a dire che si poteva cominciare a prendere misure per studiare il cambiamento con tempestività già da quel mese.

Il difetto del CuSum e della sua relativa carta di controllo è proprio quello di non fornire indicazioni sulle cause del cambiamento. Quello che si può fare tramite l'analisi statistica invece è quello di entrare nel dettaglio del modello, passando dal globale fino ad arrivare alle diverse aree di attività diversa aziendale, per avere una direzione da seguire nella ricerca del cambiamento.

Si utilizzeranno a tal proposito i dati di consumo elettrico derivanti dal sistema di monitoraggio installato, per poter separare le aree a diversa attività, ma le modalità di applicazione rimangono le stesse.

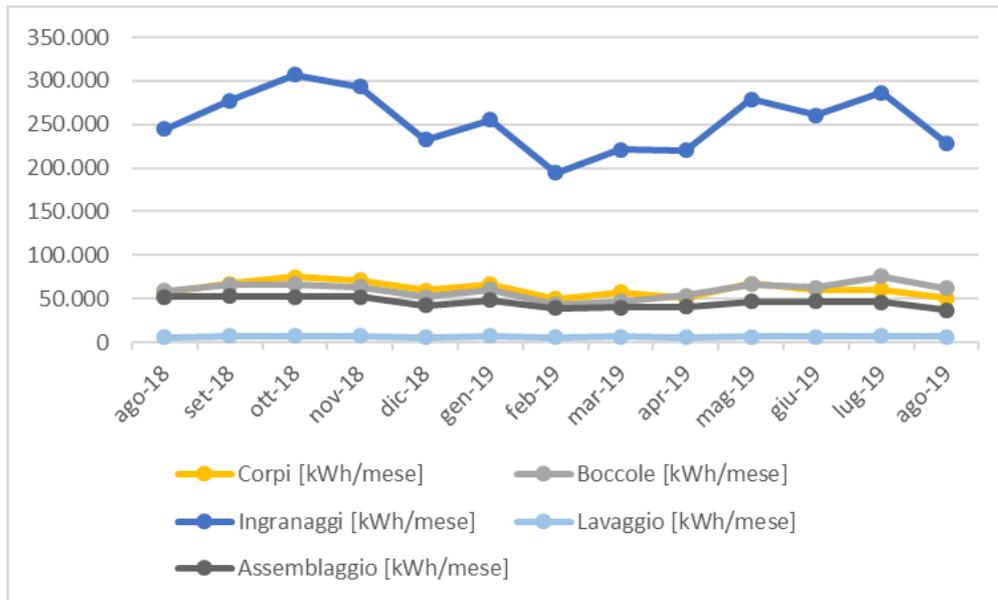
Seguono i paragrafi con le caratterizzazioni dei vari reparti aziendali.

Consumi reparto produttivo

I consumi del reparto produttivo sono calcolati come somma di tutti i consumi coperti dal sistema di monitoraggio nei reparti aziendali: Corpi, Boccole, Ingranaggi, Lavaggio ed Assemblaggio. Purtroppo, il periodo per cui erano disponibili i dati dal sistema di monitoraggio è ridotto rispetto a quello analizzato in precedenza: si parla di 13 mesi, da agosto 2018 ad agosto 2019. Dalla figura riportata in seguito, emerge come il reparto che conferisce un contributo maggiore al totale dei consumi è quello di fabbricazione degli ingranaggi.

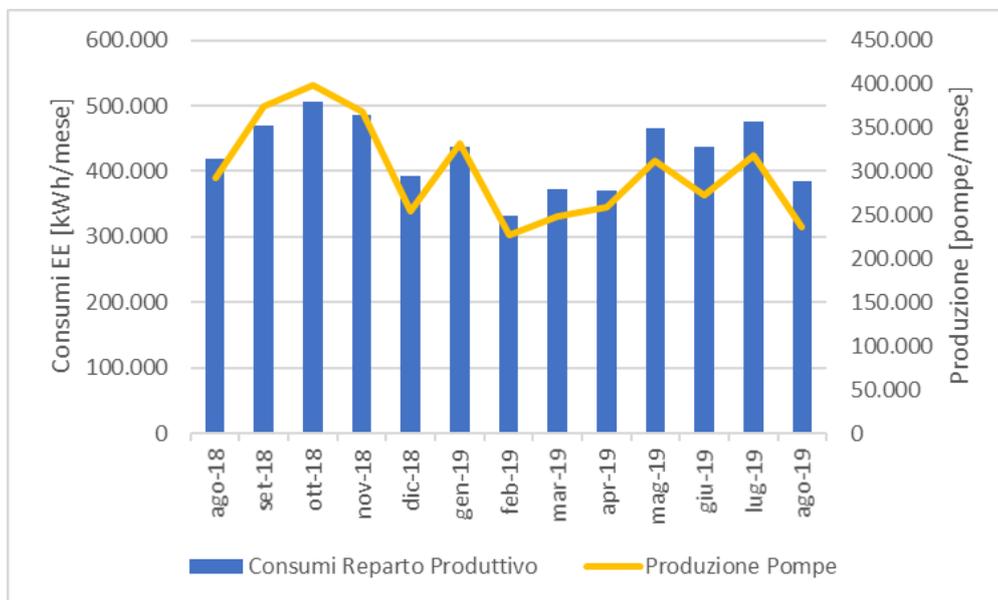
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 46: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi



Escludendo anche in questo caso l'energy driver giorni lavorati per mancanza di significatività dei risultati, viene spontaneo proporre come variabile indipendente la produzione di pompe. Si riporta innanzitutto un confronto generale tra gli andamenti di consumo e quelli di produzione nel periodo di analisi tramite la Figura 47.

Figura 47: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



Si nota come i consumi seguano in modo fedele la produzione, ad eccezione degli ultimi mesi del periodo considerato dove sembrano invece eccedere rispetto ai profili del driver delle mensilità precedente. Prima di poter valutare un possibile cambiamento bisogna però procedere con la caratterizzazione energetica.

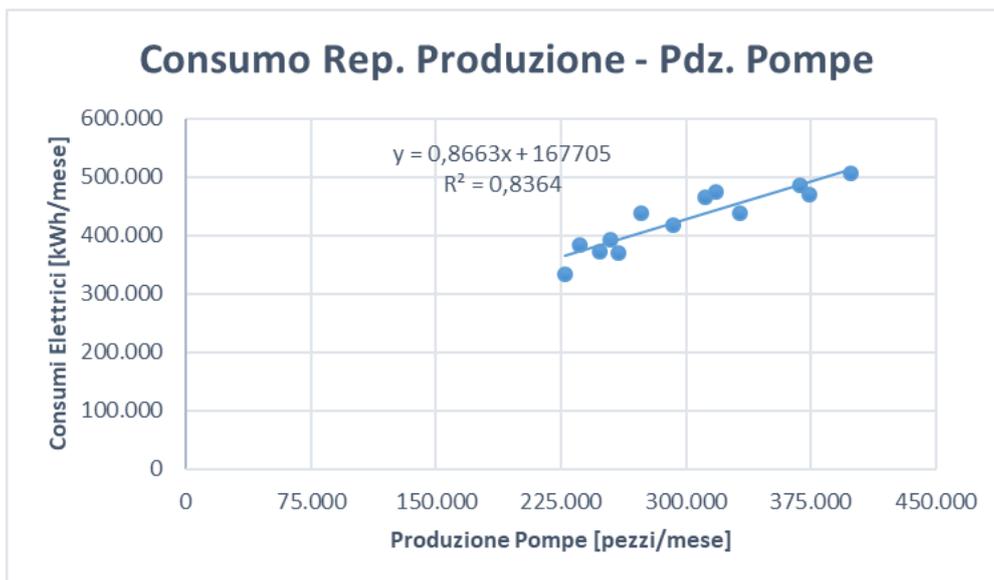
I risultati che si ottengono sono infatti molto buoni e trovano evidenza statistica per il proseguimento dell'analisi.

4. Caratterizzazione Energetica

Tabella 9: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,914557	0,836414	167704,8	0,866343
p-value	1,20E-05	-	5,79E-04	1,20E-05

Figura 48: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto produttivo

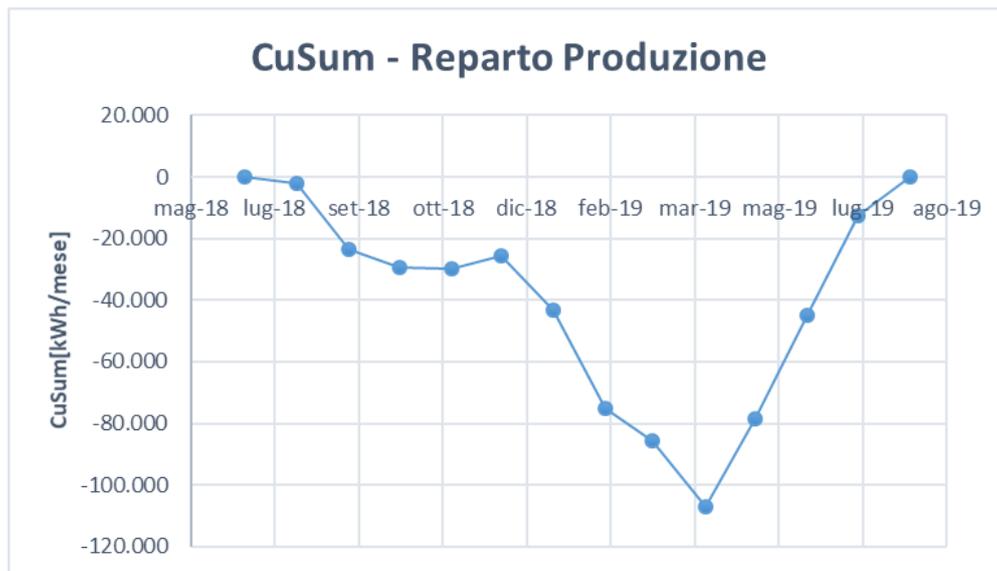


La disposizione dei campioni mette in evidenza i buoni dati statistici che confermano la caratteristica energetica che viene dunque adottata per il reparto produttivo.

Analogamente a quanto effettuato nel paragrafo precedente, una volta definita la caratteristica si procede con la stesura del diagramma CuSum per la valutazione di eventuali cambiamenti nel consumo elettrico a ridosso delle mensilità.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 49: Diagramma CuSum



Si scopre un andamento simile a quello osservato per i consumi dell'intero stabilimento, stavolta ad aprile 2019, come emergeva già dalla Figura 47. Anche in questo caso, il nodo risulta verificato dal test di ipotesi t di Student sulla diversità delle medie dei campioni dei due periodi.

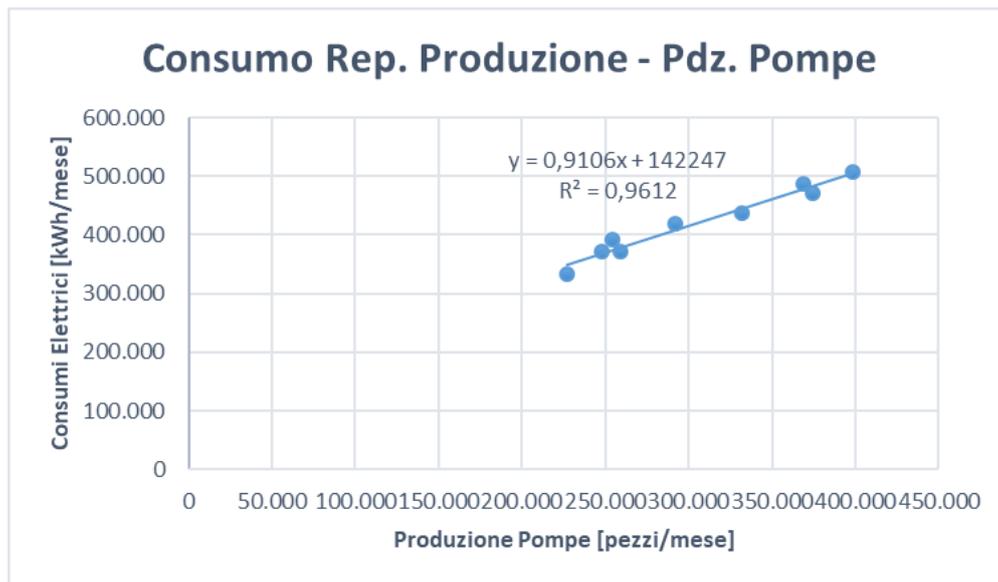
Si caratterizzano i consumi di reparto secondo la caratteristica del primo periodo in quanto il secondo presenta una numerosità dei campioni bassa (4 punti). I risultati sono riportati di seguito.

Tabella 10: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup

	R	R²	C₀	c₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,98042	0,961224	142247,1	0,910616
p-value	3,39E-06	-	3,05E-04	3,39E-06

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 50: Interpolazione lineare dei dati campione – Periodo di setup



Il fitting dei dati è avvenuto con successo, con valori degli indicatori statistici ancora migliori. Si riportano anche i risultati della caratteristica del secondo periodo, meno significativa per la bassa numerosità dei campioni.

Tabella 11: Dati statistici regressione lineare semplice sul secondo periodo

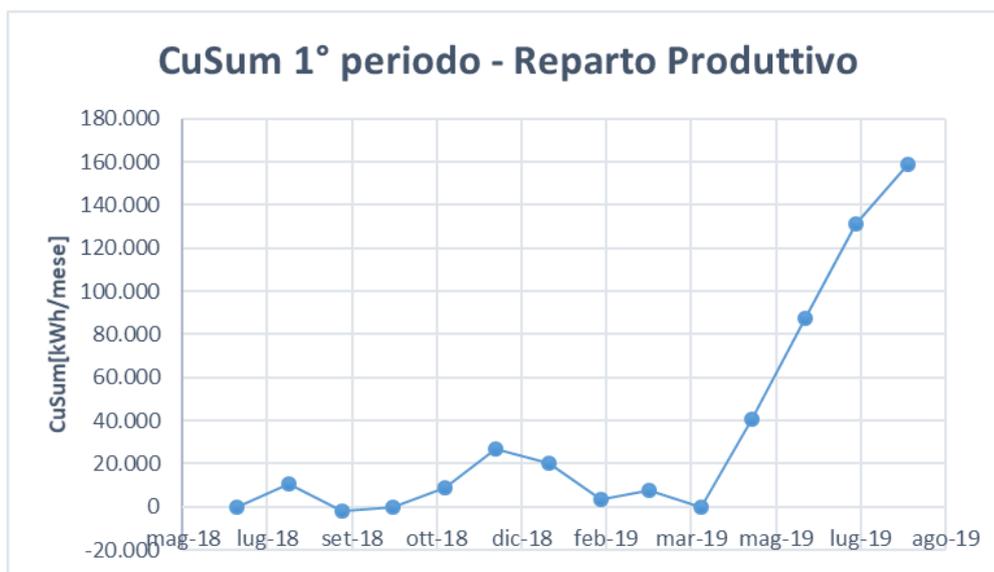
	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,988574	0,977279	138313,2	1,063776
p-value	1,14E-02	-	5,21E-02	1,14E-02

Si denota da subito un peggioramento delle prestazioni in quanto mentre l'intercetta varia di poco, la pendenza della retta subisce un forte aumento, che equivale a dire che per ogni pompa in più da produrre viene richiesta più energia.

Tramite la riproposizione del diagramma CuSum si possono calcolare i consumi addizionali per il peggioramento della prestazione energetica dal mese di maggio 2018.

4. Caratterizzazione Energetica

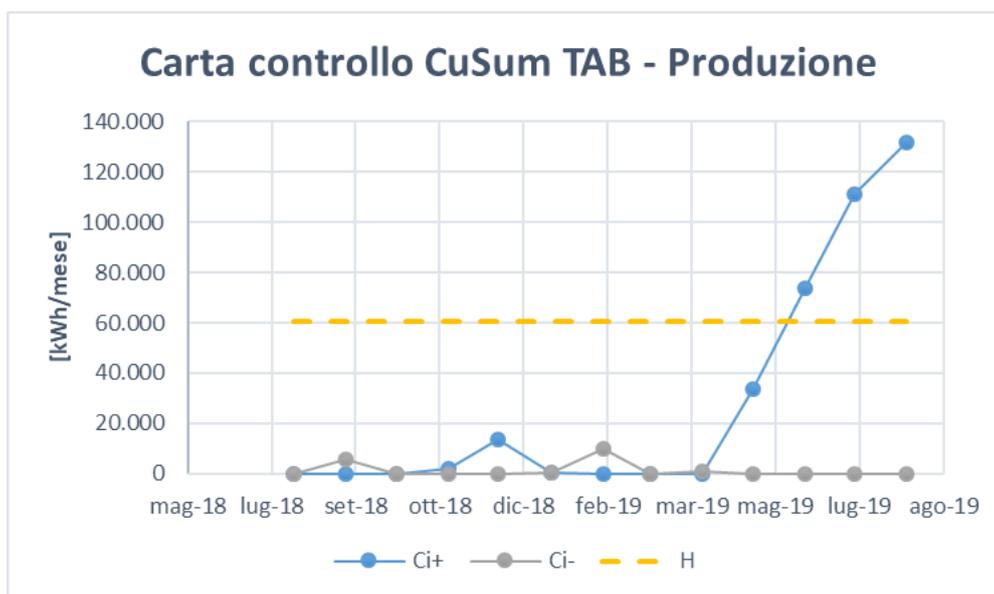
Figura 51: CuSum sulla caratteristica del primo periodo



Le perdite energetiche si aggirano intorno ai 160000 kWh, che in termini economici si traducono in circa 21000 € nel giro di quattro mesi.

Si riporta infine la carta di controllo CuSum Tabulare costruita sul periodo di setup da agosto 2018 ad aprile 2019.

Figura 52: Carta di Controllo CuSum Tabulare



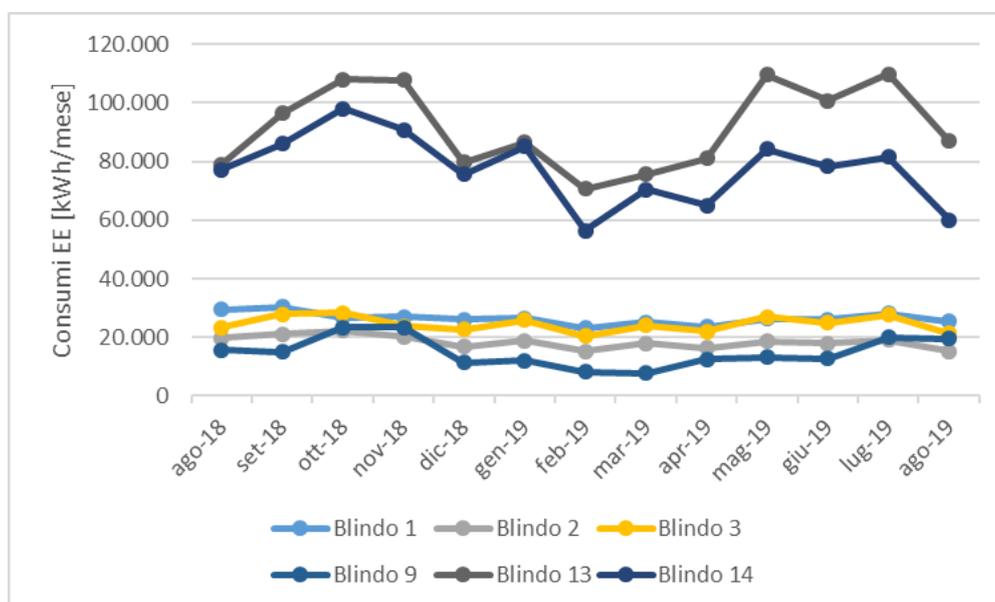
Il fuori controllo si evidenzia dalla carta di controllo in concomitanza del mese di giugno 2019, con solamente un mese di ritardo dall'effettivo. Infatti, la carta è stata impostata con una sensibilità intermedia, per non creare allarmismi troppo frequenti.

Anche in questo caso però, si sente la necessità di andare ancora più in profondità dell'analisi statistica, scomponendo l'analisi nei vari reparti, per vedere se il nodo trovato per la produzione globale si ripropone in qualche area specifica.

Consumi reparto ingranaggi

Si incomincia con il reparto più energivoro tra tutti, cioè il reparto ingranaggi, all'interno del quale avvengono le lavorazioni di dentatura, trattamento termico, rettifica e supfinitura per la realizzazione di ruote dentate ad altissima precisione. Ci si aspetta un andamento simile di questo reparto rispetto al totale produttivo. Scorporando il contributo dei diversi misuratori presenti sotto questo reparto, si scopre che il contributo maggiore deriva dalle blindosbarre 13 e 14, che alimentano diversi macchinari dei reparti di dentatura e rettifica, e due supfinitrici. Si può osservare questa tendenza nella Figura 53.

Figura 53: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi

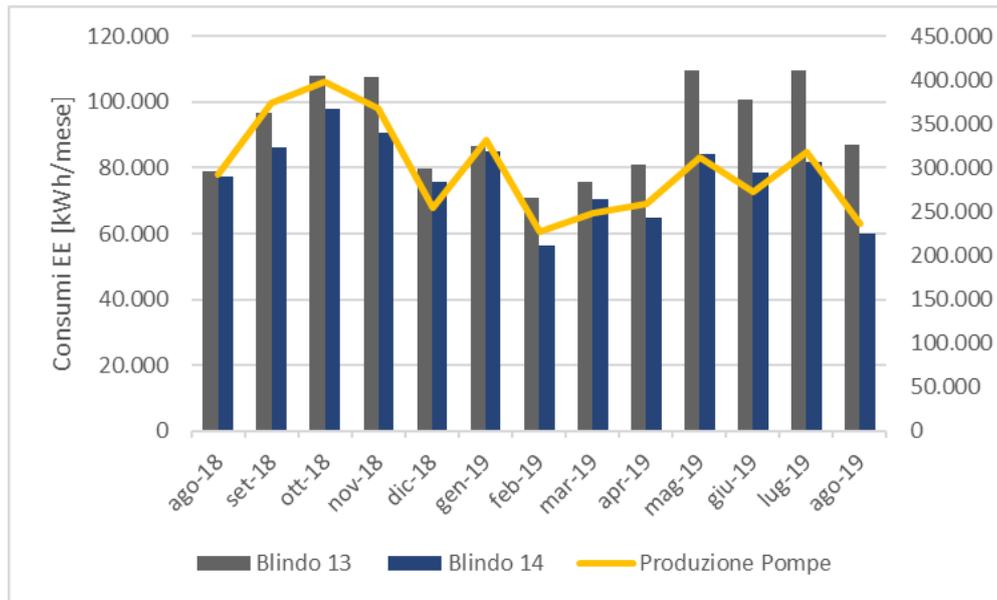


Essenzialmente si nota lo stesso andamento osservato in Figura 46 per il reparto produttivo, con i consumi in flessione nei mesi invernali a cavallo tra gli anni 2018 e 2019 e in ripresa a partire dalla primavera 2019. In questo caso si è presentata la possibilità di tentare una correlazione con i volumi produttivi o delle pompe o degli ingranaggi, e dopo aver appurato che entrambi presentavano lo stesso andamento si è effettuata la scelta con la regressione che riportava risultati migliori.

Se si confronta l'andamento dei due contributi principali con quello della produzione delle pompe analogamente a quanto fatto in precedenza con il reparto produttivo, si nota anche in questo caso un aumento dei consumi nei mesi finali del periodo, a partire da maggio 2019, soprattutto da parte del Blindo 13.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 54: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



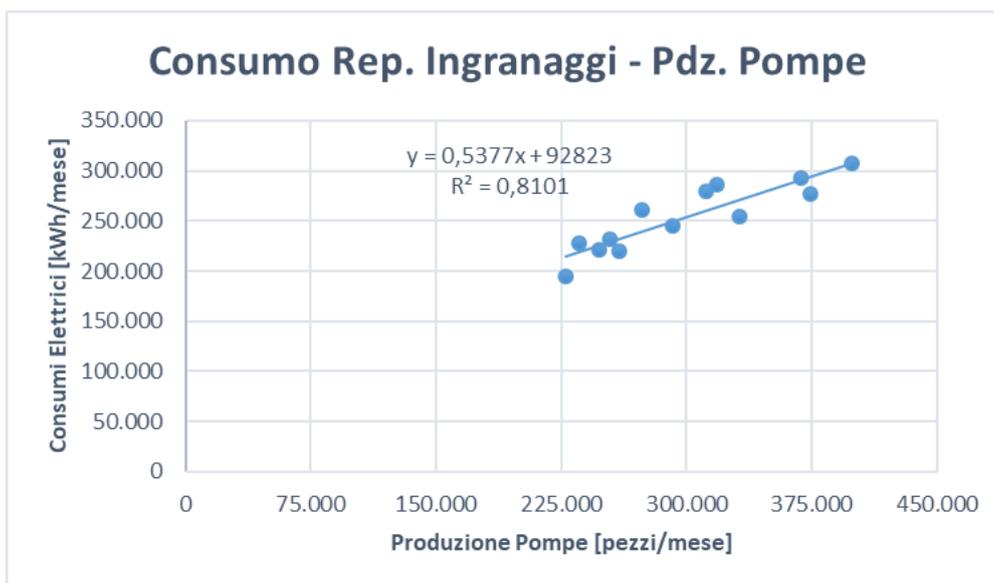
Si cerca conferma delle considerazioni riportate effettuando l'analisi di regressione lineare anche di questo reparto, in modo da trovare il modello matematico caratterizzante i consumi. Come energy drivers si sono provati sia la produzione di ingranaggi sia quella delle pompe, ottenendo in entrambi i casi risultati simili, ma si è scelto di proseguire con i secondi per i risultati leggermente migliori e per continuità con l'analisi effettuata in precedenza. Seguono i dati statistici della regressione semplice effettuata.

Tabella 12: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R²	C₀	c₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,900068	0,810123	92822,58	0,537728
p-value	2,76E-05	-	2,53E-03	2,76E-05

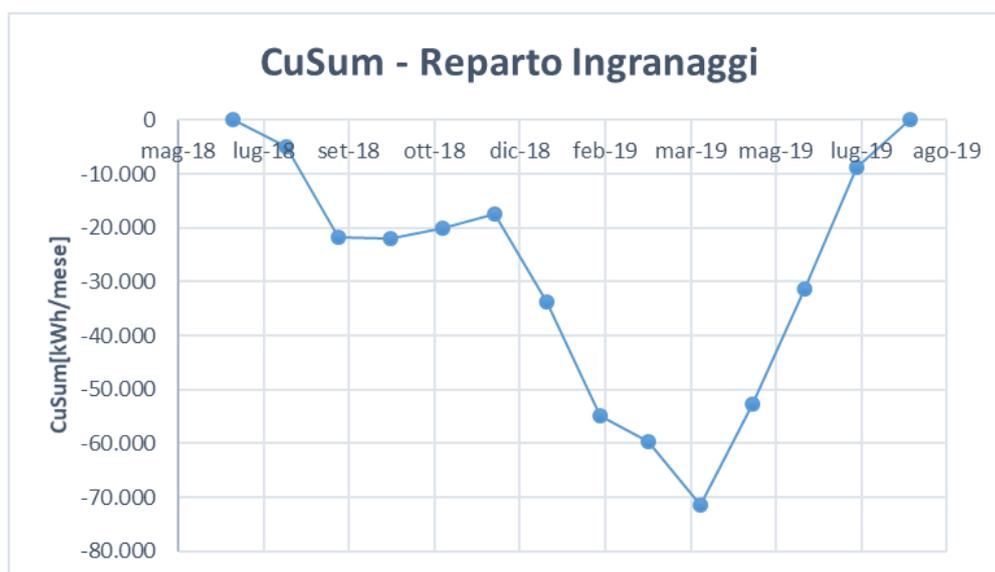
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 55: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto ingranaggi



Dopo la buona riuscita della correlazione, si passa al controllo della prestazione energetica trovata tramite il diagramma CuSum, per controllare se si trova lo stesso cambiamento del reparto produttivo ad aprile 2019.

Figura 56: Diagramma CuSum



Facendo un rapido confronto con la Figura 49, si nota una curva della cumulata delle somme praticamente identica, a testimonianza della forte influenza del reparto ingranaggi sul totale. Inoltre, è stato possibile scoprire che il grosso dei cambiamenti deriva dai macchinari alimentati dalla blindosbarra 13, la quale non solo fornisce il contributo più ampio ai consumi totali, ma possiede anche il profilo di consumo che si discosta maggiormente da quello produttivo nei quattro mesi finali del periodo in esame.

4. Caratterizzazione Energetica

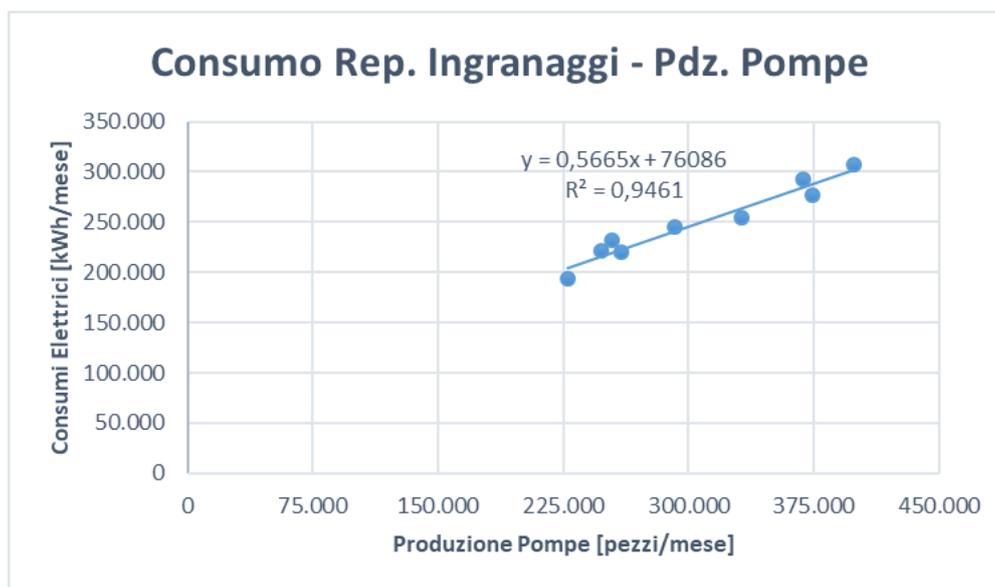
Anche in questo caso si evidenzia un nodo significativo per medie statisticamente diverse ad aprile 2019, come già trovato nel reparto produttivo. Per quantificare le perdite dovute ad un peggioramento della prestazione energetica nei mesi da maggio ad agosto 2019, si ricorre alla costruzione del CuSum con la caratteristica creata sui mesi del primo periodo.

I dati della nuova caratteristica energetica sono riportati in seguito.

Tabella 13: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup

	R	R2	Co	c1
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,972666	0,94608	76086,42	0,56653
p-value	1,08E-05	-	2,03E-03	1,08E-05

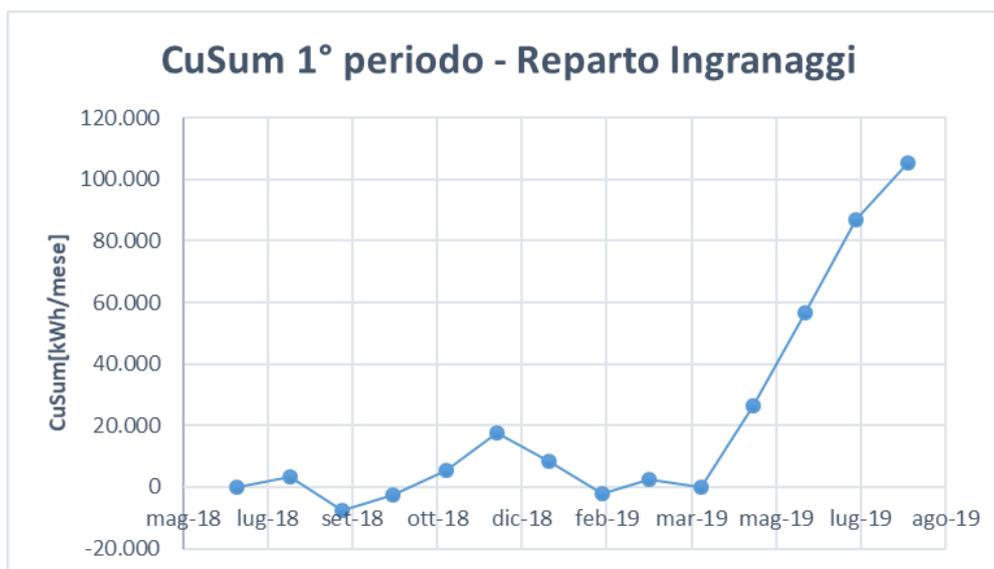
Figura 57: Interpolazione lineare dei dati campione - Primo periodo



In seguito alla correlazione si possono calcolare i danni derivanti dal peggioramento delle prestazioni energetiche, tramite il CuSum.

4. Caratterizzazione Energetica

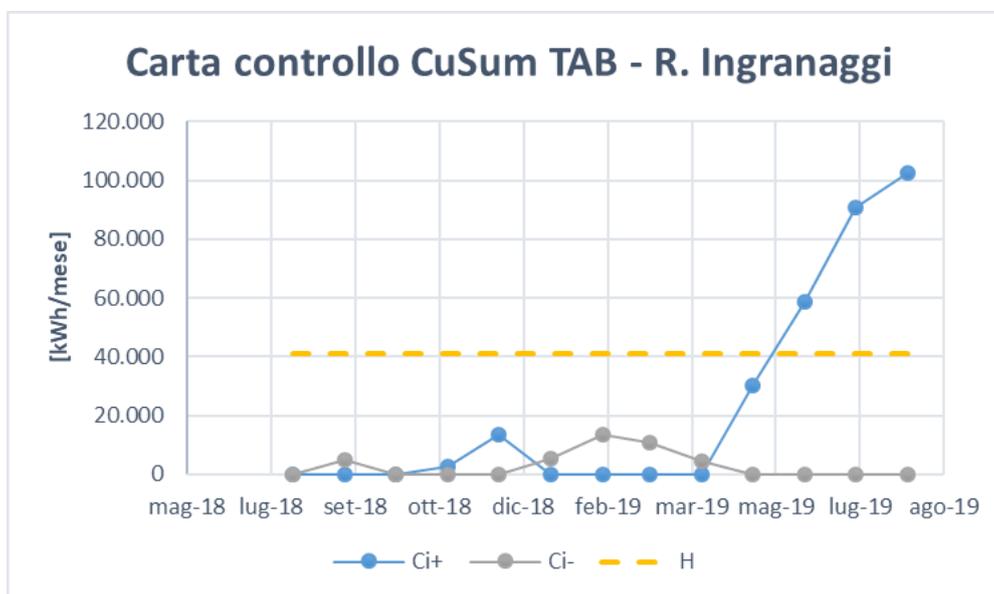
Figura 58: CuSum sulla caratteristica del primo periodo



Dal grafico riportato di sopra si stagliano 105465 kWh di perdita energetica, corrispondenti a poco meno di 14000 €.

Anche la carta di controllo CuSum Tabulare riporta un'anomalia nell'uso energetico, con un fuori controllo a partire da giugno 2019, come mostrato nella prossima figura.

Figura 59: Carta controllo CuSum tabulare

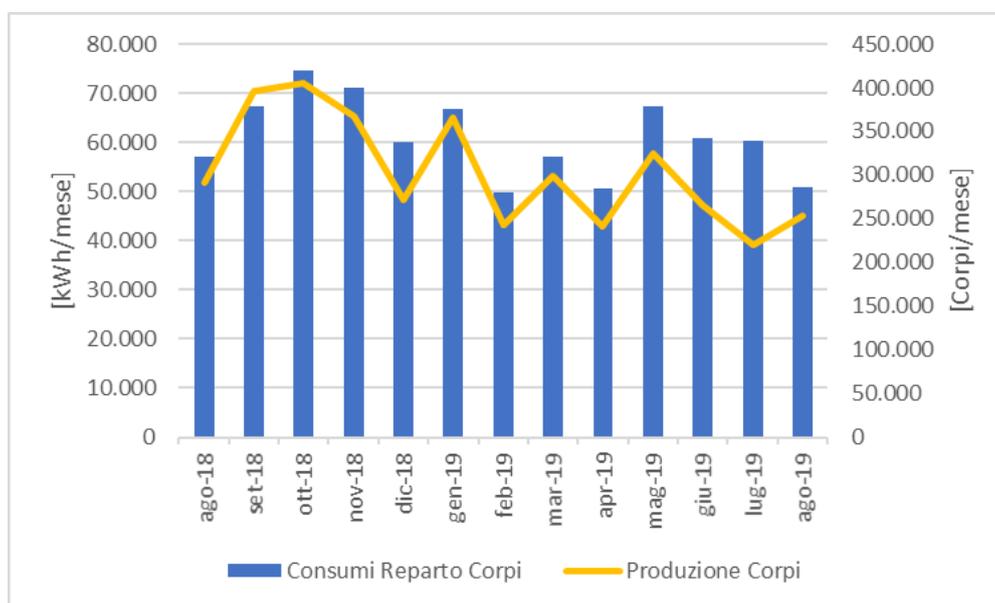


Consumi reparto corpi

Dopo aver analizzato il reparto che con tutta probabilità è il responsabile del cambiamento della prestazione energetica del reparto produttivo, è doveroso controllare se è presente questa caratteristica anche negli altri reparti.

Si comincia dal reparto adibito alla produzione dei corpi, comprendente il Blindo Corpi e parte del Blindo 6. Per caratterizzare i consumi di questo reparto, si è dovuto ricorrere alla correlazione con la produzione dei semilavorati. Una panoramica degli andamenti delle due variabili è fornita dalla figura di sotto.

Figura 60: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



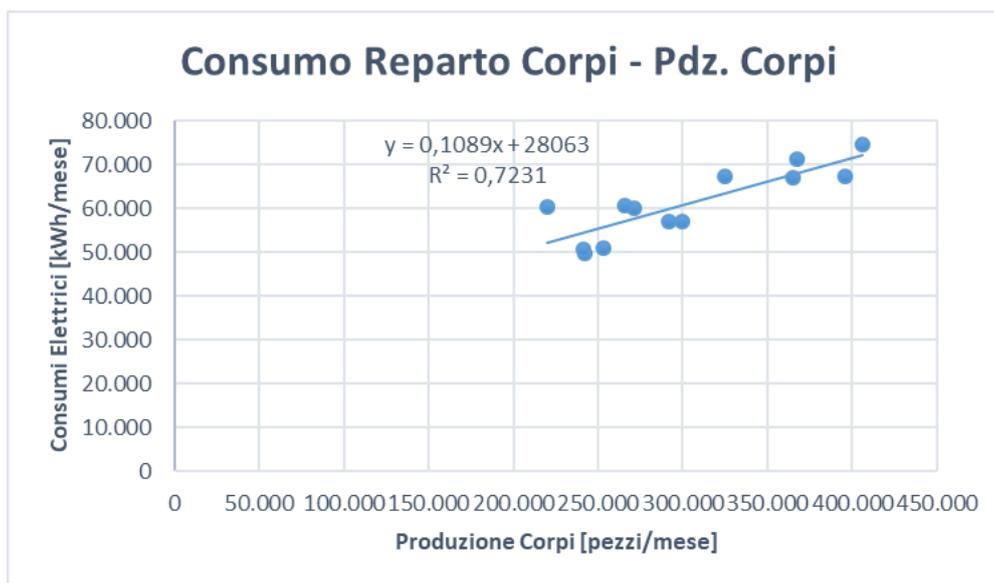
Segue la regressione lineare effettuata tra i consumi elettrici di reparto con la produzione dei semilavorati e l'interpolazione lineare effettuata usando il metodo dei minimi quadrati.

Tabella 14: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,85036	0,723111	28063,49	0,108902
p-value	2,30E-04	-	9,54E-04	2,30E-04

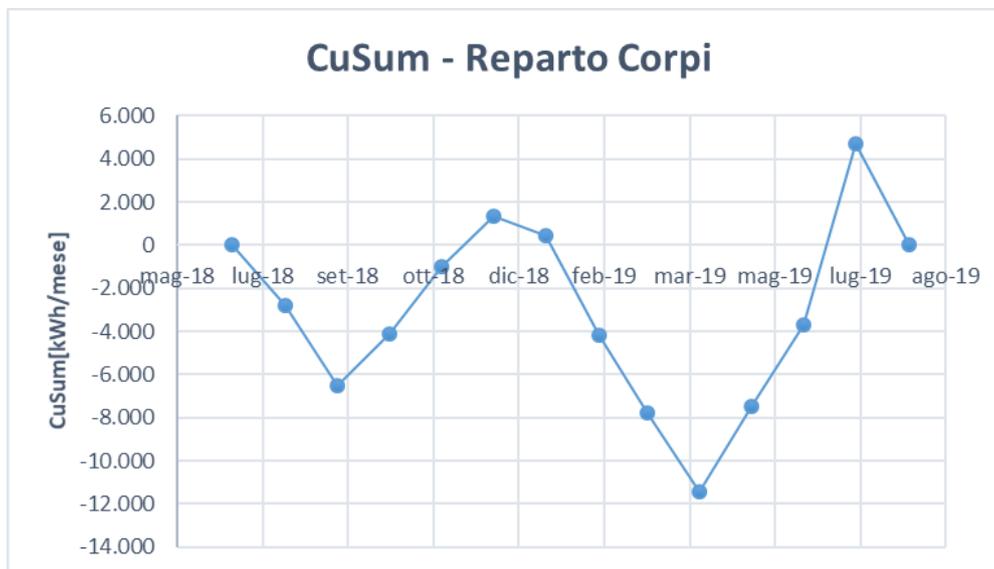
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 61: Interpolazione lineare dei dati campione - Reparto



La regressione viene nuovamente analizzata in funzione del tempo tramite il diagramma CuSum. In questo caso però, non si nota un nodo particolare nel periodo analizzato, a testimonianza che il reparto non presenta dei cambiamenti significativi.

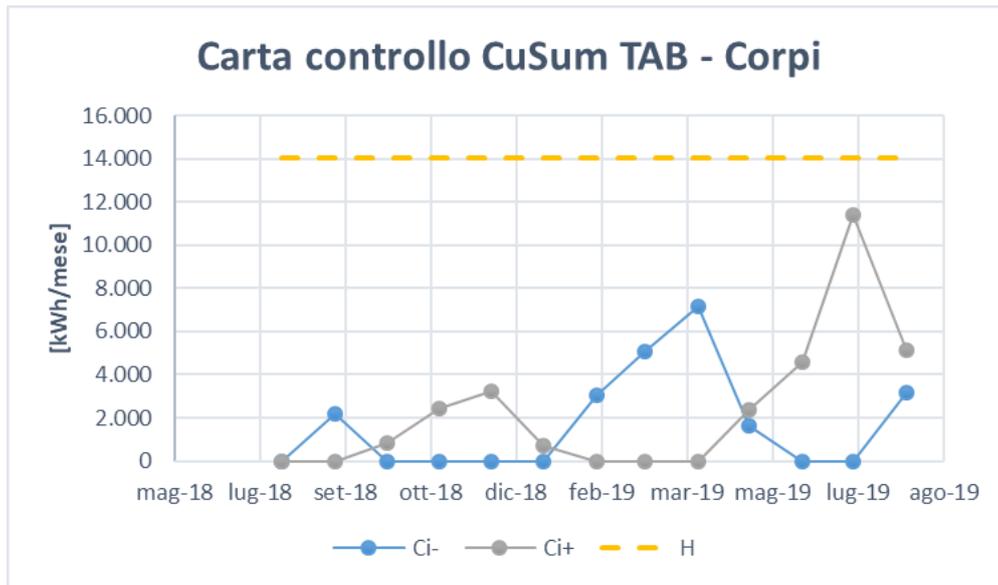
Figura 62: Diagramma CuSum



È invece possibile utilizzare l'intero periodo utilizzato come periodo più recente stabile per la costruzione di una carta di controllo.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 63: Carta di Controllo CuSum Tabulare

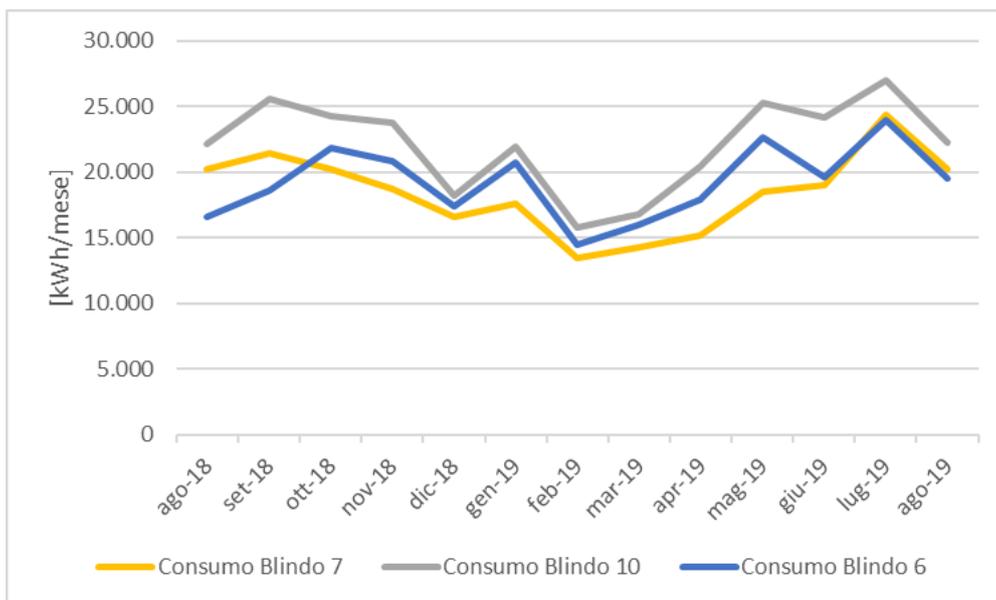


Come evidenziato dalla figura, non sono presenti dei fuori controllo durante il periodo di analisi, per cui è giustificato ritenere che la caratteristica energetica non sia cambiata nei mesi da agosto 2018 ad agosto 2019.

Consumi reparto boccole

Il reparto boccole è adibito per la produzione di semilavorati. I dati di consumo derivano da tre misuratori (uno in comune con reparto corpi), i cui valori mensili sono riportati di seguito. Essi risultano simili in andamento e valori tutti e tre.

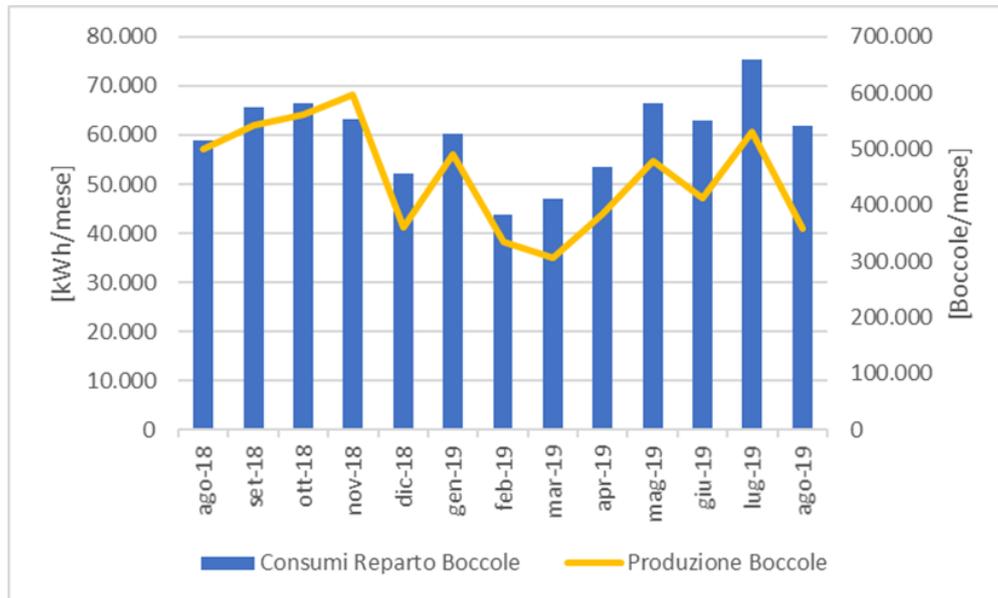
Figura 64: Dettagli dei consumi di reparto nel periodo in analisi



4. Caratterizzazione Energetica

Si mettono dunque in relazione gli andamenti dei consumi e della produzione di boccole ed anche in questo caso si nota un eccesso dei primi durante i mesi finali.

Figura 65: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione

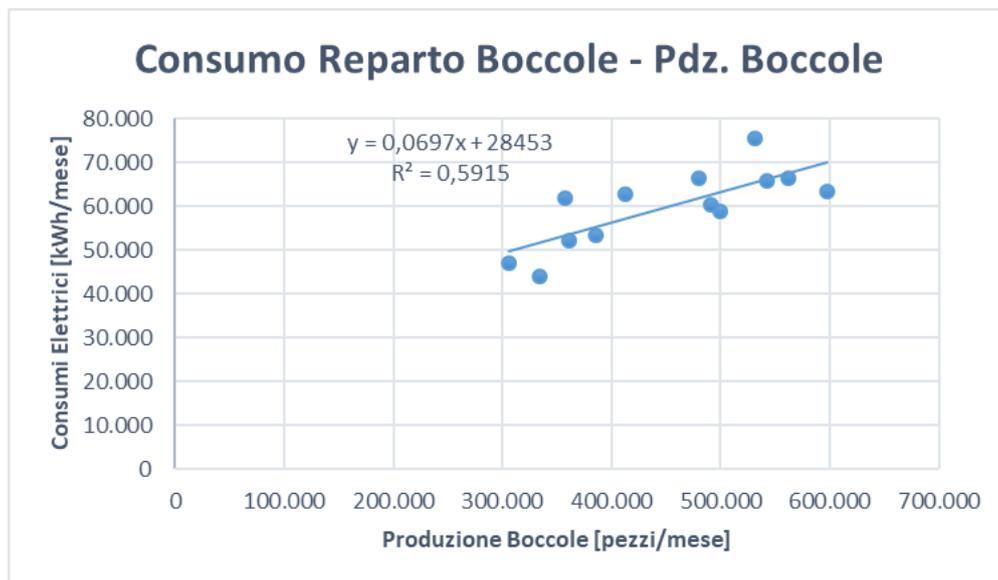


Prima di procedere alla validazione del cambiamento, si caratterizza il reparto tramite la solita regressione lineare semplice, i cui risultati sono in seguito riportati.

Tabella 15: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione boccole

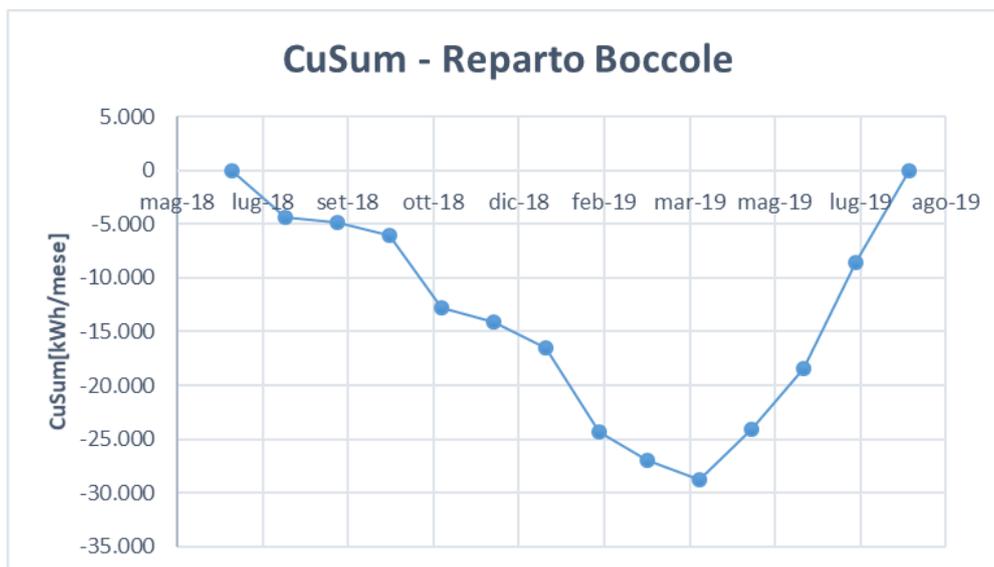
	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,769089	0,591497	28453,28	0,069687
p-value	2,12E-03	-	4,60E-03	2,12E-03

Figura 66: Interpolazione lineare dei dati campione - Reparto Boccole



I risultati statistici della regressione non sono entusiasmanti per questo reparto, ma bastano per procedere alla stesura del CuSum.

Figura 67: Diagramma CuSum



Dal diagramma emerge un possibile nodo a differenziare due periodi. Il nodo come in precedenza ricade ad aprile 2019 e risulta subito significativo.

Si può quindi imbastire una nuova correlazione semplice sui consumi del primo periodo, per la stima dell'energia spesa in più nel secondo periodo. A tal proposito si riportano i risultati ottenuti in termine di regressione e CuSum, senza tralasciare l'eventuale carta di controllo costruita sul periodo più recente stabile (in questo caso obbligatoriamente quello da agosto 2018 ad aprile 2019)

Tabella 16: Dati statistici regressione lineare semplice sul periodo di setup

	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,948183	0,89905	24558,23	0,071226
p-value	9,91E-05	-	6,21E-04	9,91E-05

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 68: Interpolazione lineare dei dati campione – Primo periodo

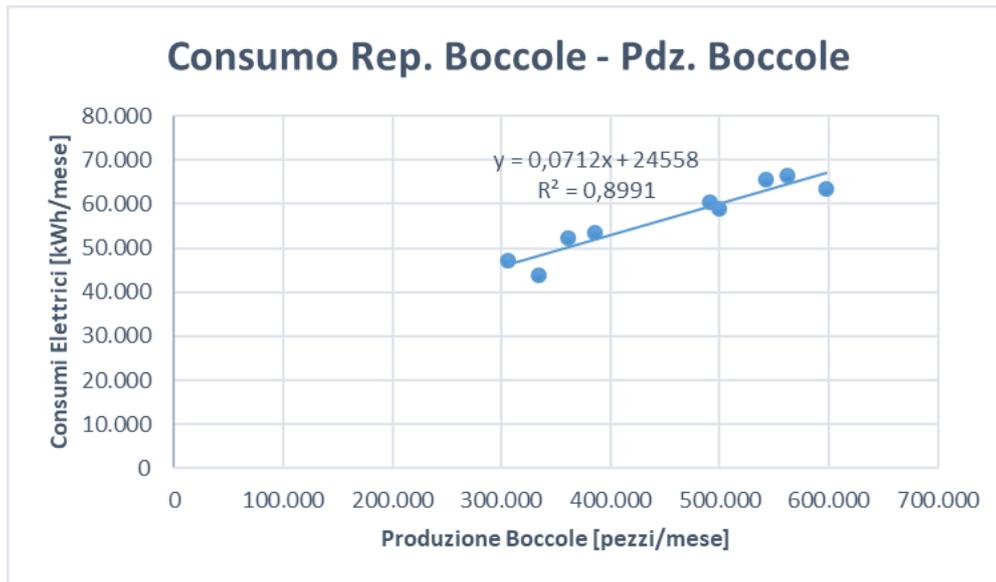


Figura 69: CuSum sulla caratteristica del primo periodo

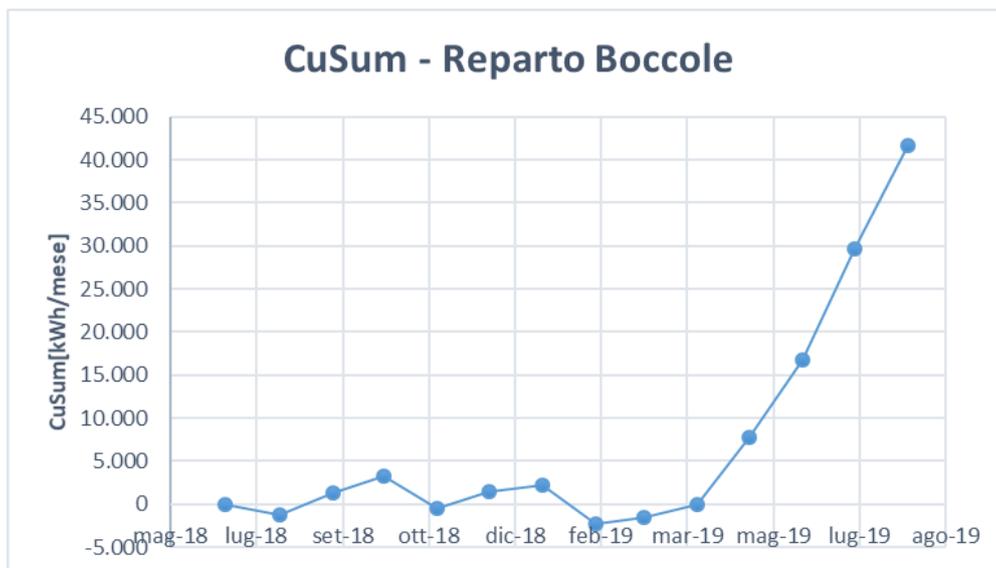
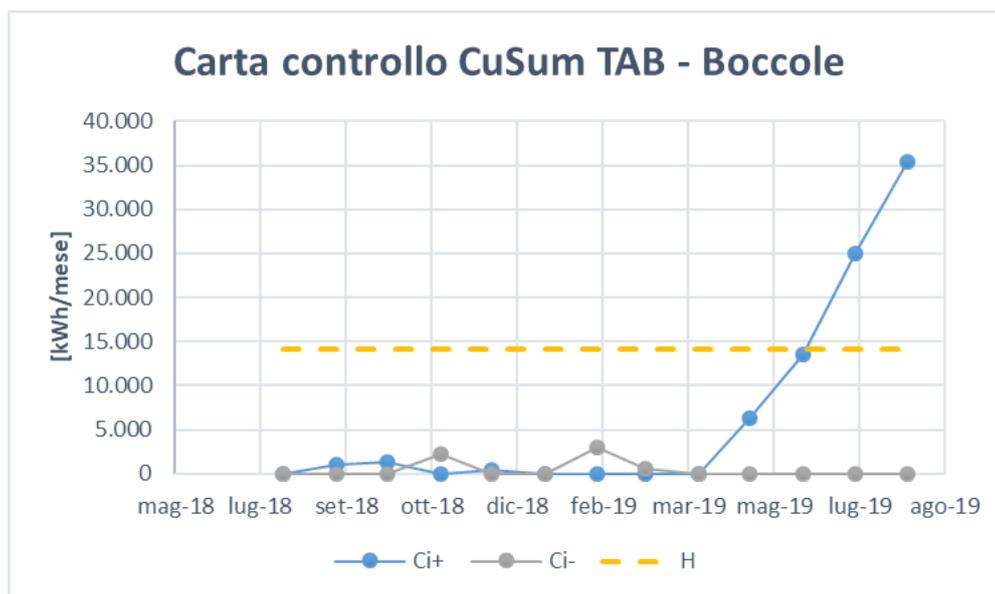


Figura 70: Carta di Controllo CuSum Tabulare



La nuova correlazione si osserva essere più forte rispetto a quella effettuata sull'intero periodo. Inoltre, il CuSum effettuato sul secondo periodo evidenzia un delta nei consumi per la variazione della prestazione energetica di quasi 42000 kWh.

Infine, la carta di controllo dimostra come il nodo sia veritiero, nonostante segnali un fuori controllo solamente a luglio e non a maggio. Questo ritardo è dovuto alla diversa sensibilità che è possibile conferire alla carta di controllo, a seconda che si voglia una caratteristica più scattante ai cambiamenti oppure una che non rischi di creare falsi allarmi.

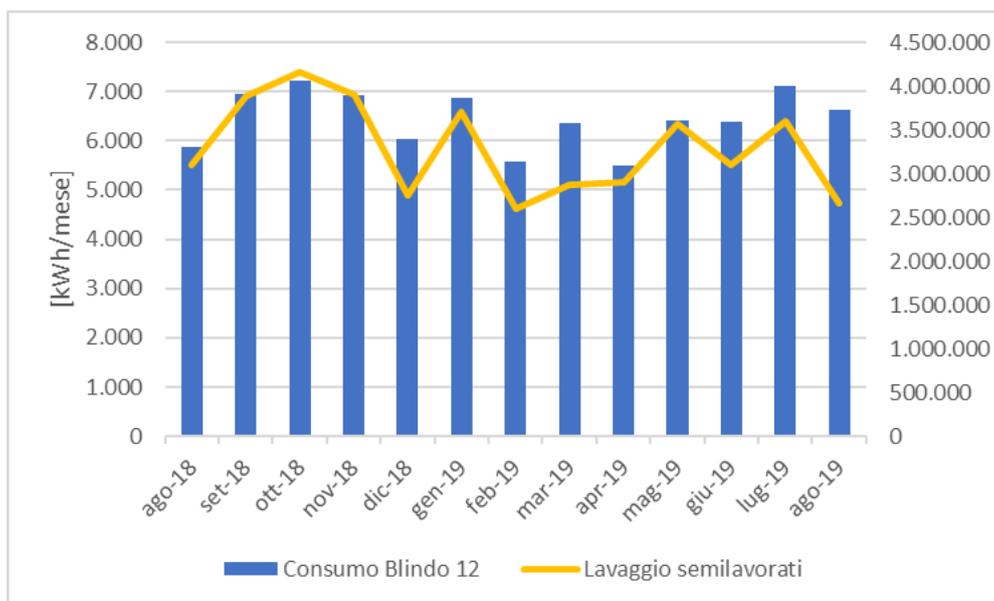
Consumi reparto lavaggio

I consumi di questo reparto derivano dalla blindosbarra 12, su cui attualmente è attaccata solamente la lavatrice industriale Durr E. Proprio per questo motivo verranno effettuati degli approfondimenti per l'analisi deterministica, usando come esempio proprio i dati provenienti da questo misuratore. Le considerazioni sono replicabili alle altre 3 macchine simili presenti nello stabilimento.

L'andamento consumi/produzione è del tutto analogo a quello degli altri reparti produttivi già analizzati.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 71: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione

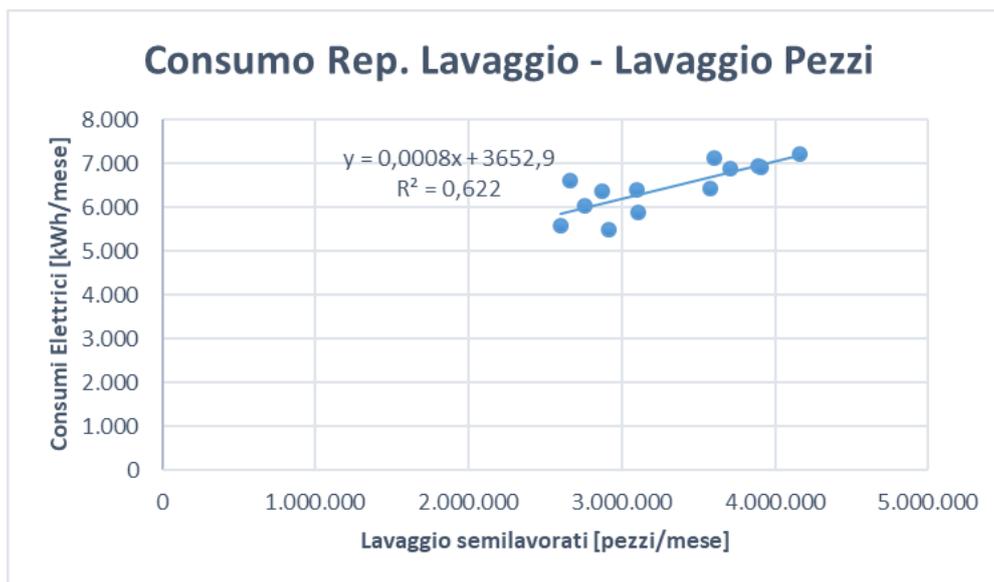


Per quanto riguarda l'analisi di regressione invece si è dovuto ricorrere ai dati del lavaggio pezzi per trovare un driver sufficientemente soddisfacente.

Tabella 17: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e lavaggio pezzi

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,788677	0,622012	3652,874	0,000849
p-value	1,36E-03	-	1,89E-04	1,36E-03

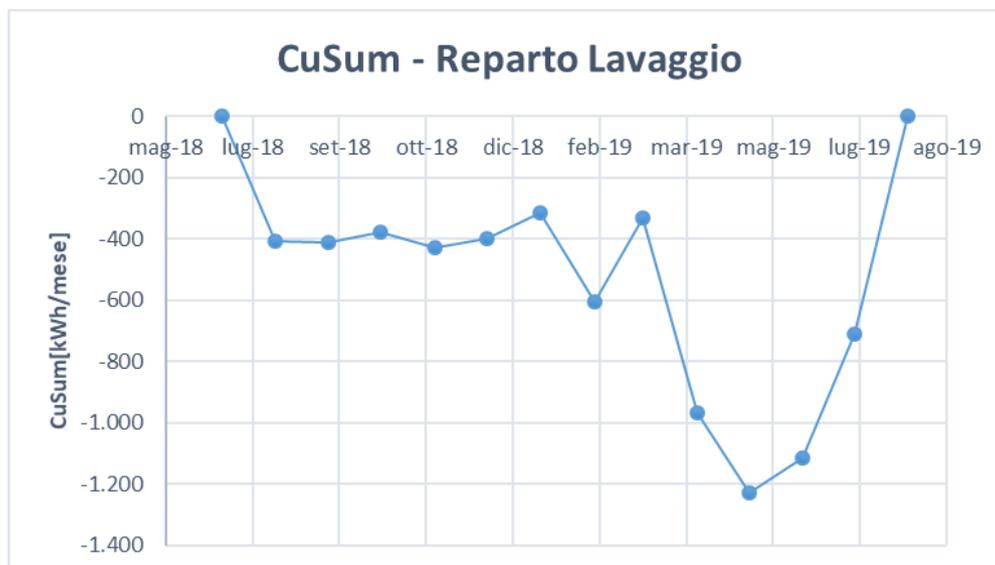
Figura 72: Interpolazione lineare dei dati campione - Reparto Lavaggio



I risultati statistici comunque non sono entusiasmanti nemmeno in questo caso, ma non impediscono di proseguire con l'analisi.

Come già si è ormai abituati fare, si riporta il diagramma CuSum per il periodo di riferimento.

Figura 73: Diagramma CuSum



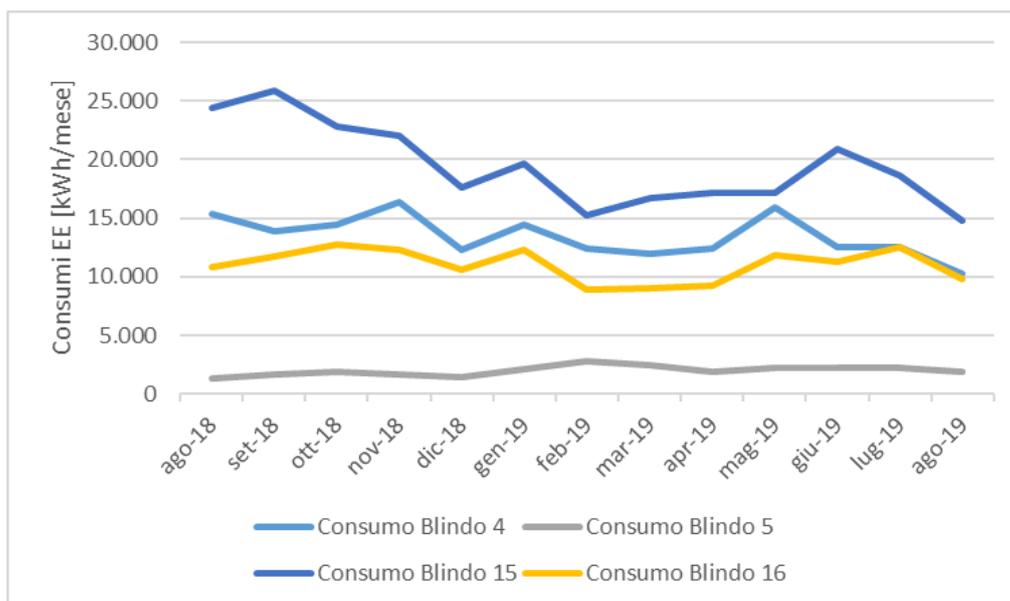
Quest'ultimo presenta un andamento diverso da tutti quelli visti fino ad ora, da momento che non risaltano chiari segmenti ipotetici divisi da un nodo. Si è provato a procedere con un test su un potenziale nodo ancora ad aprile 2019, ma esso non ha avuto esito positivo, per cui si è dovuto affermare che il reparto in esame non presenta sostanziali cambiamenti nella prestazione energetica.

Consumi reparto assemblaggio

L'ultimo reparto facente parte di quello produttivo specifico è il reparto assemblaggio. I consumi appartenenti a tale area derivano da quattro misuratori, indicati nella figura sottostante.

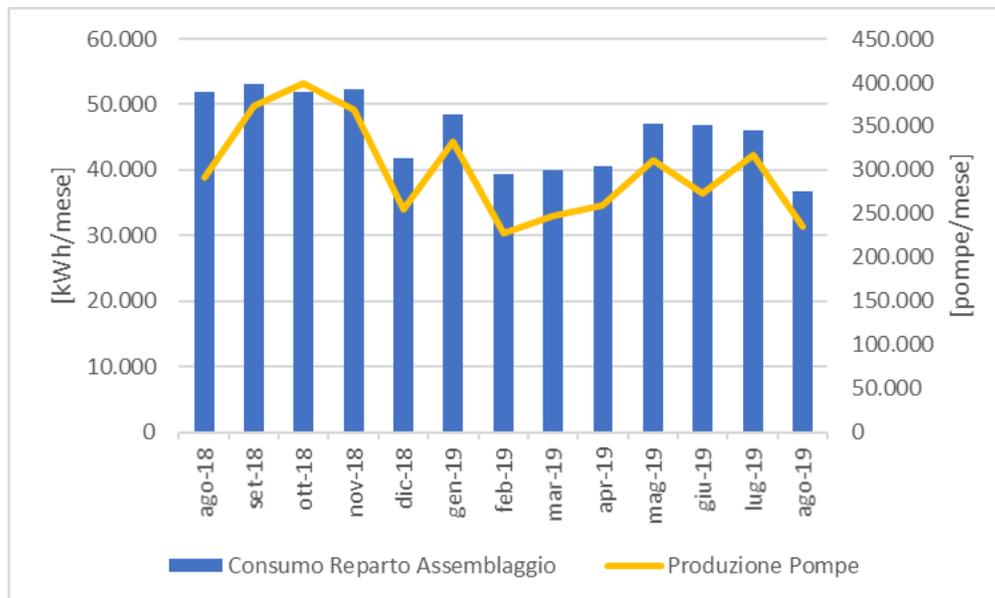
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 74: Dettagli dei consumi di reparto assemblaggio nel periodo in analisi



Anche in questo caso si analizzano i profili dei consumi totali delle quattro blindosbarre monitorate insieme a quello produttivo. Nel grafico in Figura 75 emerge però un comportamento diverso da quelli osservati fino ad ora negli altri reparti, cioè una costanza dei due andamenti che variano di rado l'uno con l'altro rispetto alle altre mensilità.

Figura 75: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



Come dimostrato dall'analisi di regressione lineare poi, si ha anche una buona correlazione tra le due variabili. Infine, si noterà come il diagramma CuSum non riporti informazioni riguardo la possibile presenza di un cambiamento nella prestazione, fatto che testimonia quanto riportato dal grafico in Figura 75.

4. Caratterizzazione Energetica

Tabella 18: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,882385	0,778603	19506,36	0,088053
p-value	6,53E-05	-	8,60E-04	6,53E-05

Figura 76: Interpolazione lineare dei dati campione – Reparto Assemblaggio

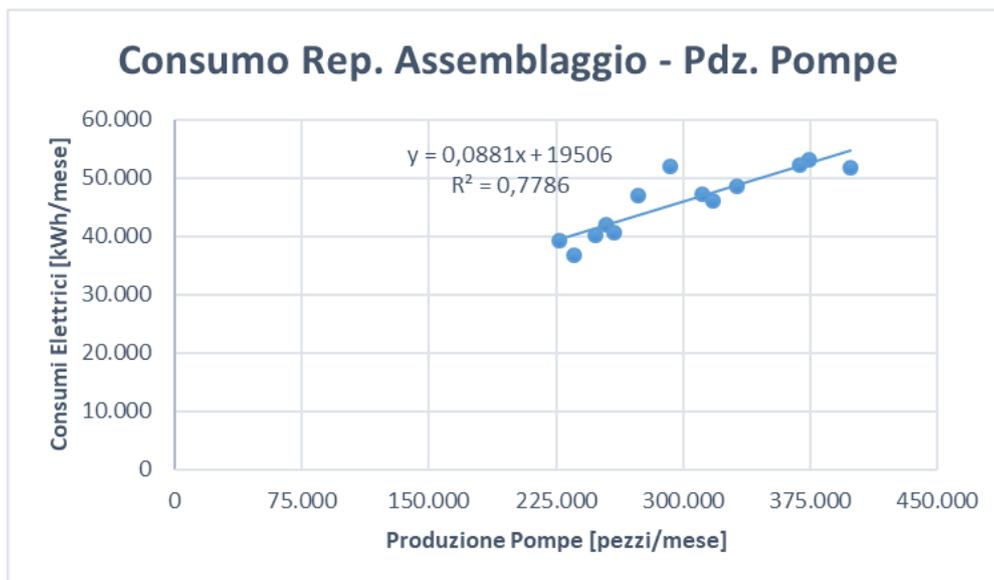
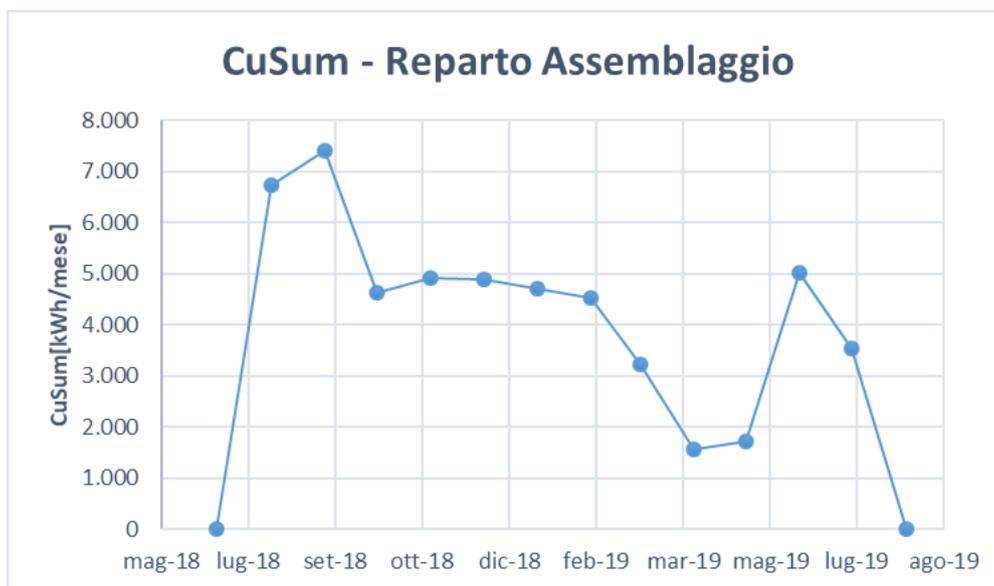
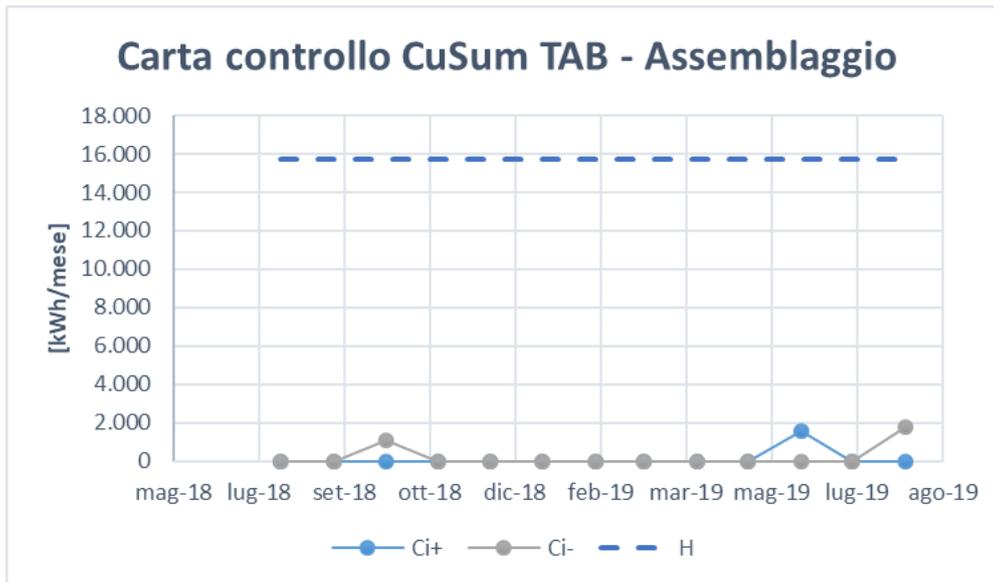


Figura 77: Diagramma CuSum



Non dovendo dividere l'intero periodo per la presenza di qualche nodo, è possibile dunque utilizzare i consumi dei mesi analizzati per creare una carta di controllo, che permetta di individuare repentinamente le deviazioni rispetto all'uso standard attuale energetico.

Figura 78: Carta di Controllo CuSum Tabulare



Dalla carta di controllo CuSum Tabulare si nota come le due statistiche non si avvicinano nemmeno lontanamente al limite imposto H, a testimonianza della stabilità del modello energetico.

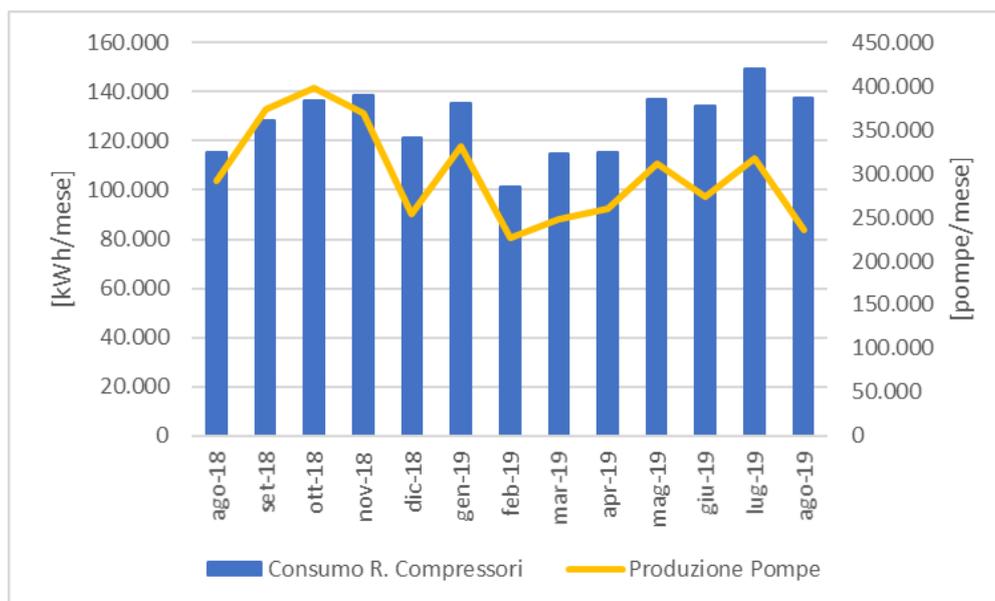
Consumi reparto compressori

Il reparto compressori come già specificato nel capitolo precedente, conta un misuratore a monte del quadro della sala compressori A e un altro specifico su un Atlas Copco GA55. Rimane scoperto solamente un compressore sugli 8 totali: l'Atlas Copco GA 132. Tutti i compressori, presentano una logica di regolazione del tipo ON-OFF.

Come accade di solito, gli assorbimenti elettrici per la produzione di aria compressa è collegata ai volumi produttivi, nonostante si stia esaminando un impianto ausiliario alla produzione.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 79: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione

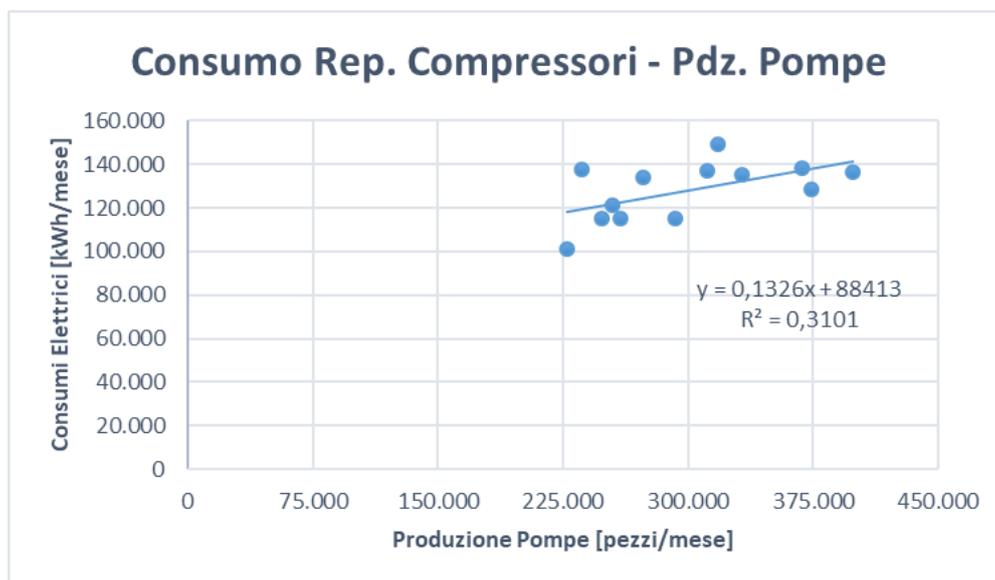


Si nota dall'analisi dei profili, che gli andamenti non sono dissimili da quelli osservati negli altri reparti. Questa tendenza è parzialmente confermata dall'analisi di regressione: si trovano un coefficiente di correlazione e di determinazione validi statisticamente, ma la correlazione tra le due variabili non risulta fortissima.

Tabella 19: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R2	Co	c1
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,556824	0,310053	88412,67	0,132556
p-value	4,8%	-	4,92E-04	4,8%

Figura 80: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione

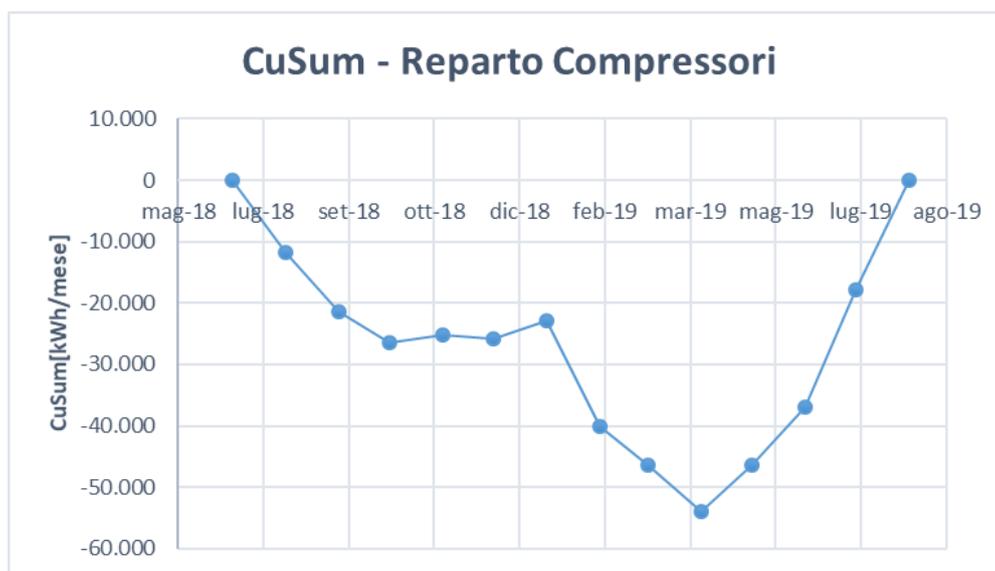


Dal grafico sopra riportato si nota che è il fatto di avere una dispersione non trascurabile peggiora la caratteristica.

Si è provato dunque a cercare un altro driver che andasse bene per provare con una correlazione multivariabile, ma senza successo, in quanto sia le variabili ambientali sia quelle occupazionali non risultavano avere sufficiente influenza sui consumi del reparto.

Si è provato a proseguire con l'analisi in quanto il p-value sulla correlazione era al limite della significatività (4,8%), analizzando i cambiamenti della caratteristica nel tempo tramite il diagramma CuSum.

Figura 81: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



Anche per il reparto compressori si è trovato il solito nodo ad aprile del 2019, ed anche in questo caso è risultato significativo per differenza tra le medie dei due campioni.

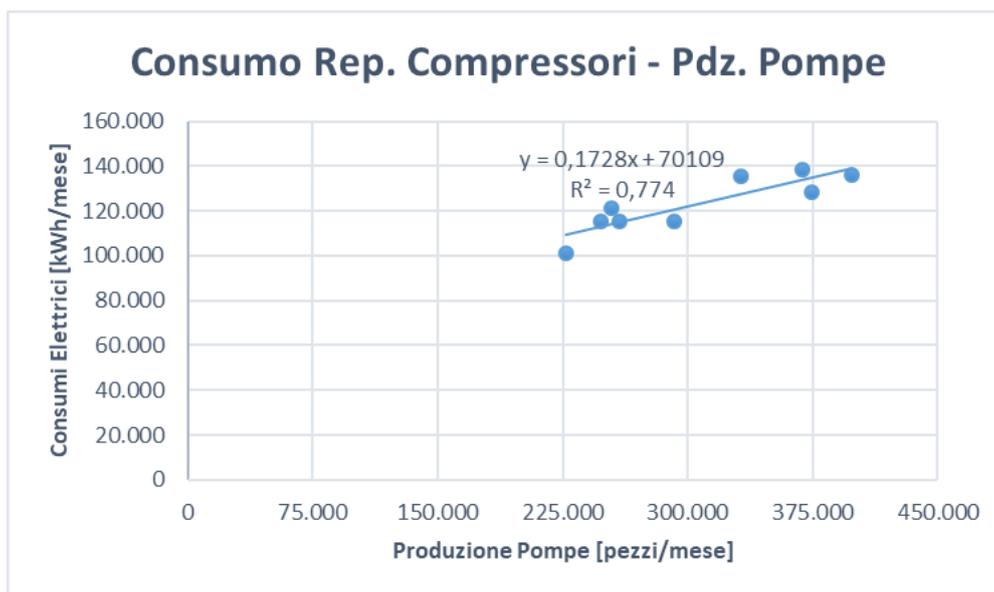
In seguito, si è eseguita la caratterizzazione sui consumi del primo periodo rilevato essendo l'unico significativo.

Tabella 20: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R2	Co	c1
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,879783	0,774017	70109,33	0,172794
p-value	1,76E-03	-	3,77E-04	0%

4. Caratterizzazione Energetica

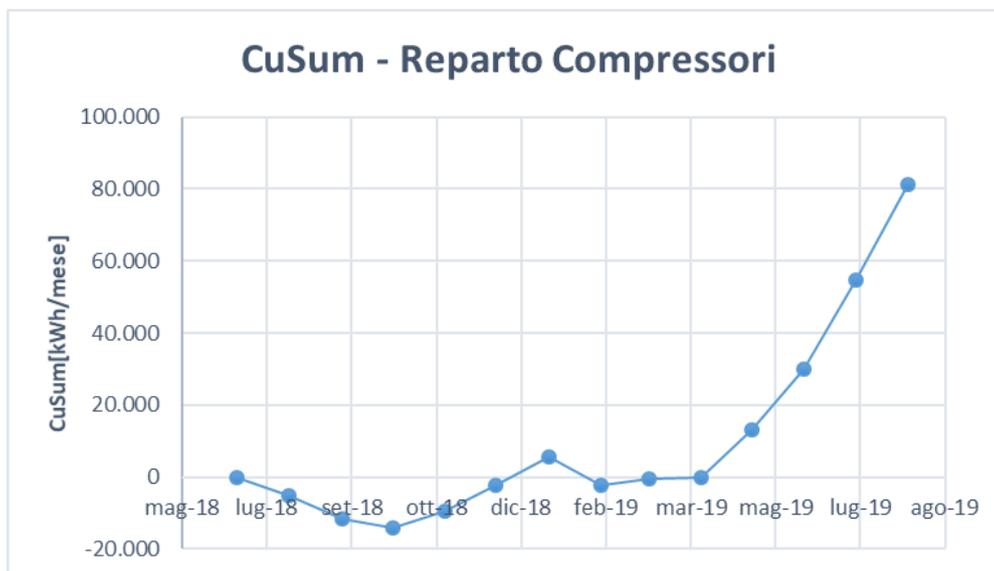
Figura 82: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



Finalmente si ottengono dei buoni responsi dall'analisi statistica, che ci permette di caratterizzare anche questo reparto tramite il modello più recente stabile.

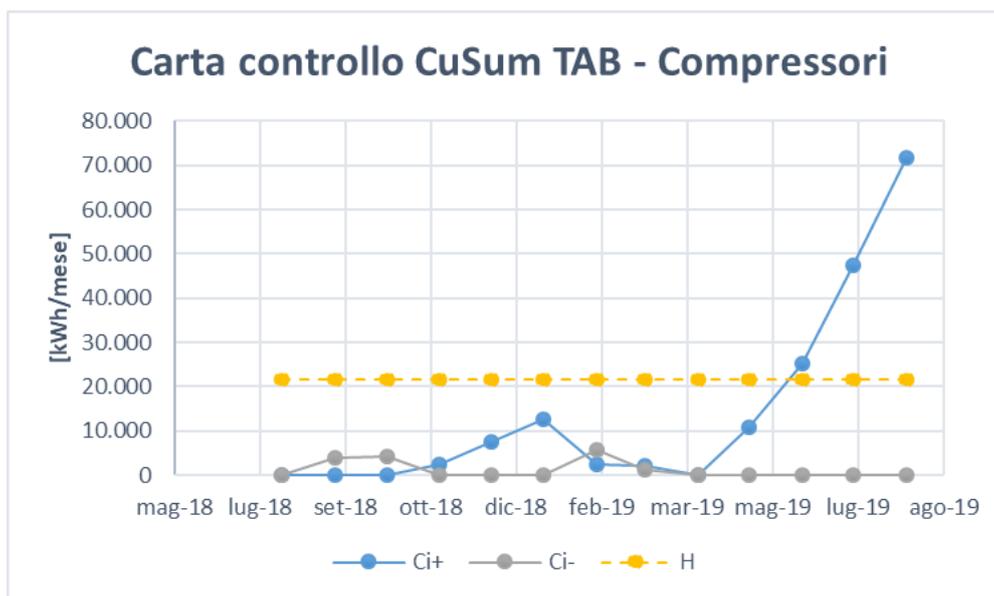
Per quantificare le perdite dovute al cambiamento degli ultimi quattro mesi, si riporta il CuSum calcolato con questa nuova caratteristica, e si trova un valore di 81327 kWh equivalenti a circa 10500 €.

Figura 83: CuSum sulla caratteristica del primo periodo



Si completa l'analisi di reparto riportando anche la carta di controllo.

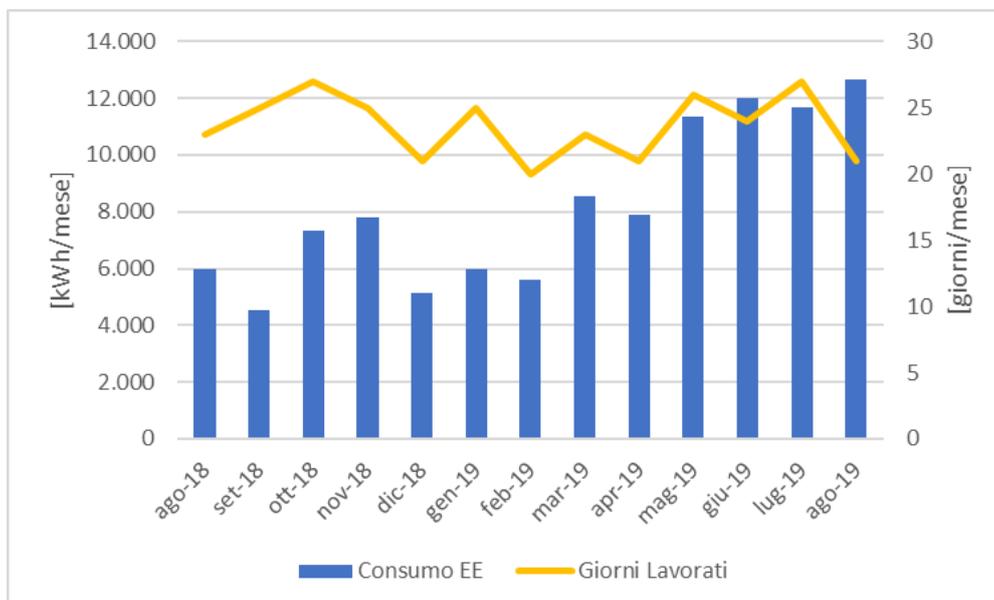
Figura 84: Carta di controllo CuSum Tabulare



Consumi reparto L&T

La blindosbarra 8 alimenta due banchi di prova del reparto Engineering L&T, un reparto che è in servizio a quello produttivo ma non direttamente collegato come attività. In questo reparto infatti, vengono effettuate prove di ricerca per il prodotto finale, in termini di resistenza, durata e affidabilità dei materiali e dei componenti. Ne deriva l'intrinseca difficoltà nel trovare un driver che influenzi in modo marcato i consumi di energia elettrica di questo reparto. Si è provato innanzitutto a riproporre i giorni lavorati, essendo che in questo caso la forza lavoro impiegata abbastanza costante e slegata dagli andamenti della produzione.

Figura 85: Confronto tra andamenti dei consumi e dei giorni lavorati



Nonostante tutto però, i risultati della regressione semplice rimangono deludenti, come riportato nella tabella di sotto.

Tabella 21: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e giorni lavorati

	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,203321	0,041339	2468,758	241,645
p-value	5,05E-01	-	7,73E-01	5,05E-01

Come test si è provato in seguito a correlare i consumi con la produzione, ma con scarsi risultati.

Tabella 22: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e produzione pompe

	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,213445	0,045559	11424,21	-0,01079
p-value	4,84E-01	-	2,84E-02	4,84E-01

Infine, come ultimo tentativo si è pensato ad una regressione multipla con i due driver enunciati in precedenza, che però risultano fortemente correlati tra di loro: questo è il motivo per cui non è stato possibile caratterizzare i consumi di questo reparto.

Tabella 23: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla

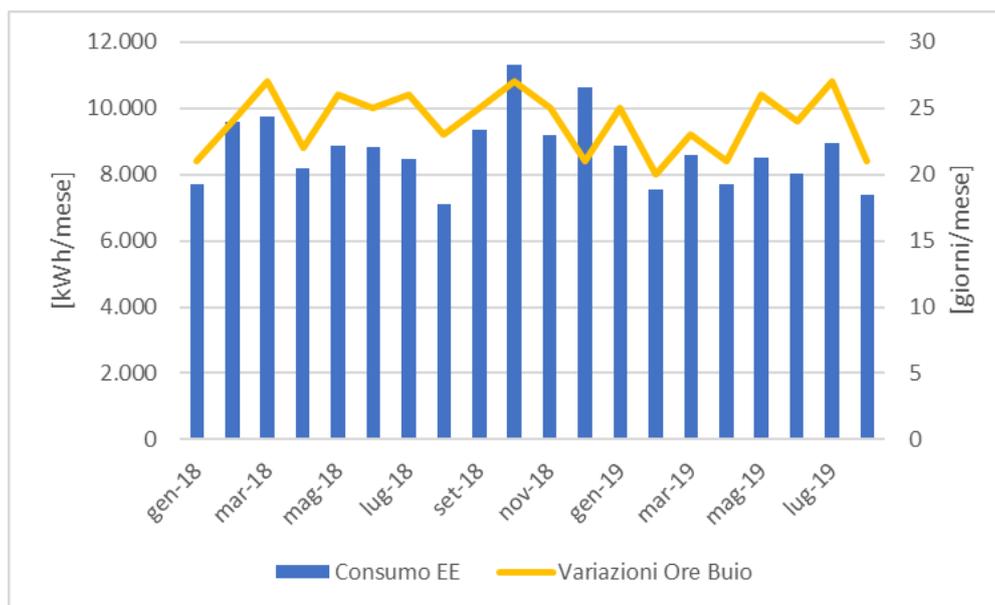
	GL [giorni/mese]	V [pompe/mese]	C [kWh/mese]
GL [giorni/mese]	1	0,04%	50,53%
V [pompe/mese]	0,83319	1	48,38%
C [kWh/mese]	0,20332	0,21345	1

Consumi Illuminazione

I dati dei consumi dell'illuminazione del reparto produttivo (ad esclusione della zona Gearbox del reparto assemblaggio), derivanti dai misuratori installati per il conteggio dei Titoli di Efficienza Energetica, sono stati correlati con l'energy driver Variazioni Ore Buio. Il fabbricato in cui è ubicato il reparto produttivo presenta infatti dei lucernai, i quali consentono l'ingresso della luce naturale in ambiente. Per questo motivo si è scelto di provare ad utilizzare le VOB, che sono un indice di quante ore di buio sono presenti in un mese in una località ad una certa latitudine (fonte Comuni Italiani). Un altro driver che si è scelto di utilizzare è i giorni lavorativi, in quanto l'illuminazione dipende anche dall'occupazione del sito.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 86: Confronto tra andamenti dei consumi e delle variazioni ore buio (Comunitaliani)



Si riportano in successione i risultati della regressione prima con i giorni lavorati, poi con le variazioni di ore di buio.

Tabella 24: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e giorni lavorati

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,515719	0,265966	3007,234	238,853
p-value	1,99E-02	-	1,98E-01	1,99E-02

Tabella 25: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e variazione ore buio

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,365336	0,13347	8233,41	166,4214
p-value	1,13E-01	-	1,87E-14	1,13E-01

Come si può notare dalle tabelle precedenti, i risultati non sono così buoni per le regressioni semplici, per cui si è fatto un nuovo tentativo con la correlazione multipla, i cui risultati sono riportati in seguito.

Tabella 26: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla

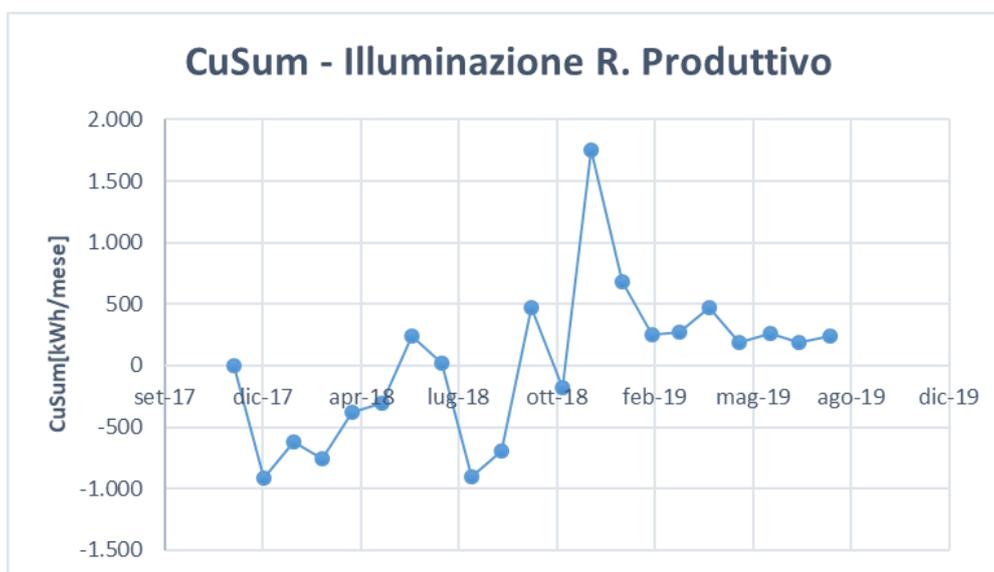
	GL [giorni/mese]	VOB [ore/mese]	C [kWh/mese]
GL [giorni/mese]	1	18,32%	1,99%
VOB [ore/mese]	0,31021	1	11,32%
C [kWh/mese]	0,51572	0,36534	1

Tabella 27: Dati statistici di regressione lineare multipla

	R	R ²	C ₀	C ₁	C ₂
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/giorno]	[kWh/ora]
valore	0,996989	0,993988	0	331,067	268,3431
p-value	8,17E-20	-	3,32E-17	3,32E-17	8,75E-04

Si nota un netto miglioramento dei dati statistici e si è potuta concludere la caratterizzazione energetica con questi due energy drivers. La non significatività dell'intercetta ha portato a effettuare un'analisi di Run Through the Origin, che ha portato all'azzeramento di quest'ultima. Con i coefficienti trovati da quest'ultima analisi si è potuto costruire il CuSum, e non notare anomalie nel funzionamento nei mesi del periodo esaminato.

Figura 87: Diagramma CuSum



Consumi Blindo 14

Si vuole ora mostrare a titolo esemplificativo, una caratterizzazione di natura diversa alle altre, in quanto effettuata solamente sui carichi elettrici di una blindosbarra del reparto produttivo, la Blindo 14, una delle più energivore. Inoltre, tale caratterizzazione verrà approfondita a livello settimanale, una cadenza temporale per cui non erano disponibili i dati di produzione, ma tramite un semplice algoritmo si è riusciti a ricavare un altro energy driver. Si sta parlando nel dettaglio delle ore lavorate, le quali sono state calcolate come la somma di tutti gli intervalli temporali di campionamento il cui rispettivo dato di potenza rilevata era maggiore di 50 kW.

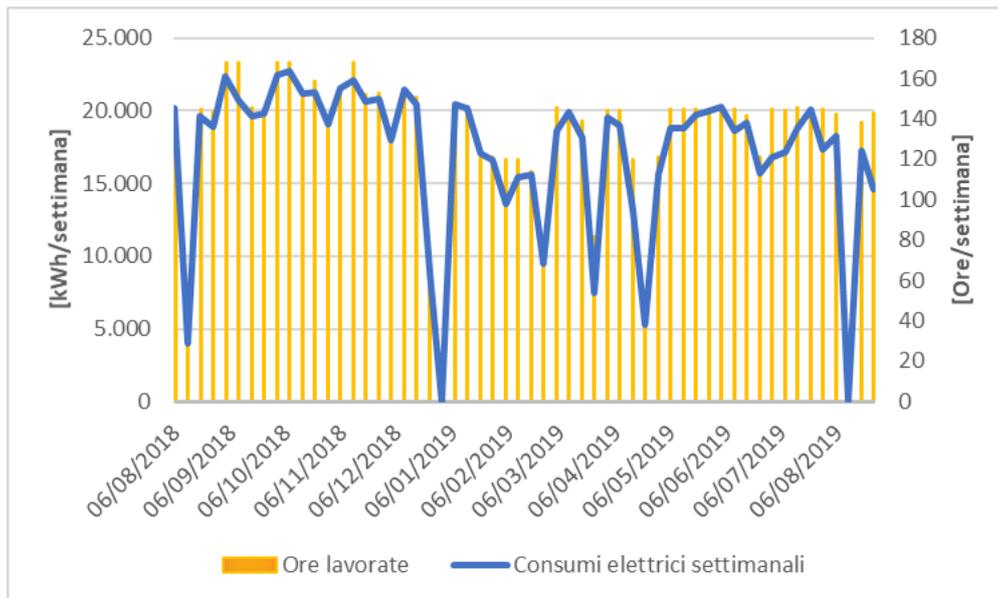
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 88: Algoritmo di calcolo dell'energy driver ore lavorate – profilo settimanale



Si mostra nella figura soprastante come si riesce grazie alla scelta di questa potenza limite di 50 kW, a discernere in modo abbastanza preciso quello che è il profilo tipico di lavoro che si attesta sui 140 kW, alle brevi interruzioni produttive che non scendono sotto i 60 kW solitamente. Quando invece il profilo va sotto i 50 kW è durante le domeniche o le festività, in cui scende fino ad una decina di kW. La potenzialità della correlazione tra le variabili dei consumi e le ore lavorate si mostrano nel solito grafico, in cui si confrontano gli andamenti delle due grandezze.

Figura 89: Confronto tra andamenti dei consumi settimanali e le ore lavorate



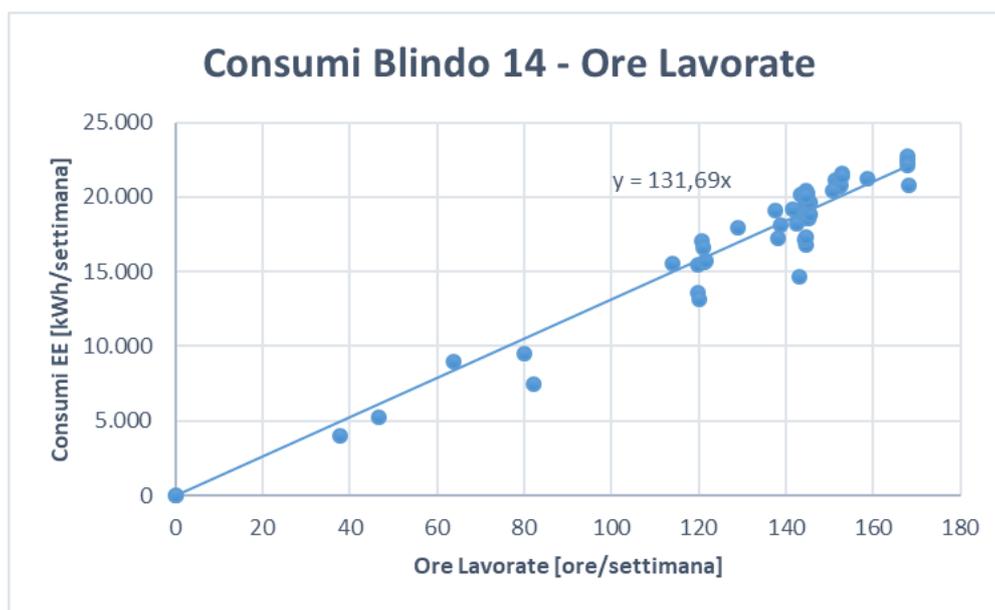
I risultati della caratterizzazione energetica si riportano in seguito.

4. Caratterizzazione Energetica

Tabella 28: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di EE e ore lavorate

	R	R ²	C ₀	C ₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,997739	0,995483	0	131,6912
p-value	3,18E-65	-	-	3,46E-66

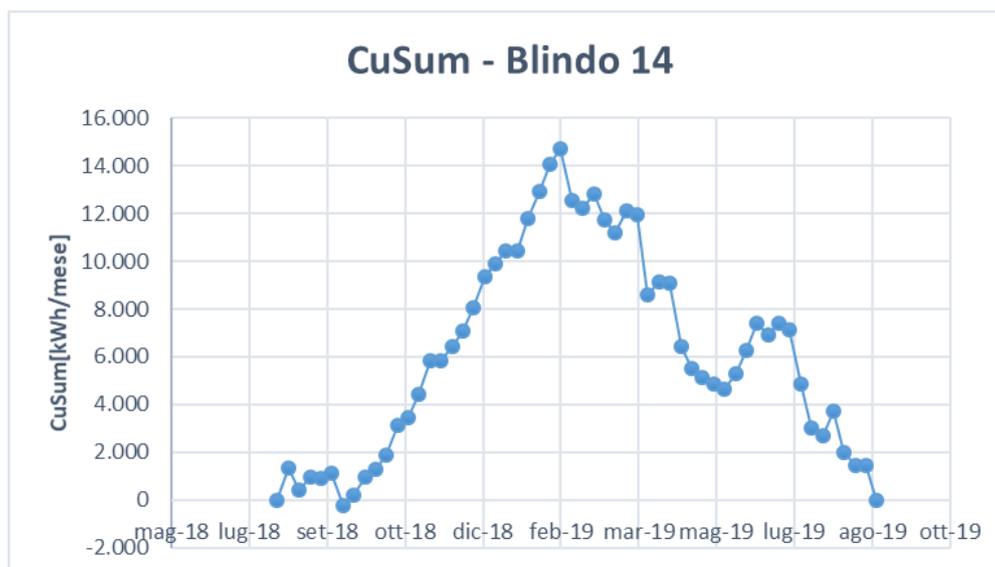
Figura 90: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



L'ottima correlazione statistica è macchiata dalla non significatività dell'intercetta, che porta al calcolo della retta passante per l'origine. Questo testimonia l'ottimo comportamento gestionale dei macchinari sotto la blindosbarra in esame, i quali, in caso di chiusura aziendale e cessazione delle attività lavorative, vengono spenti completamente. Inoltre, il range ridotto della dispersione dei dati, rende più difficile, statisticamente parlando, la definizione di un valore di quota fissa sull'asse delle ordinate.

Si continua l'analisi riportando il diagramma CuSum.

Figura 91: Diagramma CuSum



Si nota da quest'ultimo, che è presente un nodo nella prima settimana di Febbraio 2019, validato statisticamente sia dal test di ipotesi sulle varianze, sia da quello delle medie. Questo cambiamento potrebbe essere dovuto al periodo di cassa integrazione aziendale, cominciato a gennaio 2019 e protrattosi nei primi mesi dello stesso anno.

Ricalcolando le caratteristiche per i due periodi si trovano i seguenti valori.

Tabella 29: Dati di regressione lineare semplice del primo periodo

	R	R²	C₀	c₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,999113	0,998227	0	135,2418
p-value	3,94E-36	-	-	2,66E-37

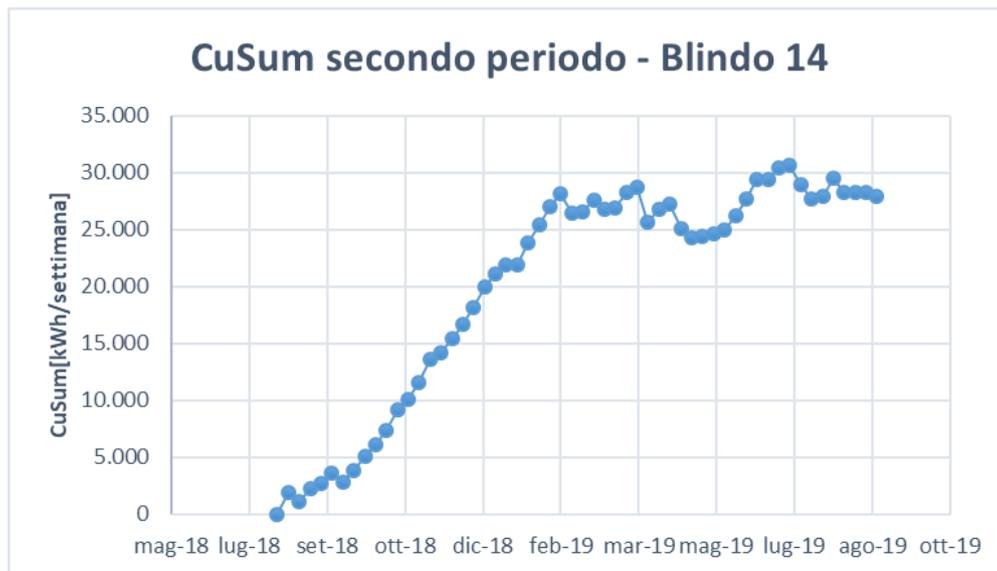
Tabella 30: Dati di regressione lineare semplice del secondo periodo

	R	R²	C₀	c₁
	[-]	[-]	[kWh]	[kWh/pezzo]
valore	0,99695	0,99391	0	127,8868
p-value	1,16E-31	-	-	1,45E-32

In entrambi i casi, si trova una caratteristica a intercetta nulla, con il periodo di cassa integrazione che presenta una pendenza meno marcata.

Si riporta infine il CuSum sull'intero periodo calcolato sulla caratteristica più recente stabile che è quella del secondo periodo.

Figura 92: Diagramma CuSum – Caratteristica secondo periodo



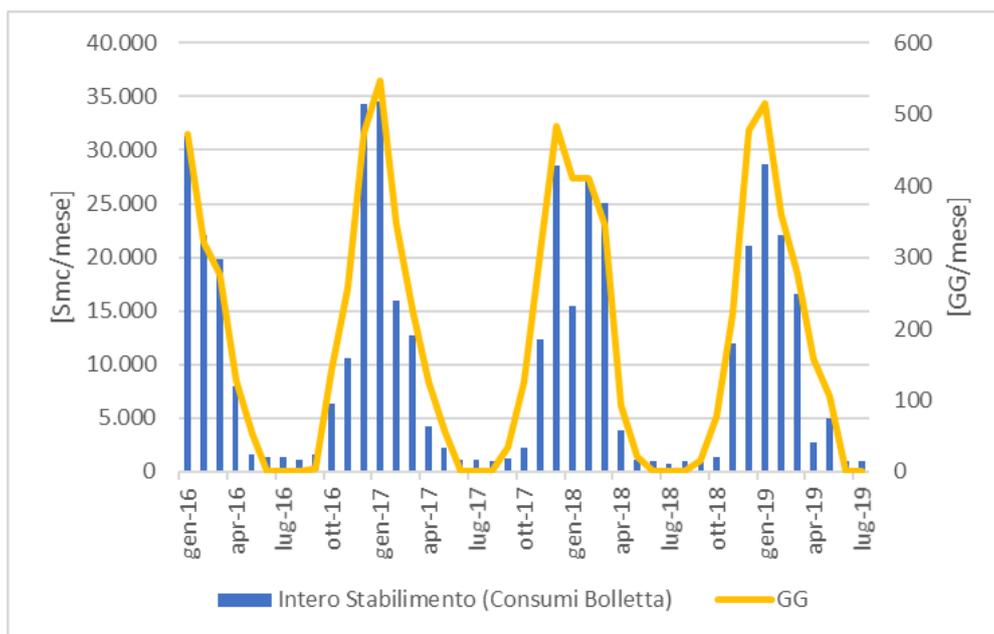
Dal grafico si nota che il risparmio conseguito al cambiamento nella prestazione energetica, è tra i 25000 e i 30000 kWh, quantificabile in termini economici tra i 3 e i 4 mila euro.

Consumi Gas Naturale

Esauriti i dati di consumo elettrico, si passa ora a quelli di gas naturale. Questi dati sono unicamente disponibili dal contatore fiscale, non essendo presenti misuratori interni attualmente in azienda. Nonostante ciò, dato che il gas viene consumato in azienda prevalentemente per il riscaldamento invernale, si è subito pensato di correlare i volumi di gas utilizzato con i Gradi Giorno invernali calcolati per la stazione meteo più prossima alla località in cui è ubicato il sito (Arpae, s.d.). I due andamenti infatti sono molto simili, come testimoniato dalla figura riportata in seguito.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 93: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



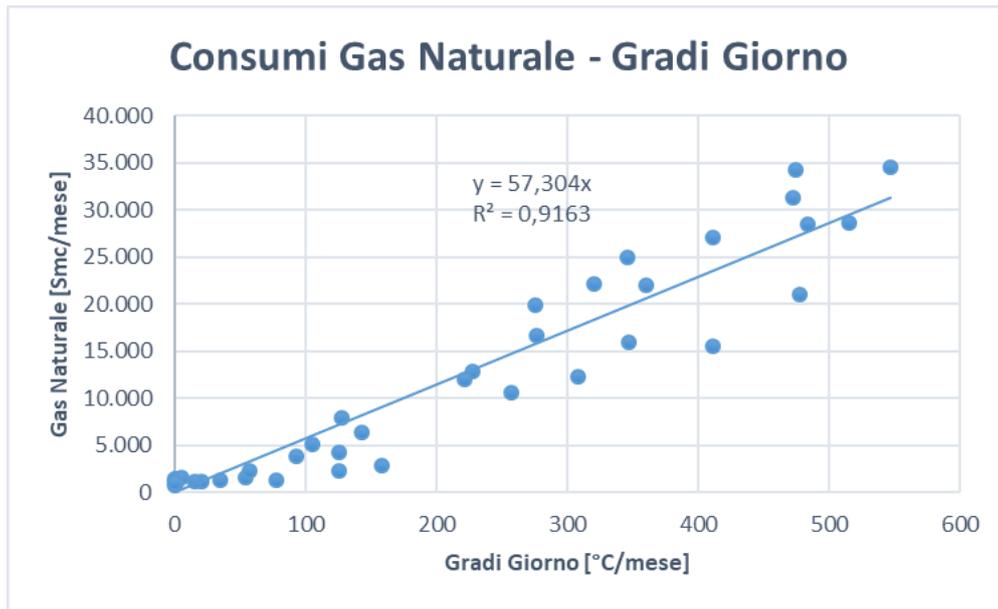
La successiva regressione infatti si è dimostrata potenzialmente buona, anche se la quota fissa di consumo di gas non ha assunto una rilevanza statistica tale da essere mantenuta nella caratteristica. Infatti, ci si aspetterebbe di avere un'intercetta dell'ordine di grandezza dei consumi estivi fatturati (circa 1200 Sm³/mese, nei mesi in assenza di riscaldamento). Ma rispetto a quanto viene consumato dalle caldaie in inverno, questi consumi non trovano significatività all'interno dell'intercetta, la quale non trova luogo nella caratteristica iniziale.

Tabella 31: Dati di regressione lineare semplice tra consumi di GN e produzione pompe

	R	R²	C₀	C₁
	[-]	[-]	[Smc]	[Smc/°C]
valore	0,972263	0,945296	0	57,304
p-value	1,07E-27	-	-	3,96E-28

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 94: Interpolazione lineare dei dati campione – Gas Naturale



Si nota però dal grafico una grande dispersione dei campioni, che testimonia in realtà una variabilità dei dati non trascurabile. Infatti, essendo che le temperature medie giornaliere disponibili erano quelle della stazione meteo più vicina al sito (comune di Copparo), che rende il calcolo dei Gradi Giorno non è così attendibile come ci si aspetterebbe. Oltre la dispersione notevole, si nota anche un andamento non propriamente lineare a gradi giorno minori, che molto spesso è indice di una notevole stratificazione termica negli ambienti interni, anche se non è un dato riscontrabile nella pratica [4]. Per cercare di migliorare queste imprecisioni sui driver, si vuole provare a vedere se per tener conto anche dei consumi estivi tramite il modello, si può includere il driver produzione per un'eventuale regressione multipla.

Tabella 32: Matrice degli energy drivers per correlazione multipla

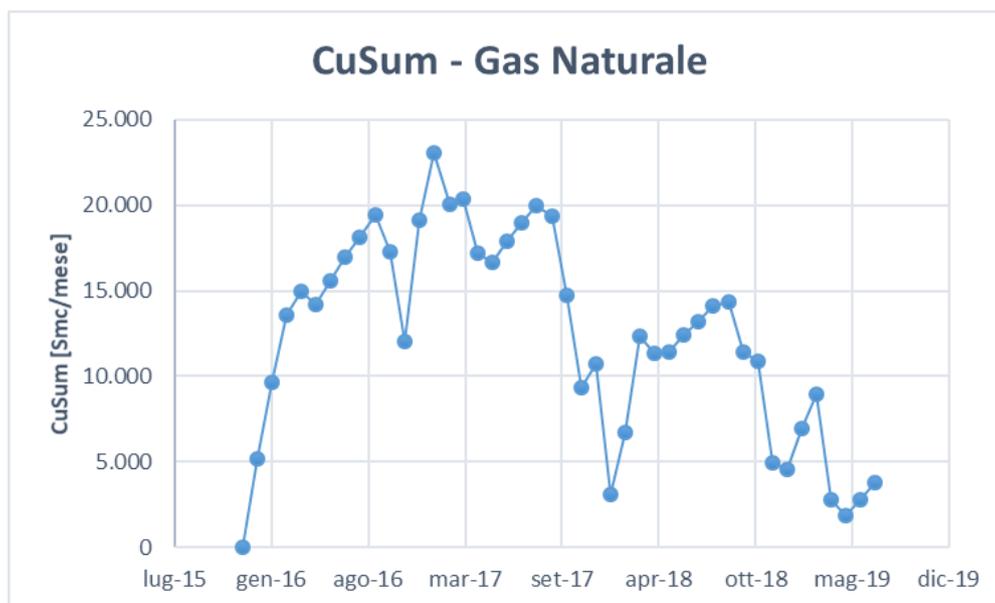
	GG [°C/mese]	V [pompe/mese]	C [kWh/mese]
GG [°C/mese]	1	58,93%	0,00%
V [pompe/mese]	0,13227	1	49,50%
C [kWh/mese]	0,93317	0,16676	1

Nonostante la matrice degli energy drivers non segnali problemi di possibile multicollinearità tra le variabili però, la correlazione tra produzione e gas naturale presenta p-value troppo alti, il quale rende non significativo il legame.

Appurata l'impossibilità di effettuare un'analisi di regressione multivariabile, si procede con l'equazione della retta trovata in precedenza.

Si sviluppa quindi la previsione dei consumi, riportata nel diagramma CuSum in Figura 95.

Figura 95: Diagramma CuSum



Questo diagramma risulta differente rispetto a quelli osservati fino ad ora: infatti non si notano solamente due tratti rettilinei separati da un nodo, ma si trovano tratti più piccoli in periodi temporali diversi che sembrano avere la stessa pendenza.

Questo accade perché le diverse prestazioni energetiche dipendono dalla stagione considerata, dal momento che tra una e l'altra cambia il modo in cui viene utilizzato il gas naturale. Nel nostro caso si riescono a distinguere abbastanza bene due periodi a diversa pendenza: uno in concomitanza dei mesi invernali, l'altro nei mesi estivi.

Si potrebbe quindi svolgere un'altra volta l'analisi per i due periodi individuati, arrivando a scoprire quanti Sm³ di gas naturale vengono persi per il peggioramento della prestazione in estate delle caldaie, ma essendo essa una condizione difficilmente migliorabile, non si proseguirà con tale analisi. Inoltre, il CuSum presenta dei valori relativamente piccoli e di sicuro inferiori alle mensilità più fredde per cui si può ritenere che la caratteristica sia valida e non sia cambiata nel periodo esaminato.

L'ultimo test che è possibile fare, tenendo conto del consumo estivo del combustibile per le attività produttive nel forno, di produzione di ACS e per il funzionamento della batteria di post-riscaldamento dell'UTA, è di forzare l'intercetta della retta ad un valore prefissato. Quest'ultimo, si attesta mediamente sui 1.222 Sm³ per i mesi estivi, motivo per cui si è deciso di utilizzare tale valore.

La nuova caratteristica e il nuovo diagramma CuSum vengono riportati nelle figure che seguono.

4. Caratterizzazione Energetica

Figura 96: Interpolazione lineare dei dati campione – Gas Naturale

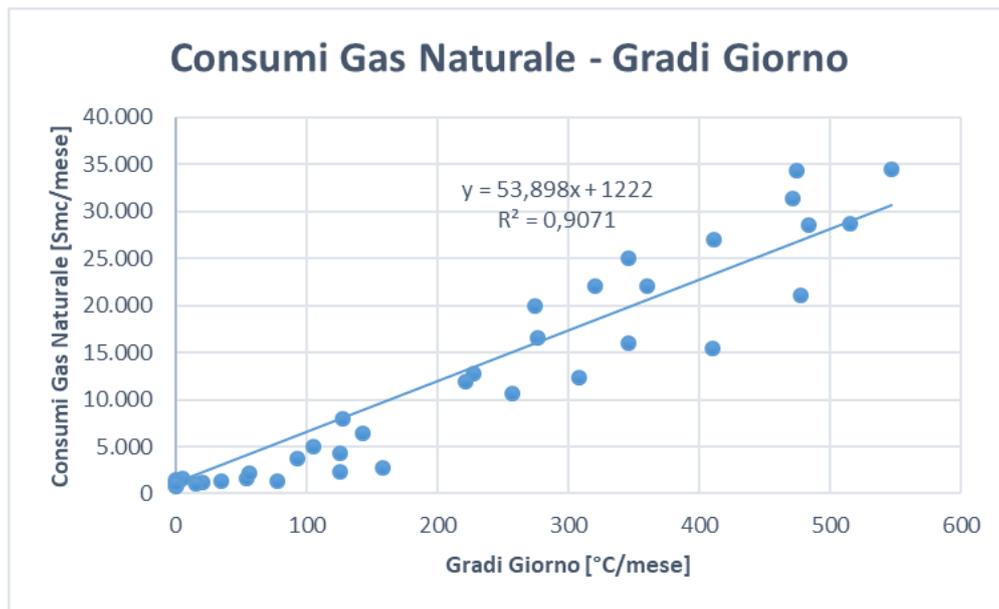
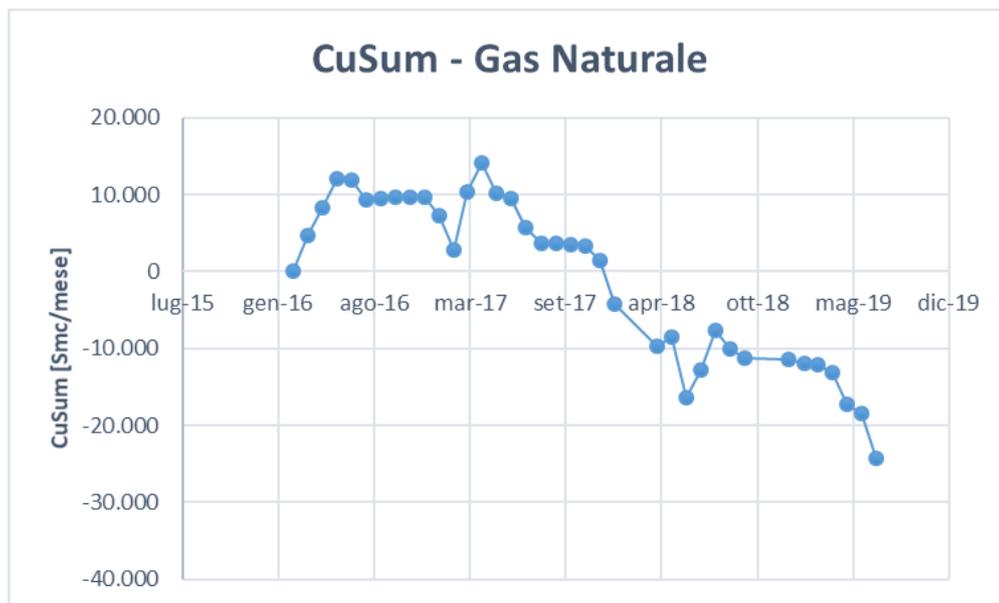


Figura 97: Diagramma CuSum con caratteristica forzata



Dalla nuova caratteristica trovata non si notano però indicazioni aggiuntive o miglioramenti in generale, a testimonianza del ridotto peso dei consumi dei mesi estivi rispetto a quelli invernali.

Riepilogo analisi statistica

Dopo aver modellizzato la maggior parte delle aree a uso significativo di energia del sito di Ostellato, si vogliono riassumere i risultati principali ottenuti in questo paragrafo.

Si riporta innanzitutto l'elenco delle equazioni di caratterizzazione ottenute per ogni area in maniera tabellare, includendo la caratteristica energetica trovata del periodo più recente stabile, che è quindi l'attuale espressione della prestazione energetica dello stabilimento.

Tabella 33: Riepilogo Caratterizzazione Energetica per area

Numero Area	Descrizione Area	Caratteristica Energetica
1-EE	Intero Stabilimento	$C = 396668,5 + 690,4 \cdot GG_e + 1,49 \cdot V$
2-EE	Rep. Produttivo	$C = 142247,1 + 0,91 \cdot V$
3-EE	Rep. Ingranaggi	$C = 76086,4 + 0,57 \cdot V$
4-EE	Rep. Corpi	$C = 28063,5 + 0,11 \cdot VC$
5-EE	Rep. Boccole	$C = 24558,2 + 0,071 \cdot VB$
6-EE	Rep. Lavaggio	$C = 3652,9 + 0,00085 \cdot VL$
7-EE	Rep. Assemblaggio	$C = 19506,4 + 0,088 \cdot V$
8-EE	Rep. Compressori	$C = 70109,3 + 0,17 \cdot V$
9-EE	Rep. L&T	-
10-EE	Illuminazione	$C = 331,1 \cdot GL + 268,3 \cdot VOB$
1-GN	Intero Stabilimento	$C = 56,42 \cdot GG$

Valutando i risultati della prestazione energetica trovata, si può riassumere che tutti i reparti ad eccezione di quello engineering L&T sono stati caratterizzati energeticamente con successo. Quasi tutte le caratterizzazioni sono valide usando una sola variabile, mentre per la correlazione dei consumi elettrici delle aeree 1-EE e 10-EE, si è dovuto ricorrere all'integrazione di un driver aggiuntivo.

L'area 1-EE, caratterizzante l'intero stabilimento, ha presentato un nodo significativo ad agosto 2018. I motivi di tale nodo non sono stati individuati data la complessità e le dinamiche differenti presenti all'interno di uno stabilimento come quello di ZF Automotive. Questo è proprio il grande limite dell'analisi statistica: se non si trovano i motivi di un cambiamento che come in questo caso è peggiorativo, non è nemmeno possibile pensare una logica migliorativa dal punto di vista dell'efficientamento energetico.

Nel caso in esame però, grazie al sistema di monitoraggio installato, si è potuta approfondire l'analisi a tutte le aree a forte consumo di energia dell'azienda. Per i reparti corpi, assemblaggio, lavaggio e illuminazione, non si sono rilevati significativi cambiamenti nella prestazione energetica.

Invece i restanti reparti hanno in comune un nodo ad aprile 2019, che indica un possibile cambiamento della prestazione energetica da quel mese. Questa tendenza si fa sentire anche nella caratteristica dell'intero reparto produttivo ed è con tutta probabilità dovuta all'installazione di macchinari per i test di

produzione nel reparto ingranaggi nella primavera 2019, come comunicato dal personale aziendale.

Infatti, si è riusciti a risalire che il grosso dei cambiamenti è dovuto ad un fuori controllo segnalato nel Blindo 13 del reparto ingranaggi, luogo di installazione delle nuove macchine. Più delicato è il discorso degli altri reparti che presentano lo stesso nodo. Per il reparto compressori è plausibile che sia aumentata la richiesta di aria compressa per il funzionamento delle macchine test senza che esse siano effettivamente produttive. Questa motivazione che giustificherebbe il peggioramento della prestazione di entrambe le caratteristiche energetiche.

Per il reparto boccole invece non si segnalano sostanziali cambiamenti se non nella disposizione delle macchine sempre in quel periodo, ma il cambiamento non è totalmente giustificato.

Nel prossimo paragrafo invece si calcoleranno gli indici di prestazione energetica come richiesto per il compimento dell'Energy Review dall'ISO 50001.

4.4. EnPI

Definizione degli indici

Proseguendo il ciclo della ISO 50001, dopo aver instaurato una solida Energy Baseline, viene richiesto di calcolare gli EnPI di sistema (IPE²⁷ in italiano). La norma non indica in modo specifico come devono essere calcolati, ma indica che devono essere rappresentativi della prestazione energetica del sistema sul quale sono calcolati e devono essere aggiornati nel tempo.

Per avere degli indici di prestazione attendibili essi devono essere desunti dalla relazione che esiste tra i consumi e i relativi drivers. Per essere aggiornati devono essere inoltre coerenti con l'Energy Baseline calcolata. Per questo motivo gli indici verranno calcolati sulla base del modello matematico derivante dalla caratterizzazione energetica vista nel precedente paragrafo e si vedrà che in questo modo è possibile calcolare diversi indici che permettono di tenere in conto anche la variabilità del consumo energetico.

Il parametro più utilizzato in letteratura è sicuramente l'indice di consumo IC, che restituisce il valore di energia necessaria alla realizzazione di un'unità produttiva riferita ad un sistema. Esso però non viene sempre calcolato in modo accurato: nella maggior parte dei casi infatti viene desunto facendo un semplice rapporto tra i consumi e la variabile produttiva in un periodo, che solitamente si attesta su basi mensili e annuali. Così facendo però, si perdono in primo luogo le caratteristiche di attualità e stabilità della prestazione energetica, in seguito, data l'indipendenza dalla variabile produttiva, non ci si pone nelle condizioni ideali per un confronto tra diverse prestazioni energetiche. L'indice di consumo costituisce infatti un potente mezzo che permette il confronto tra aziende a simile processo produttivo, per avere un'indicazione di come si attesti la propria

²⁷ Indicatori di Prestazione Energetica

prestazione energetica in un quadro generale di concorrenza. Ma il confronto è utile solamente se ci si pone ad uguali condizioni produttive dato che i valori possono cambiare anche di molto in base alle condizioni produttive degli impianti.

Per questi motivi si calcolerà l'indice di consumo a capacità nominale IC_n così definito:

$$IC_n = \left(\frac{C}{V}\right)_n = \frac{C_0 + c_1 \cdot V_n}{V_n} = \frac{C_0}{V_n} + c_1 \quad (2)$$

Per avere indicazioni più precise sulla natura dei consumi bisognerà entrare adesso nel dettaglio della loro variabilità con l'energy driver produzione. Infatti, i consumi sono contraddistinti da una quota fissa e una variabile, che nella formula matematica della retta corrispondono rispettivamente a intercetta e alla pendenza moltiplicata per il driver [4]. Il peso di una componente rispetto all'altra determina quello che è definito grado di controllo dei consumi energetici: più peso ha la quota fissa C_0 , più i consumi sono indifferenti alle variazioni dei volumi produttivi, mentre più peso assume la quota variabile $c_1 \cdot V$, più essi sono flessibili. Ma il peso varia anche con la saturazione del sistema produttivo: più si è vicini alla saturazione, meno peso assume la quota fissa. Per questo motivo sempre in un'ottica di rendere confrontabili gli indici, si vuole calcolare un indice che tenga conto della variabilità dei consumi, ad un livello costante di saturazione: quello nominale.

Si ribadisce come sia importante puntare ad avere i consumi più flessibili possibili, per avere un grado di controllo maggiore, dal momento che la quota fissa è per definizione un consumo energetico non fruttuoso per un'azienda, la quale deve essere identificata come funzionale per la realtà in esame oppure come uno spreco derivante da una gestione non ottimale. Per facilitare l'individuazione delle quote fisse elevate, si propone un parametro detto *coefficiente di controllo dei consumi nominale* k_n . Esso è semplicemente il rapporto tra il consumo variabile e quello totale [4].

$$k_n = \frac{c_1 \cdot V_n}{C_n} = \frac{c_1 \cdot V_n}{C_0 + c_1 \cdot V_n} \quad (3)$$

Dalla (3) appare chiaro che se k_n idealmente valesse 1, significa che i consumi sarebbero completamente variabili, mentre se fosse uguale a zero, i consumi risulterebbero completamente fissi. Grazie a questo indice è possibile avere un'indicazione immediata in quali reparti deve essere rivista la gestione dei consumi per la riduzione della quota fissa.

I due indici appena visti, caratterizzano in modo univoco la prestazione energetica del sistema, come i due coefficienti C_0 e c_1 caratterizzano il modello matematico. La problematica derivante dal fatto che i due parametri generali dipendono dalla variabile produttiva è sorpassata tramite il calcolo degli indici nelle condizioni di produzione nominale, che verrà calcolata come il massimo storico del periodo più attuale stabile. Nella realtà il più delle volte si lavora a capacità più bassa di quella nominale, con il risultato di un peggioramento del

valore restituito dagli standard tecnici, fatto che deve essere tenuto in conto in un'ottica di confronto in condizioni reali di produzione.

Purtroppo, è possibile scendere nel dettaglio degli indici solamente per quanto riguarda la variabile produzione, per questo saranno calcolati solamente gli indici per le caratteristiche energetiche che presentano solamente questa tipologia di driver.

Calcolo e analisi degli indici

In questo paragrafo si riportano i risultati ottenuti dal calcolo degli indici di prestazione energetica. Essi verranno utilizzati poi in seguito come indicazione sulla determinazione delle opportunità di miglioramento energetico tramite il confronto tra i vari reparti.

Gli EnPI trovati, sono divisi per i reparti di cui è stato possibile il calcolo, cioè tutti i reparti che presentavano come driver potenziale l'unità produttiva. Infatti, gli indici sopracitati richiedono intrinsecamente un valore nominale, facilmente determinabile solamente nel caso della produzione. Per i reparti che presentavano nella caratteristica presentata in precedenza il semilavorato specifico di attività come driver, si è deciso di ricalcolare la caratteristica in funzione della variabile prodotto finito. Infatti, si è scelto di sacrificare leggermente il risultato statistico per ottimizzare la logica del confronto tra reparti, unificando l'energy driver tramite la produzione delle pompe, come mostrato nella tabella che segue.

Tabella 34: Caratteristiche energetiche utilizzate per il calcolo degli EnPI

Descrizione Area	Energy Drivers	Co	c1
	[pompe prod.]	[kWh]	[kWh/unità prod.]
Rep. Produttivo	V	142.247	0,91
Rep. Ingranaggi	V	76.086	0,57
Rep. Corpi	V	22.210	0,13
Rep. Boccole	V	29.020	0,10
Rep. Lavaggio	V	4.145	0,0077
Rep. Assemblaggio	V	19.506	0,088
Rep. Compressori	V	70.109	0,17279

Da qui si possono calcolare gli indici tramite la produzione nominale, che è stata assunta pari al picco produttivo osservato ad ottobre 2018 di 398577 pompe al mese.

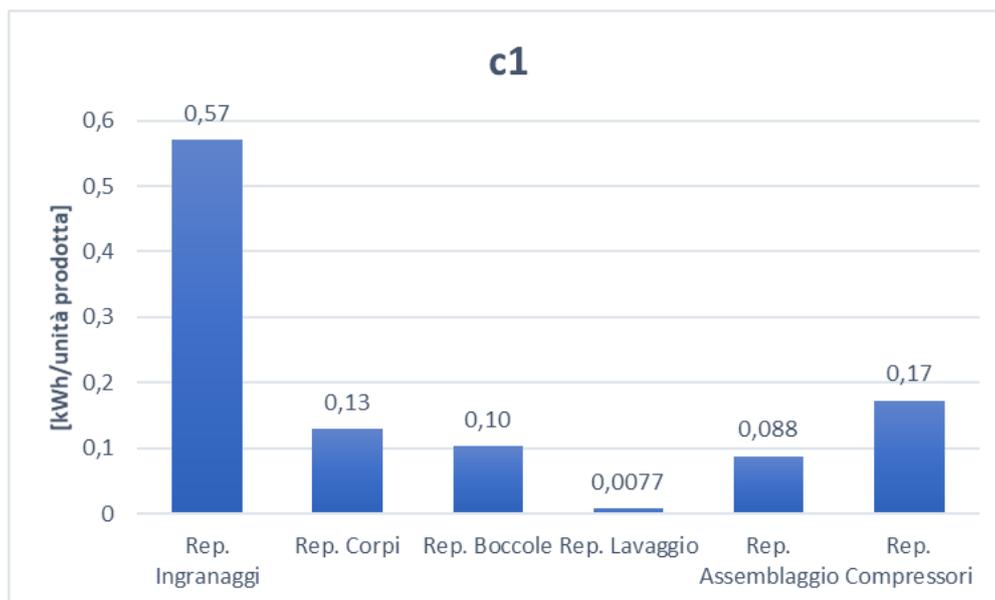
4. Caratterizzazione Energetica

Tabella 35: EnPI divisi per reparto

Area	kn	ICn
	[-]	[kWh/unità prod.]
Rep. Produttivo	0,718	1,267
Rep. Ingranaggi	0,749	0,761
Rep. Corpi	0,700	0,186
Rep. Boccole	0,586	0,176
Rep. Lavaggio	0,425	0,018
Rep. Assemblaggio	0,643	0,137
Rep. Compressori	0,496	0,349

Nei grafici successivi si confrontano gli indici tra i vari reparti aziendali, un'operazione molto utile ai fini dell'individuazione dei reparti su cui intervenire riguardo ad aspetti gestionali e di efficienza energetica.

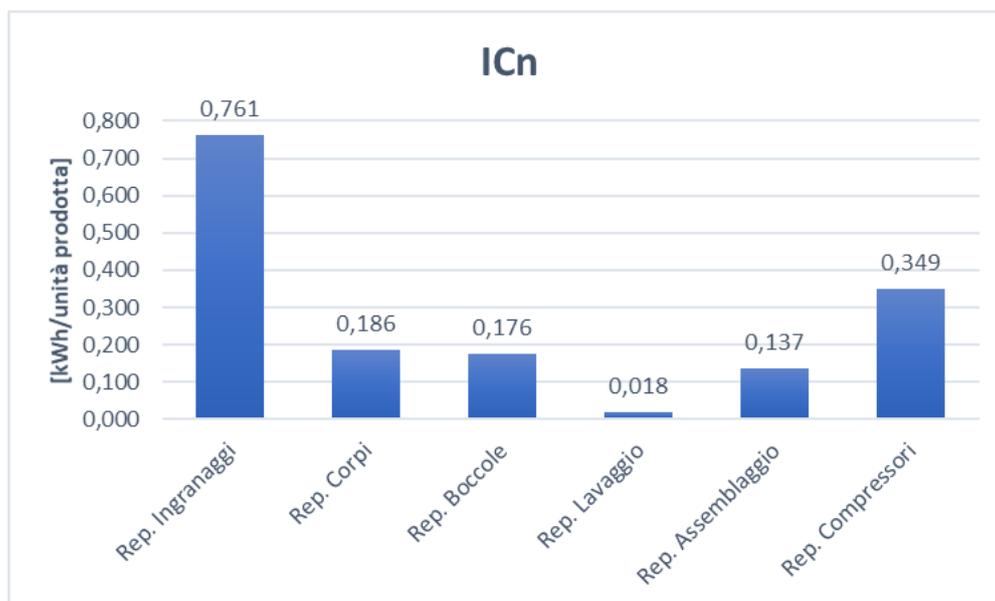
Figura 98: Confronto per reparto del coefficiente di pendenza della caratteristica c1



Dal grafico in Figura 98, si possono notare i reparti ad efficienza energetica maggiore, contraddistinti da un coefficiente di pendenza più basso. Il significato fisico di tale coefficiente è che a parità di prodotto finale, il reparto che presenta una pendenza più bassa, impiega meno energia per lo svolgimento delle sue attività.

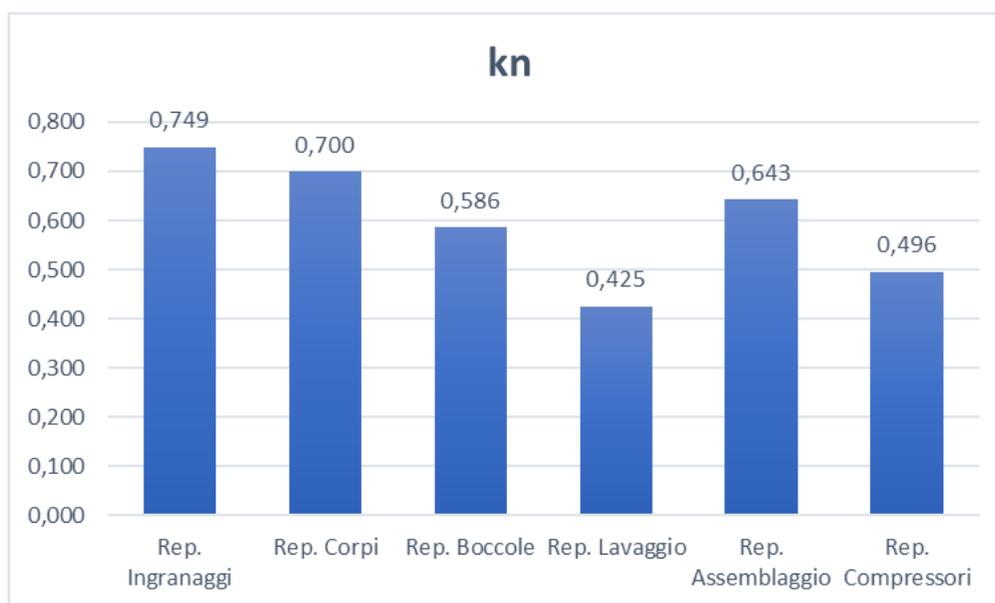
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 99: Confronto per reparto dell'indice di consumo nominale



Dal grafico riportato di sopra si possono notare i reparti più energivori sulla produzione del prodotto finale. Essa è un'indicazione molto utile per individuare le aree a maggior consumo di energia nell'azienda che costituiscono le prima a dover essere revisionate in un'ottica di miglioramento.

Figura 100: Confronto per reparto del coefficiente di controllo dei consumi nominali

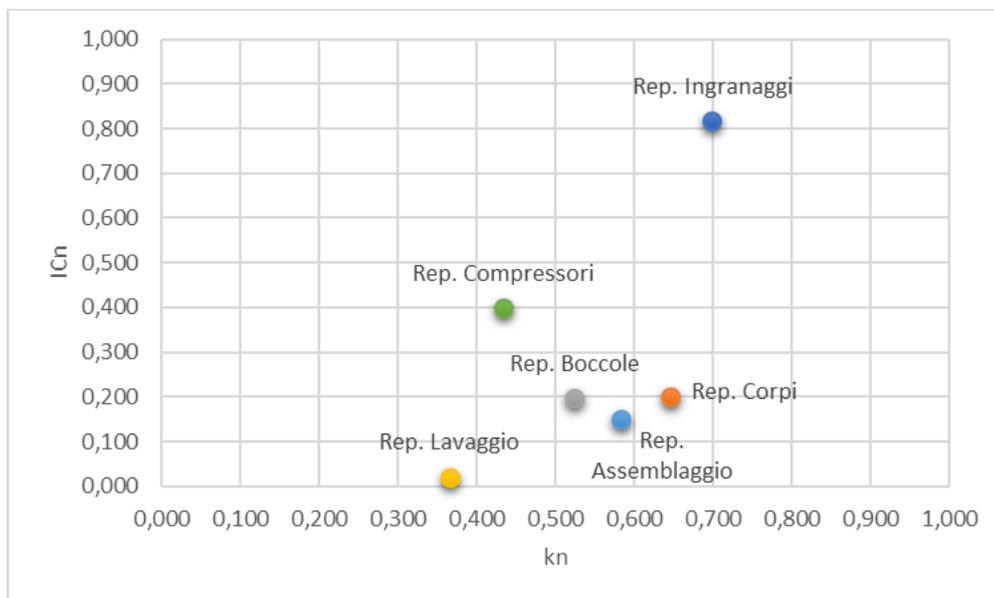


Infine, dal confronto sul kn si ottengono indicazioni sui reparti che hanno una quota maggiore di consumo energetico non giustificata. Questo dev'essere individuato dall'utilizzo quotidiano degli impianti, per l'individuazione di attività o comportamenti da revisionare per una gestione più oculata dei consumi.

In realtà si scopre che gli indici non sono slegati tra di loro, ma presentano una relazione ben precisa. Sviluppando analiticamente le formule (2) e (3) si ottiene che $IC_n = \frac{c_1}{k_n}$ il che indica che il fatto di avere un alto valore dell'indice di consumo, è dovuto al fatto di avere il coefficiente kn basso (sintomo di una

gestione energetica non ottimale) e/o il $c1$ elevato (sintomo di scarsa efficienza energetica degli impianti). Quest'ultimi aspetti dovranno poi trovare un riscontro fisico nella realtà della fisica del processo. Si riportano i risultati anche in un grafico, che solitamente è utilizzato per il confronto di prestazioni energetiche di processi simili.

Figura 101: Indici di consumo in funzione del coefficiente di controllo in condizioni nominali



Dal grafico si possono quindi desumere delle indicazioni generali sui reparti che acquisiscono priorità di intervento. Si ricorda che in realtà, il diagramma è funzionale per sistemi simili, quindi non è propriamente idoneo ad un confronto tra reparti diversi tra loro come ad esempio aria compressa e ingranaggi. Il diagramma sopra riportato è quindi utile nel mostrare sinteticamente tutti gli indici calcolati. Nella pratica se fosse operabile un confronto, avrebbero priorità di intervento i reparti con gli indici di consumo più elevati: di questi bisogna intervenire prevalentemente sulla gestione nei casi di kn minori della media, mentre sugli impianti nei casi di kn superiori alla media. Si rilevano dal diagramma in tale senso due anomalie: una per il reparto ingranaggi che presenta alti valori di kn e alti valori ICn , e il reparto lavaggio con bassi valori di entrambi gli indici. Questo è dovuto ad una differenza marcata del processo fisico che avviene in questi due reparti rispetto ai restanti. Le indicazioni trovate rimangono in ogni caso valide in termini assoluti.

Gli indici trovati possono essere utilizzati per effettuare Benchmarking con altre aziende dello stesso settore. Questa operazione risulta infatti molto utile poiché permette il confronto con lo stato dell'arte dei consumi energetici settoriali. Il problema risiede attualmente nella ricerca di indici attendibili con cui fare il confronto. Inoltre, il sito di Ostelloato presenta un processo produttivo molto specifico, per cui risulta ancora più difficile la ricerca di stabilimenti a simile processo produttivo. Sarebbe da approfondire anche il discorso sulla variazione degli indici con le condizioni di capacità produttiva diversa da quella nominale. Infatti, è interessante notare che al diminuire della saturazione produttiva, l'indice di consumo aumenta sensibilmente in base alla flessibilità della caratteristica specifica (che è legata al valore del coefficiente di controllo). Un

confronto a diversi gradi di saturazione rimane interessante solamente nell'ottica di un confronto tra stabilimenti diversi, e non tra reparti dello stesso stabilimento difficilmente confrontabili.

4.5. Analisi Deterministica

Viene adesso presentata l'analisi deterministica o ingegneristica, la quale molto spesso è utilizzata in sostituzione all'analisi statistica quando si valutano processi la cui fisica non fornisce indicazioni sull'efficienza energetica [4]. Nel caso in esame verrà usata complementariamente all'analisi statistica, solo con lo scopo illustrativo, in quanto il metodo è molto più invasivo e costoso rispetto a quello illustrato fino ad ora. Infatti, per sviluppare l'analisi deterministica è necessario conoscere gli assorbimenti delle singole macchine/impianti e in stabilimenti complessi come quello in esame, data moltitudine di processi diversi, risulta molto dispendioso. Le potenzialità del metodo sono però molto più elevate rispetto a quello statistico: infatti non solo si hanno più possibilità di individuare le cause di eventuali cambiamenti che emergono dall'analisi statistica, ma si possono direttamente avere indicazioni più precise sia riguardo ad inefficienze energetiche del macchinario, sia dal punto di vista del miglioramento della prestazione energetica sia dal punto di vista gestionale.

Allo stato dei fatti si dispone delle misurazioni delle singole macchine per quanto riguarda la lavatrice Durr E, con le grandezze elettriche rilevate dal multimetro Blindo 12 e il compressore GA 55+. Nonostante l'analisi deterministica dovrebbe essere effettuata sui macchinari più energivori di un'azienda, si è deciso comunque di proseguire con l'analisi allo scopo di illustrare il metodo.

Verranno in seguito presentate le analisi effettuate sulla Lavatrice Durr E.

Analisi dei carichi elettrici di stabilimento

Per cominciare, è buona prassi effettuare l'analisi delle potenze del sistema in generale, per avere una panoramica dell'utilizzo energetico all'interno dello stabilimento in maniera più approfondita. Infatti, nonostante si sia già detto che l'attività lavorativa si districi su quattro turni giornalieri a coprire le 24 ore di 6 giorni a settimana, si vuole vedere come si manifesti ciò a livelli di potenze.

Per effettuare questa analisi, si sono utilizzati i dati forniti dal distributore di energia elettrica aziendale delle energie attive e reattive ogni quarto d'ora. I dati, necessari per la fatturazione elettrica, sono stati elaborati per il periodo di un anno dal mese di settembre 2018 al mese di agosto 2019. Si riportano i risultati riguardanti i valori di picco, medi e minimi registrati nelle varie fasce elettriche.

4. Caratterizzazione Energetica

Tabella 36: Riepilogo potenze attive registrate per fascia

Mese	Potenza Attiva Minima [kW]				Potenza Attiva Massima [kW]				Potenza Attiva Media [kW]			
	F1	F2	F3	Totale	F1	F2	F3	Totale	F1	F2	F3	Totale
set-18	798	744	177	177	1.851	1.797	1.707	1.851	1.651	1.607	1.405	1.441
ott-18	0	1.221	0	0	1.653	1.608	1.569	1.653	1.450	1.453	1.326	1.343
nov-18	459	456	432	432	1.581	1.551	1.548	1.581	1.417	1.412	1.301	1.312
dic-18	282	285	282	282	1.536	1.494	1.509	1.536	1.188	1.187	1.075	1.084
gen-19	279	276	252	252	1.587	1.494	1.497	1.587	1.357	1.309	1.168	1.192
feb-19	333	264	249	249	1.581	1.548	1.518	1.581	1.311	1.174	1.028	1.051
mar-19	393	102	231	102	1.584	1.545	1.581	1.584	1.285	1.181	1.031	1.052
apr-19	279	282	261	261	1.575	1.572	1.524	1.575	1.238	1.161	1.035	1.051
mag-19	507	507	267	267	1.605	1.572	1.533	1.605	1.425	1.410	1.252	1.273
giu-19	483	459	228	228	1.920	1.890	1.806	1.920	1.691	1.623	1.347	1.413
lug-19	1.320	1.254	303	303	1.950	1.878	1.830	1.950	1.754	1.689	1.465	1.530
ago-19	309	306	270	270	1.998	1.890	1.800	1.998	1.489	1.432	1.240	1.304

Per completezza si riporta la statistica trovata dividendo le potenze di stabilimento per appartenenza ad intervalli di 200 kW. Si denota che la maggior parte delle potenze rilevate stazionano nell'intervallo tra i 1200 e 1800 kW per più del 70% dell'intero periodo.

Tabella 37: Riepilogo potenze attive registrate per intervallo di potenza

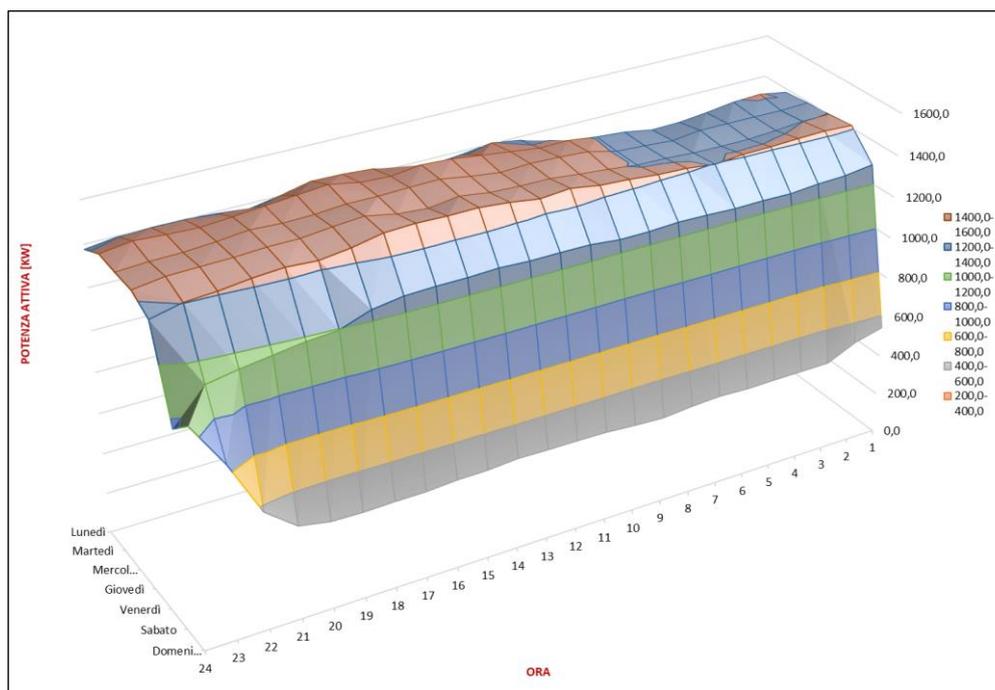
Intervallo	Numero potenze registrate	Incidenza percentuale
0 - 200 kW	24	0,07%
200 - 400 kW	3.960	11,30%
400 - 600 kW	2.258	6,44%
600 - 800 kW	872	2,49%
800 - 1000 kW	1.051	3,00%
1000 - 1200 kW	962	2,75%
1200 - 1400 kW	5.880	16,78%
1400 - 1600 kW	13.387	38,20%
1600 - 1800 kW	5.656	16,14%
1800 - 2000 kW	990	2,83%

Dalla Tabella 37 si denota anche che una buona fetta dei dati misurati è presente nell'intervallo tra i 200 e i 400 kW, che si riconosce come carico fisso di base presente durante i periodi di chiusura aziendale.

Si riporta dunque nel grafico 3D sottostante, la ricostruzione del profilo di potenza attiva settimanale standard giorno per giorno, ottenuto tramite le medie orarie del periodo temporale analizzato.

4. Caratterizzazione Energetica

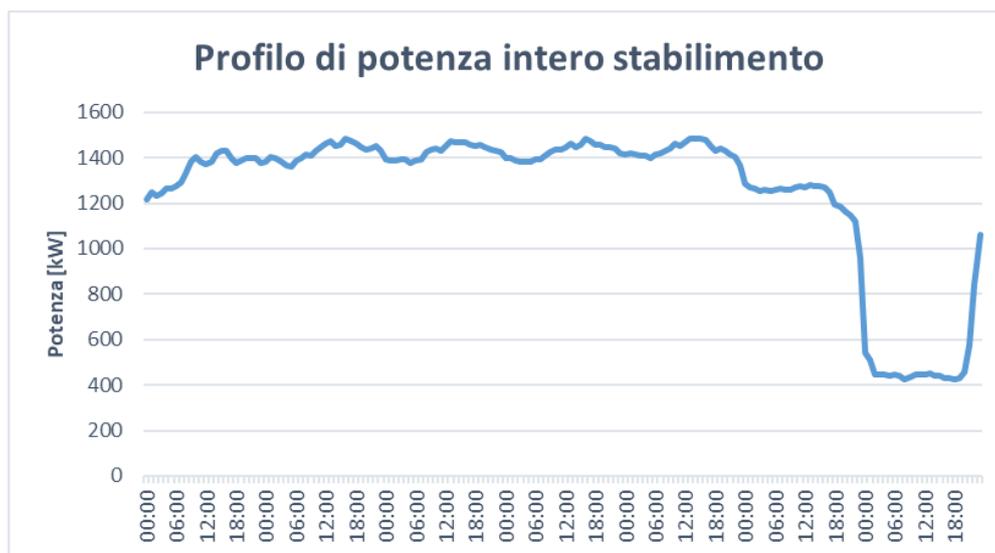
Figura 102: Profilo di potenza attiva medio settimanale dello stabilimento in 3D



Dalla figura si nota in primo luogo la piattezza settimanale che denota l'assenza di attività di pausa e chiusure notturne. Poi si nota che tendenzialmente, l'attività aziendale è lievemente maggiore nelle ore pomeridiane e serali dei giorni centrali della settimana. Infine, si nota una prima flessione il sabato e la chiusura aziendale nella giornata di domenica che fa calare i picchi.

Per quantificare al valore del carico di base, si passa all'analisi del profilo in 2D, riportato nella figura che segue.

Figura 103: Profilo di potenze medio settimanale dello stabilimento in 2D



4. Caratterizzazione Energetica

Gli andamenti della settimana tipo detti in precedenza sono sottolineati nuovamente qui, dove si nota inoltre che il carico di base la domenica si attesta sui 400 kW. Le attività di apertura e chiusura domenicali saranno infatti analizzate in seguito per la ricerca di comportamenti e gestioni non ottimali durante la predisposizione degli ausiliari delle macchine.

Si ripetono gli stessi passaggi effettuati per la potenza reattiva, a partire dalle tabelle di riepilogo per fascia e per intervallo di potenza reattiva.

Tabella 38: Riepilogo potenze reattive registrate per fascia

Mese	Potenza Reattiva Minima [kVAr]				Potenza Reattiva Massima [kVAr]				Potenza Reattiva Media [kVAr]			
	F1	F2	F3	Totale	F1	F2	F3	Totale	F1	F2	F3	Totale
<i>set-18</i>	180	165	0	0	576	603	564	603	486	472	416	420
<i>ott-18</i>	0	294	0	0	510	501	504	510	377	386	360	352
<i>nov-18</i>	21	21	0	0	471	477	492	492	362	365	343	336
<i>dic-18</i>	0	0	0	0	450	453	456	456	293	300	265	262
<i>gen-19</i>	0	0	0	0	462	429	453	462	347	331	287	292
<i>feb-19</i>	0	0	0	0	504	483	462	504	328	287	247	251
<i>mar-19</i>	21	0	12	0	480	480	480	480	337	313	271	274
<i>apr-19</i>	15	6	6	6	483	495	474	495	324	306	273	275
<i>mag-19</i>	63	60	0	0	552	498	471	552	375	375	327	334
<i>giu-19</i>	39	27	0	0	639	624	591	639	514	490	390	417
<i>lug-19</i>	399	378	15	15	669	627	600	669	556	530	447	476
<i>ago-19</i>	21	15	0	0	684	651	621	684	472	453	377	404

Tabella 39: Riepilogo potenze reattive registrate per intervallo di potenza

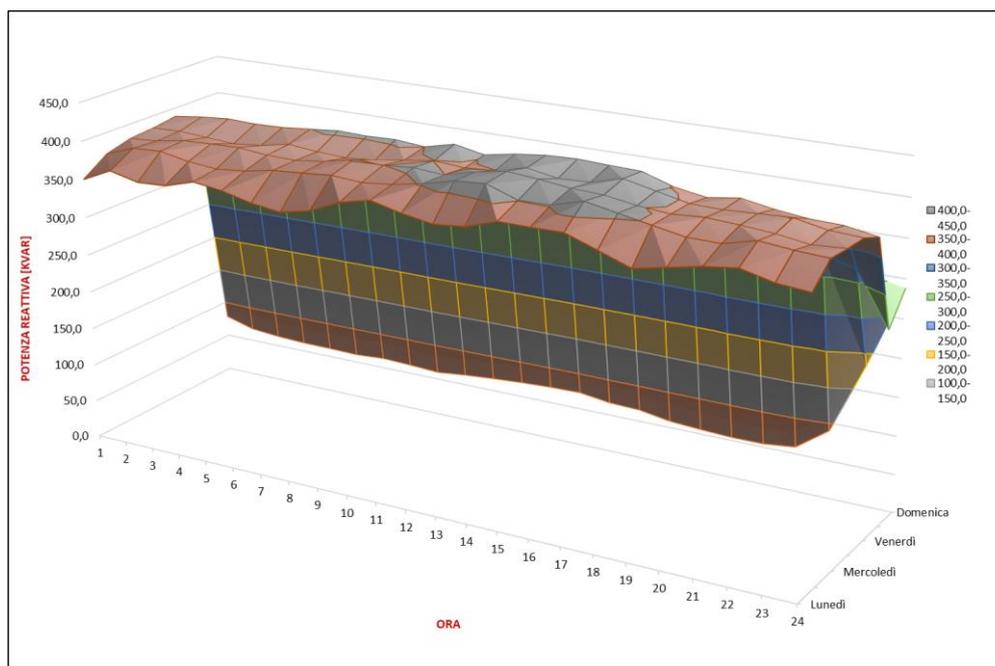
Intervallo	Numero potenze registrate	Incidenza percentuale
0 - 70 kVAr	5.102	14,56%
70 - 140 kVAr	1.752	5,00%
140 - 210 kVAr	920	2,63%
210 - 280 kVAr	963	2,75%
280 - 350 kVAr	3.256	9,29%
350 - 420 kVAr	12.324	35,17%
420 - 490 kVAr	4.393	12,54%
490 - 560 kVAr	4.023	11,48%
560 - 630 kVAr	2.218	6,33%
630 - 700 kVAr	89	0,25%

Le potenze reattive seguono abbastanza fedelmente l'andamento delle potenze attive anche se presentano un carico base nella fascia di potenza minore.

Infine, si riporta il profilo 3D della settimana standard per gli assorbimenti dello stabilimento dell'energia reattiva.

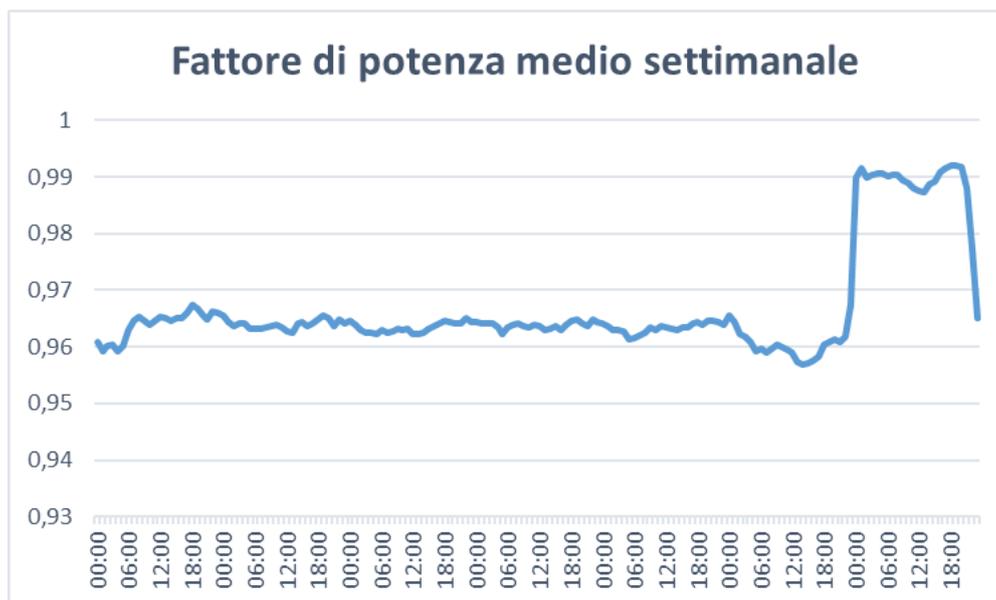
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 104: Profilo di potenza media reattiva settimanale dello stabilimento in 3D



Si studia ora l'andamento del fattore di potenza della settimana tipo, dove si evidenzia la presenza di rifasatori centralizzati installati sull'impianto elettrico. Infatti, il valore della grandezza elettrica è stabilmente superiore al valore di 0,95, che corrisponde al limite normativo oltre il quale vengono corrisposte delle penali sull'energia reattiva. In altri termini, questo significa che la potenza reattiva è stabilmente sotto il 33% del valore della potenza attiva.

Figura 105: Profilo di potenze medio settimanale dello stabilimento in 2D



Il valore del fattore di potenza costituisce spesso un indice del giusto dimensionamento dei macchinari elettrici induttivi: più un carico elettrico è sovradimensionato più assorbe energia reattiva e quindi abbassa il valore del cos fi. Dall'assorbimento totale di azienda però, data la presenza dei rifasatori, non è

possibile ricavare il valore reale del fattore di potenza, che dovrà essere analizzato sui singoli utilizzatori.

Dall'analisi effettuata sulle potenze assorbite dal sito di Ostellato nel periodo da settembre 2018 ad agosto 2019, si denota solamente un carico di base domenicale consistente, che si cercherà successivamente di vedere se giustificabile o meno. Per il resto, non è stato possibile osservare anomalie di funzionamento nell'assorbimento dalla rete dell'impianto elettrico.

Segue adesso la trattazione nel dettaglio dei macchinari, dove si andrà nel dettaglio dell'utilizzo dei macchinari produttivi.

Lavatrice Industriale Durr E

Si procede ora all'analisi deterministica della lavatrice Durr E a scopo illustrativo. I dati delle grandezze elettriche sono stati scaricati dal portale del monitoraggio in concomitanza del misuratore Blindo 12. Si è scelto di analizzare tali dati proprio perché riferiti agli assorbimenti di una singola macchina, poiché la presenza di utilizzatori multipli rende più difficile l'interpretazione dei comportamenti osservabili dalle curve di carico elettriche. La macchina riporta sulla targa una potenza nominale di 66,3 kW ed è posta nel reparto denominato lavaggio, il quale presenta altre tre macchine uguali a questa. Queste ultime utilizzano un'emulsione acqua/tensioattivi per rimuovere le patine oleose che si formano durante le lavorazioni dell'alluminio e dell'acciaio. Si può quindi affermare che la macchina che verrà analizzata è un componente essenziale nel flusso produttivo aziendale e segue fedelmente l'andamento lavorativo interno.

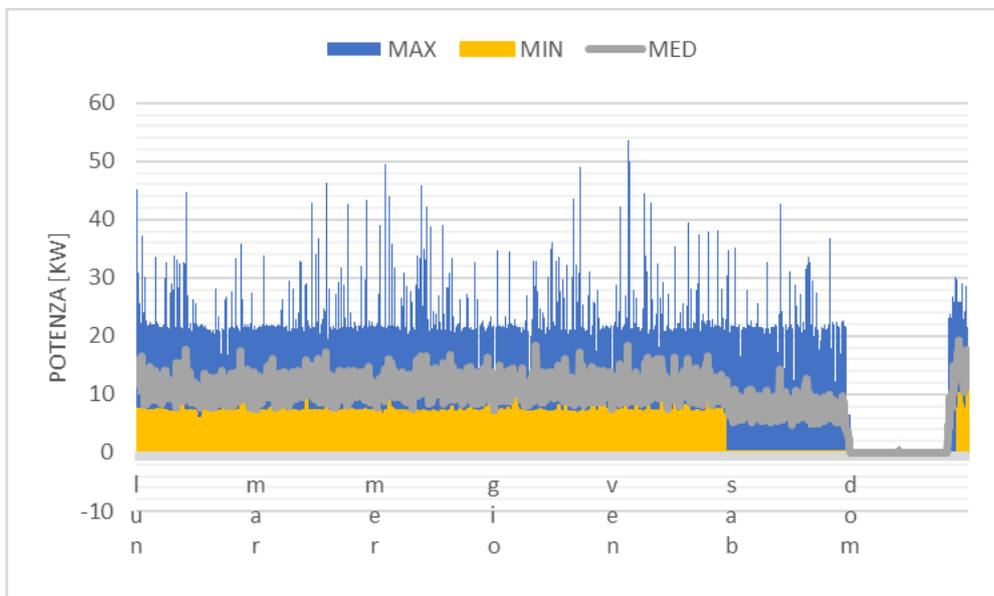
Figura 106: Fotografia del reparto lavaggio



Il periodo analizzato è sempre quello utilizzato anche per la caratterizzazione energetica dei consumi del misuratore, cioè quello a ridosso dei mesi di agosto 2018 e agosto 2019. Si incomincia lo studio con l'analisi dei profili della potenza attiva prelevata dalla macchina. Scorporati i periodi "anomali", si riportano i

profili settimanali degli assorbimenti massimi, medi e minimi trovati dall'analisi dei dati.

Figura 107: Profilo di potenza attiva settimanale – Lavatrice Durr E



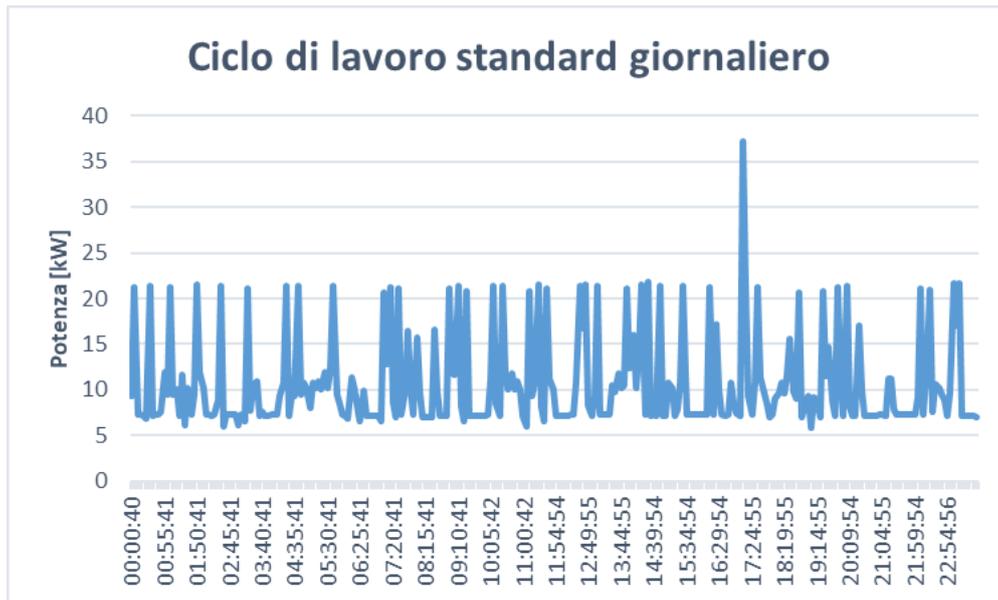
Salta subito all'occhio come le lavorazioni siano costanti dal lunedì al venerdì, poi esse subiscano un leggero calo il sabato ed infine vengano spente completamente durante la chiusura domenicale. L'intervallo di potenze medio delle lavorazioni è tra i 7 kW e i 20 kW come si denota dall'andamento medio. Si osservano comunque numerosi picchi di assorbimento che superano i 50 kW, come sottolineato dalle curve massime estrapolate ogni 5 minuti di campionamento. Dal profilo dei dati di potenza minima si ricava come il carico di base durante le lavorazioni sia tra i 4 e i 7 kW, in cui gli ausiliari rimangono accesi anche se la macchina non sta lavorando.

Per ricevere indicazioni sulle lavorazioni, si riporta una giornata standard di lavoro in cui sono osservabili i cicli di lavoro operati dalla macchina. Esso viene riportato in Figura 108, dove i cicli di lavoro corrispondono ai picchi di potenza che arrivano in condizioni normali a 23 kW, ma saltuariamente si notano strani picchi a superare anche i 50 kW la cui natura andrebbe approfondita. Infatti, si tende sempre ad ottenere dei profili di potenza più piatti per impegnare meno potenza tramite operazioni di Peak Shaving. Per questo motivo questi picchi dovrebbero essere tenuti in considerazione in un'ottica globale di stabilimento ed eventualmente ottimizzati tramite il differimento dei carichi tramite l'installazione di un software di gestione domotica.

Il ciclo lavorativo nella figura sottostante evidenzia anche come i picchi delle lavorazioni occupino un tempo minore rispetto alla configurazione di predisposto, in cui avviene l'assorbimento degli ausiliari della macchina.

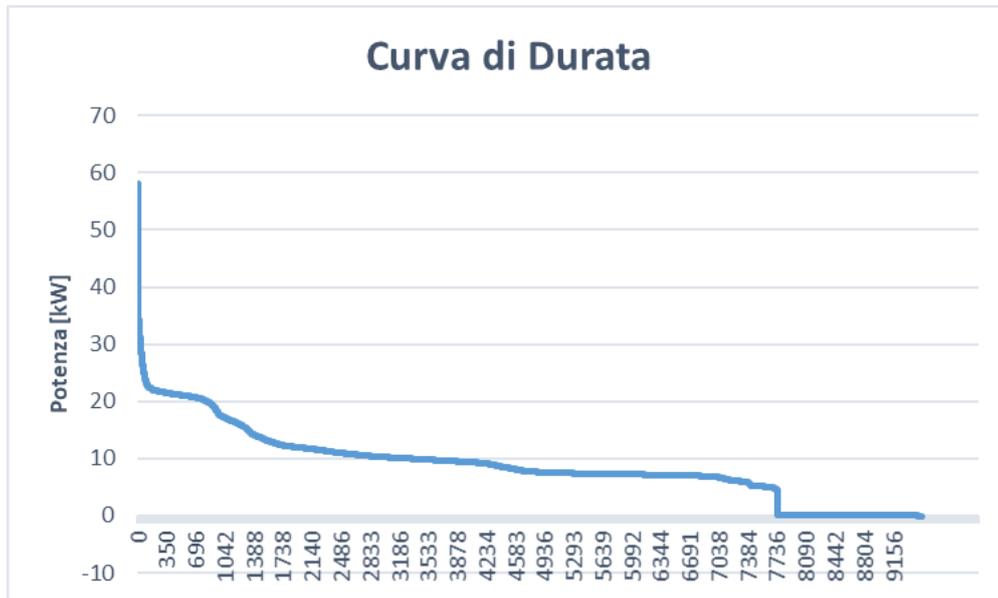
4. Caratterizzazione Energetica

Figura 108: Profilo di potenza attiva settimanale – Lavatrice Durr E



Questa tendenza è confermata anche dalla curva di durata delle potenze rilevate dal misuratore, per un periodo totale di 9504 ore totali.

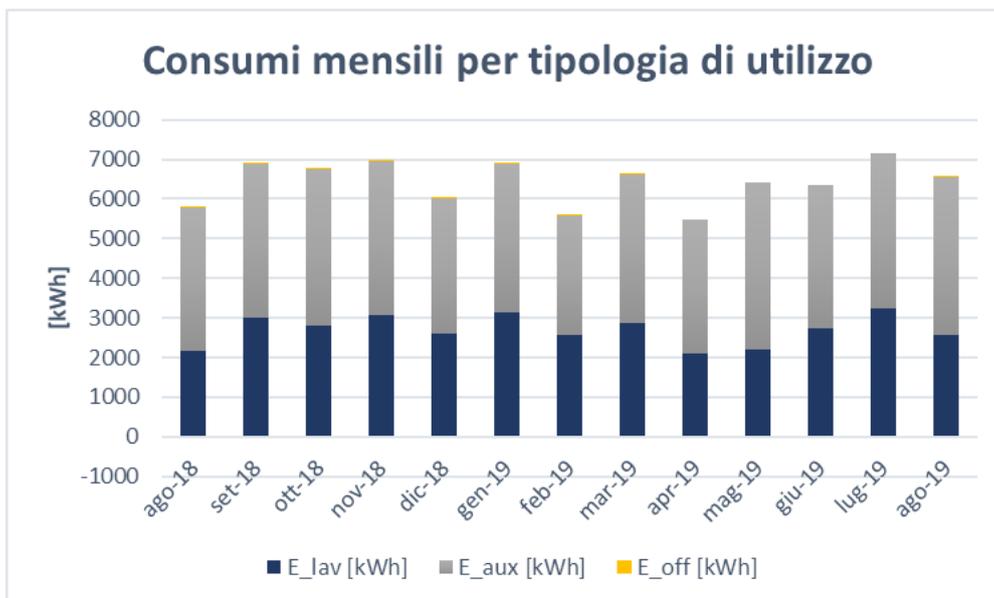
Figura 109: Curva di durata intero periodo – Lavatrice Durr E



La figura conferma il fatto che i picchi di assorbimento massimi e standard della lavatrice non occupano che una piccola percentuale dell'intero utilizzo della macchina, che nelle ore in cui è accesa presenta per lo più uno stato di predisposizione di assorbimento tra i 12 e i 5 kW. Si nota anche come le ore di spegnimento totali siano realmente effettive, data l'assenza di un carico di base, ma costituiscano una piccola parte dell'utilizzo totale.

Visti i profili di potenza e quanto durano mediamente in un periodo di 13 mesi, non resta che quantificare i consumi per ognuna delle tre fasi della macchina: quella di lavorazione corrispondente ad una potenza superiore ai 12 kW, quella di predisposizione della macchina in cui viene assorbita potenza dagli ausiliari sotto la potenza di 12 kW e infine quella degli assorbimenti (quasi) nulli durante le fasi di chiusura aziendale.

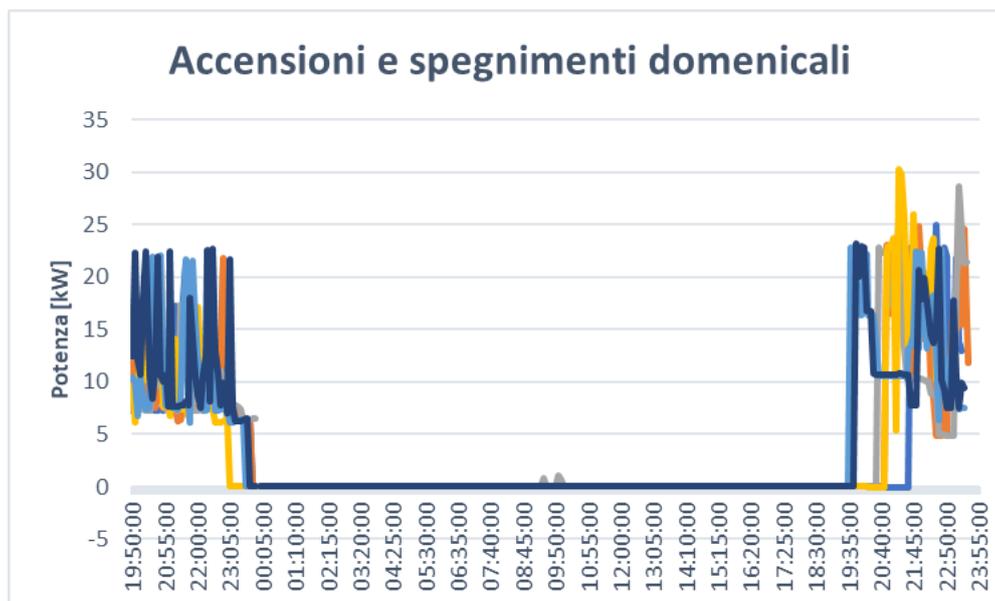
Figura 110: Consumi mensili per tipologia di utilizzo – Lavatrice Durr E



Dal grafico emerge come gli assorbimenti degli ausiliari costituiscano mensilmente la quota preponderante di consumo energetico, a testimonianza delle indicazioni fornite nel paragrafo precedente in cui il reparto lavaggio presentava un coefficiente di controllo dei consumi nominali inferiore alla media aziendale. Nonostante si appuri la consistenza preponderante di consumi fissi, non si può che constatare che non si può agire più di tanto sugli ausiliari del macchinario. Probabilmente i consumi in fase di predisposizione sono imputabili all'assorbimento di resistenze elettriche che hanno il compito di tenere in temperatura l'acqua per il lavaggio dei pezzi. Inoltre, è già stata effettuata la coibentazione del macchinario per sfavorire le dispersioni termiche e quindi l'aumento dei consumi ausiliari. Si dimostra però come il metodo di analisi deterministica consenta di approfondire la natura dei consumi e permetta l'individuazione delle cause dei problemi individuati nell'analisi statistica.

Adesso si vuole analizzare un altro aspetto dell'analisi in questione che è quello dell'analisi gestionale dei carichi elettrici del macchinario in esame. Si è già detto che la lavatrice lavora 6 giorni su 7 seguendo l'attività lavorativa, e durante la chiusura aziendale la domenica, la macchina viene spenta evitando così gli sprechi energetici. Non rimangono quindi tanti spazi in cui si possano evidenziare dei comportamenti non ottimali di gestione del macchinario, se non durante le accensioni e gli spegnimenti. In tale direzione, viene riportato il profilo di potenza estrapolato durante le fasi di chiusura e preparazione dell'attività lavorativa durante le settimane di attività standard.

Figura 111: Utilizzi durante le accensioni e gli spegnimenti della lavatrice Durr E



Le operazioni di spegnimento partono il sabato sera a partire dalle 22/23, mentre quelle di accensione incominciano la domenica dalle 19.30 in poi. Nelle due operazioni non si denotano delle fasi di predisposizione della macchina da gestire meglio. In tutto il periodo analizzato, si denotano solamente poche considerazioni sull'utilizzo non ottimale del macchinario. Si sono identificate nel dettaglio tre osservazioni: le prime due riguardano il mancato spegnimento domenicale del macchinario, che pur non lavorando è rimasto in fase di predisposto per le due intere giornate. L'ultima osservazione è di una portata maggiore e riguarda il mancato spegnimento della macchina nella settimana a ridosso di Ferragosto 2019, in cui la macchina è rimasta costantemente in fase di stand-by per una settimana intera senza svolgere alcun tipo di attività. Bisognerebbe approfondire le cause di queste perdite dovute probabilmente ad inosservanze, che sono quantificabili con un valore di poco superiore ai 1000 kWh, il quale costituisce a prima vista un valore irrisorio rispetto al totale consumato dall'azienda, ma perché derivante solamente da un utilizzatore. Complessivamente però la tendenza è che gli operatori del reparto hanno dimostrato una buona osservanza nei riguardi del risparmio energetico, data la quasi totale assenza di consumi non motivati.

Infine, la potenza utilizzata realmente sulla nominale è di circa 1/3, anche se bisogna evidenziare che durante i picchi ci si avvicina alla potenza indicata sulla targa, con punte di potenza registrate fino a 58 kW. Quindi sarebbe da valutare un eventuale ridimensionamento dei motori del macchinario in base alla possibilità di annullare i picchi produttivi, che produrrebbe molteplici vantaggi, tra cui la riduzione della potenza assorbita attiva e reattiva e il fatto di lavorare con carichi più vicini al nominale, quindi a rendimenti maggiori.

Eventuali sostituzioni devono comunque essere valutate dopo aver approfondito i dati dei singoli componenti facenti parte della lavatrice.

5. Strategie per il Miglioramento della Prestazione Energetica

In questo capitolo si illustreranno le metodologie per poter imbastire una logica di miglioramento della prestazione energetica definita in precedenza, seguendo la logica richiesta dalla normativa ISO 50001.

Per prima cosa bisognerà fornire una definizione di efficienza energetica di un processo, che poi costituirà la variabile da migliorare tramite interventi di cui si vogliono dare degli esempi tramite degli studi di fattibilità tecnico-economica.

Gli interventi però non devono rimanere senza seguito, ma devono essere accompagnati da un sistema di controllo e progettazione che ponga degli obiettivi e valuti il loro raggiungimento in un orizzonte temporale adeguato. Tali obiettivi sono di natura energetica ed economica e dovranno passare per forza dalla caratterizzazione energetica trovata, che permetterà di quantificare con un buon grado di precisione i risparmi conseguiti in base ad un'opera di efficientamento energetico. In questa fase è essenziale che il sistema di gestione dell'energia si integri nelle logiche di gestione già presenti in azienda indipendentemente da quali esse siano, per potersi adeguare alla gestione delle responsabilità. Si sta parlando nel dettaglio di istituire un controllo di gestione dell'energia, che verrà analizzato nel paragrafo successivo.

In questo capitolo si toccheranno diverse fasi del ciclo PDCA: a partire dalla fase di PLAN che richiede di individuare delle opportunità di miglioramento della prestazione energetica emerse dall'Energy Review, passando dalla fase di DO nel momento in cui si progetteranno i mezzi di miglioramento della prestazione energetica. In seguito, le ultime due fasi del ciclo, quella CHECK e quella ACT, richiedono la messa in atto di tali procedimenti, motivo per cui verranno affrontate solamente teoricamente nell'illustrazione della logica del controllo di gestione.

I passaggi descritti non avverranno percorsi uno di seguito all'altro per non alterare il flusso logico del discorso, ma saranno facilmente desumibili durante le varie trattazioni: infatti per la filosofia con cui è svolta questa tesi, si è deciso di non seguire fedelmente la norma, ma di rimandare riferimenti quando necessario.

5.1. Controllo di Gestione energetico

In strutture aziendali complesse si rende necessaria la decentralizzazione delle responsabilità in vari settori, in quello che viene comunemente conosciuto come controllo di gestione. In una società che presenti questo tipo di sistema gestionale, gli obiettivi e le strategie decise dai vertici vengono raggiunte controllando i risultati conseguiti invece del controllo diretto del rispetto delle direttive dirigenziali da parte dei vari settori manageriali.

Questi risultati sono di tipo economico, e devono essere raggiunti tramite risorse interne iniziali prestabilite. In caso risultati diversi da quelli previsti, bisogna che i responsabili ricerchino le cause che hanno concorso a tale deviazione e le riportino ai vertici aziendali per la messa in atto di azioni migliorative.

Nonostante un'azienda articolata possa richiedere più centri di responsabilità diversi, questo non significa che essi siano scollegati tra di loro. Molto spesso infatti, è richiesta una marcata collaborazione per reperire informazioni utili al proseguo del sistema di gestione da un settore all'altro.

Non fa eccezione il settore energetico, il quale può entrare perfettamente a far parte del sistema di controllo di gestione aziendale. Inoltre, la decentralizzazione delle responsabilità è considerata anche dall'ISO 50001 in un'ottica di implementazione di un SGE. La norma prevede infatti l'elezione di un responsabile della direzione con il compito di instaurare una politica energetica aziendale da curare e migliorare, riportando i risultati ottenuti per il confronto con gli obiettivi posti all'inizio di ogni ciclo. Si capisce dunque come non si possa prescindere dall'instaurazione di un controllo di gestione nel caso in cui si voglia ottenere la conformità agli standard.

Per poter "comunicare" con le altre realtà settoriali dell'azienda e con la direzione si dovrà riportare il discorso energetico meramente su un piano economico, tramite la definizione di un costo standard ed unico dell'energia. Esso dipenderà non solo dal costo di acquisto delle forniture energetiche, ma anche dai processi di trasformazione energetiche interne al sistema per evitare ogni tipo di conflittualità nel flusso energetico aziendale, dalla fornitura all'utilizzo finale.

Come ogni sistema gestionale, anche quello energetico comprenderà la definizione di un budget a preventivo, costruito sui costi previsti per i consumi aziendali dell'anno successivo. Ed è qui che viene nuovamente in aiuto quella che è la caratteristica energetica trovata nel capitolo precedente. Grazie al modello matematico, si può calcolare innanzitutto il budget a capacità pratica. Esso equivale al costo dovuto ai consumi per il driver produttivo della caratteristica alla capacità nominale, il quale permette di dare un'indicazione sulla portata dei costi che dovrà sostenere l'azienda.

In seguito, si corregge il budget inserendo il valore del driver previsto: ad esempio nel caso in cui esso sia la produzione, tramite il valore dei volumi di prodotto atteso, si possono calcolare i consumi energetici e i relativi costi che formeranno il Budget Standard. Il budget finale nella fase di preventivo è ottenuto inserendo le variabili di utilizzo pianificate, che equivalgono a cambiamenti previsti sia nel processo produttivo sia nel modello energetico,

come per esempio la previsione di un'opera efficientamento impiantistico capace di ridurre i consumi.

Dopo la fase preventiva si attiva quella a consuntivo, che consiste nel ricalcolare il valore dei consumi inserendo nell'equazione del budget i valori reali registrati. In questo modo si dice che si flexibilizza il budget e si ottiene quello che è conosciuto come budget Flex.

A questo punto è possibile confrontare i consumi e trovare delle differenze che sono causate sia dallo scostamento dalle previsioni dei volumi produttivi, sia dalla differenza dell'efficienza energetica, secondo un delta consumi detto delta utilizzo non pianificato. Riportando i consumi al livello economico tramite il costo standard, ai due scostamenti si aggiunge anche un delta prezzo, cioè una differenza dei costi di generazione e trasformazione energetici a consuntivo a causa di un cambiamento dei prezzi da quelli preventivati.

L'analisi con i risultati di tutti gli scostamenti trovati a consuntivo dovrà essere riportata alla direzione per poter essere esaminata. Inoltre, il budget non può essere calcolato dalla caratteristica generale del sistema ma deve essere ricavato a partire dai consumi di ogni centro di costo utente dello stabilimento o comunque da quelli più influenti. Qui emerge l'importanza della caratterizzazione per singolo reparto, che rende possibile l'instaurazione di una previsione dei consumi più dettagliata. A partire da questi costi, detti costi di destinazione, si può risalire ai costi di origine tramite il valore definito in precedenza di costo standard. Noti i costi di origine permette di calcolare il Budget.

Emerge quindi un altro aspetto pratico per cui è importante la caratterizzazione dettagliata per reparto. Per come è composta la struttura operativa dello stabilimento, con squadre divise per turno e reparto, è possibile aggiornare sulle prestazioni energetiche ogni capo reparto, fornendo a loro le carte di controllo derivanti dalla caratterizzazione energetica e istruendoli alla lettura. Tramite ciò si ambisce ad un coinvolgimento degli operatori che gestiscono gli impianti, cercando di far capire loro l'importanza di una gestione oculata dal punto di vista energetico, che si riflette in risultati che vengono analizzati su base periodica.

Nel caso di aziende complesse vige la necessità di semplificare però le relazioni tra le varie trasformazioni dei vettori energetici che a partire dai centri utente devono arrivare fino alla definizione dei costi di origine. Esistono diversi metodi che utilizzano per lo più calcoli matriciali come il metodo della Tavola di Input Output, che però data non verrà analizzata nel dettaglio data la lunghezza dell'argomento.

L'applicazione di un controllo di gestione infatti non può essere affrontata in questa sede in maniera più pratica e specifica, in quanto si tratta di un applicativo gestionale che può essere implementato solamente nella realtà aziendale, in quanto deve per forza comunicare con gli altri settori aziendali.

Il controllo di gestione energetica si adatta perfettamente alle modalità di esecuzione del sistema di gestione dell'energia descritto dalla ISO 50001, a cui bisognerà aggiungere solamente dei punti più specifici per la prosecuzione del ciclo (fonte [4]).

5.2. Interventi di miglioramento dell'efficienza energetica

Nel capitolo precedente si è definita la prestazione energetica del sistema energetico costituito da ZF Automotive Italia e ora ci si pone come obiettivo il suo miglioramento. Prima di procedere è necessario però definire in modo più approfondito cosa si intende per efficienza energetica. Dalla definizione fornita nel capitolo 1, si capisce che un intervento di miglioramento dell'efficienza energetica miri a minimizzare le perdite e le irreversibilità di un processo di trasformazione energetica che permette di consumare meno energia in input a parità di effetto utile finale.

Dopo aver caratterizzato energeticamente il sistema, si è visto come i consumi siano dipendenti sia da aspetti tecnologico-impiantistici, sia da aspetti gestionali. Si comprende come fornire una definizione di efficienza energetica che comprenda tutti questi aspetti e sia allo stesso tempo universale, risulti praticamente impossibile, ma verranno approfondite le considerazioni effettuate in merito [4]. Gli stessi problemi si sono incontrati con la definizione degli EnPI o standard tecnici: non a caso l'efficienza energetica, vista molto spesso come l'inverso del consumo specifico, può essere intesa come un sinonimo dell'indice di consumo. Questo coefficiente infatti restituisce il consumo necessario alla realizzazione di un'unità produttiva da un processo energetico, definizione che porta ad affermare che maggiore è l'indice di consumo, minore è l'efficienza energetica di un processo. Questa affermazione è vera ma non risolve la difficoltà di fornire un valore universalmente valido, data la dipendenza dall'output del sistema. È possibile superare parzialmente questa difficoltà mettendosi nelle stesse condizioni in modo imparziale, come è stato effettuato nel calcolo degli standard tecnici, in cui ci si messi in condizioni nominali cioè nelle migliori condizioni possibili. Questa può costituire inoltre una base valida per la valutazione del cambiamento delle prestazioni nel tempo, che è lo scopo prefissato all'inizio del paragrafo, ma anche un elemento necessario definito dalla normativa ISO 50001.

Fissato il target di miglioramento degli EnPI specifici calcolati in precedenza, nella pratica esso si traduce in un cambiamento della caratteristica energetica. Per migliorare quest'ultima si può essenzialmente agire sull'intercetta e sulla pendenza. Agendo sull'intercetta si vuole abbassare i consumi fissi, cioè quantificare quanti kWh sul totale sono funzionali, o meglio indispensabili per il processo produttivo, quanti sono migliorabili tramite modifiche impiantistiche ma soprattutto, quanti sono eliminabili tramite l'individuazione di inefficienze gestionali degli impianti. I risparmi conseguibili da quest'ultima categoria, sono quelli preferibili e quindi quelli a priorità maggiore, in quanto sono interventi per la maggior parte dei casi a costo nullo. In seguito, è possibile prendere in analisi gli interventi sugli impianti, in una logica di efficientamento e ammodernamento degli stessi, mirati ad una riduzione dei consumi in input a parità di effetto utile, operazione che permette di abbassare la pendenza della caratteristica energetica. Dall'analisi impiantistica possono emergere anche interventi sugli ausiliari dei macchinari, che potrebbero comportare un abbassamento della quota fissa di consumo che intrinsecamente ogni impianto presenta.

Quindi si possono analizzare i risultati ottenuti in base agli interventi effettuati e solamente nel caso in cui essi abbiano comportato un miglioramento degli indici precedenti e quindi della prestazione energetica si può sostenere che ci sia stato un miglioramento dell'efficienza energetica del sistema.

Si procederà ora con la proposizione di interventi migliorativi, partendo dal miglioramento dei comportamenti gestionali degli impianti, da privilegiare per le ragioni esposte in precedenza, passando in seguito ad analizzare i possibili efficientamenti degli impianti, a cui sarà allegata una breve analisi economica per la valutazione della fattibilità dell'opera.

Le operazioni che verranno illustrate nei prossimi paragrafi, sono anch'esse dei passi essenziali per il ciclo richiesto dalla normativa, in quanto non basta semplicemente attestare la propria efficienza energetica, ma è anche necessario progettare come migliorarla ed effettuare interventi i cui esiti vanno sottoposti alla valutazione della direzione aziendale.

Interventi migliorativi di gestione ottimale degli impianti

Si è già parlato dell'importanza del miglioramento dovuta ad interventi sull'ottimizzazione della gestione degli impianti e sulla loro manutenzione, per cui tramite accorgimenti comportamentali è talvolta possibile risparmiare grandi quantitativi in termini energetici ed economici.

Questa operazione si rende necessaria dal momento che, come evidenziato dalla caratterizzazione dei consumi di stabilimento, trova luogo una quota fissa di circa 400000 kWh, che corrispondono al 40% dei consumi mensili (mediamente viene acquistata una quantità di 1 GWh al mese). Questi consumi, brutalmente parlando, costituiscono degli sprechi, in quanto sarebbero presenti anche ad una capacità produttiva aziendale nulla.

Da questa considerazione si capisce come si debba obbligatoriamente giustificare questo valore in qualche modo, suddividendolo in quote fisse indispensabili per l'attività produttiva oppure come sprechi evitabili tramite alcuni accorgimenti gestionali. Sicuramente una parte è imputabile ai carichi di illuminazione e di ufficio, che però risultano poco rilevanti se confrontati con i consumi dei reparti produttivi. Un'altra aliquota deriva con tutta probabilità dai consumi per la climatizzazione estiva, ma data l'assenza di misuratori dedicati risulta impossibile uno studio più dettagliato. Infine, si può pensare che un'altra quota sia occupata dai reparti ingegneristici di ricerca, i quali, nei periodi delle prove affidabilistiche dei prodotti, rimangono operativi per interi mesi. Rimangono i consumi del reparto produttivo che sono stati caratterizzati in precedenza. Nel prossimo paragrafo si approfondiranno appunto gli aspetti legati ai consumi fissi dei reparti produttivi. In seguito, verranno invece analizzati ulteriori accorgimenti gestionali consigliati per lo stabilimento di Ostellato.

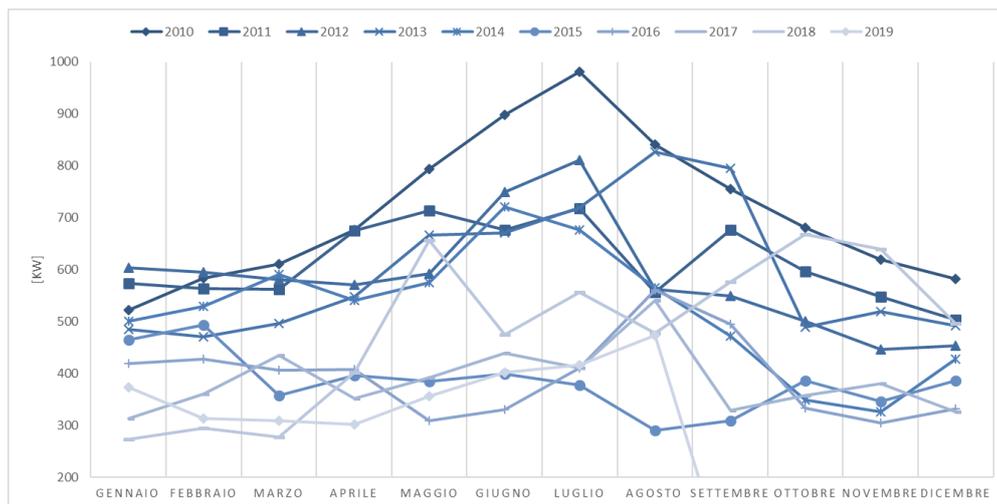
Per l'individuazione dei reparti con le quote fisse più marcate, si sfruttano gli EnPI calcolati in precedenza, allo scopo della ricerca di eventuali gestioni non ottimali degli impianti produttivi. I profili di utilizzo verranno studiati in particolare nelle fasi di chiusura aziendale, coincidente con la cessazione

dell'attività produttiva. Infatti, è proprio nello spegnimento e nell'accensione degli impianti che possono manifestarsi dei notevoli assorbimenti dalla rete senza che i macchinari stiano effettivamente producendo. Verranno anche analizzate le perdite ad impianto spento per opera di malfunzionamenti o guasti, o per il mancato spegnimento di alcuni ausiliari dedicati.

Mettendo in pratica quanto detto per il sito in esame, si analizzano i periodi di chiusura durante le domeniche e le festività dei reparti a coefficiente di controllo dei consumi kn minore, il quale indica una maggiore incidenza della quota fissa sui consumi totali. I reparti in questione sono il reparto lavaggio con un kn pari a 0,425 e il reparto compressori con un coefficiente di 0,496. Il primo reparto in realtà è stato ampiamente discusso nell'analisi deterministica, da cui è emerso un'intrinseca incidenza degli ausiliari sui consumi, con assorbimenti che avvengono per un numero considerevole di ore sul totale. In casi come questi, la quota fissa di consumo è giustificata come indispensabile per il processo produttivo.

Prima di analizzare il reparto compressori, si vogliono analizzare i consumi globali di stabilimento durante le chiusure domenicali, per avere una panoramica da scorporare nei vari utilizzi di reparto. In tale senso è stato reso disponibile un documento interno di ZF in cui vengono analizzati i consumi domenicali dal 2010 ad oggi. Nel dettaglio l'azienda si è dimostrata molto attenta sulla riduzione degli sprechi energetici, riuscendo ad abbassare il consumo medio annuale durante le domeniche dai 1,2 GWh/anno del 2012, ai 0,8 GWh del 2018 tramite accorgimenti gestionali. La riduzione delle quote fisse domenicali è testimoniata anche dalla figura che segue, che è stata presa dal documento di analisi dei consumi del 2019. In particolare, il grafico analizza i consumi medi orari di ogni mese, che sono quindi identificabili come il profilo di potenza media mensile.

Figura 112: Confronto tra andamenti dei consumi e della produzione



In termini economici, questo risparmio energetico di 400000 kWh all'anno ottenuto nel periodo delle chiusure equivale ad un risparmio economico di circa 70400 € all'anno. Questo è il più tipico esempio di gestione ottimizzata dei carichi. Nonostante i miglioramenti, si evidenzia comunque la presenza di un carico base, che attualmente si attesta sui 300/400 kW in base alla stagione. Bisogna altresì ricordare come in generale non si possa ambire ad azzerare la

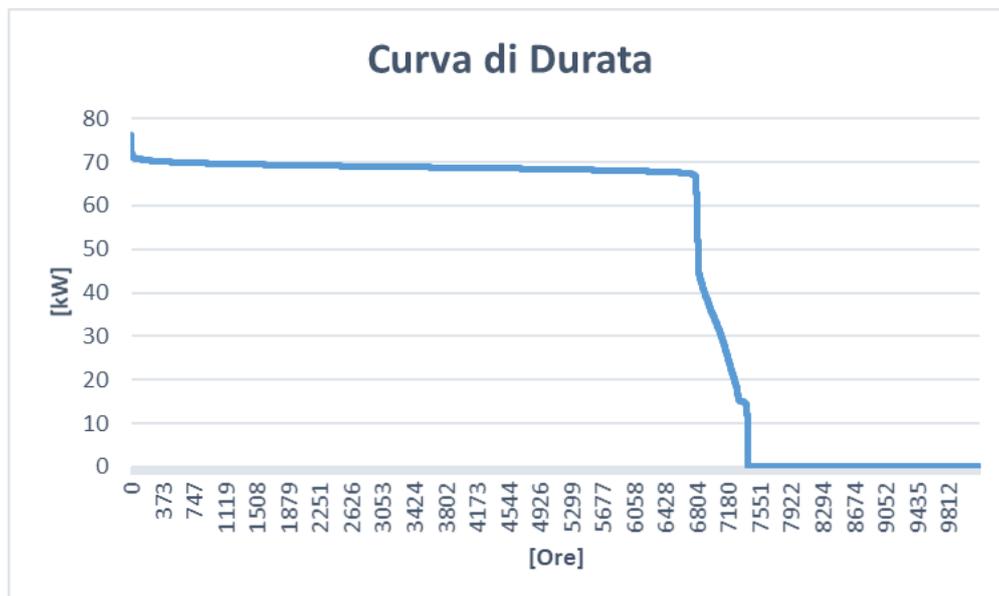
quota fissa in aziende dal forte consumo energetico come ZF Automotive, ma nulla vieta nel continuare a tenere i profili di potenza il più basso possibile.

Si analizza dunque il reparto che presenta un coefficiente kn più basso dopo il reparto lavaggio: quello dei compressori. Si hanno due misuratori diversi a servizio di tale reparto, come descritto nel capitolo 3: uno adibito per misura della singola macchina GA55, l'altro per misura dei prelievi elettrici dell'intera sala compressori A dello stabilimento, di cui fa parte lo stesso GA55. I dati erano disponibili anche in questo caso, per il periodo tra agosto 2018 e lo stesso mese del 2019.

Si parte ad analizzare i dati di consumo del compressore GA55, il quale essendo una singola macchina, permette di avere indicazioni più precise sulle caratteristiche di utilizzo, in un modo del tutto simile a quanto fatto durante l'analisi deterministica. Esso è un macchinario rotativo a vite ad iniezione ad olio, con una logica di regolazione detta ON-OFF. Infatti, il compressore non comprende al suo interno un variatore di velocità del motore elettrico, quindi il regolatore avvia la macchina se la richiesta di aria compressa dalla rete fa diminuire la pressione ad un valore minimo, che nel caso in esame è di 6,8 bar, fino al raggiungimento del valore nominale di 7,5 bar. Dopo il raggiungimento della pressione massima avviene lo spegnimento del compressore. Nella realtà esso non avviene in modo totale, ma la macchina rimane in predisposizione per un certo tempo prima dello spegnimento definitivo del motore, un intervallo necessario ad evitare i troppi cicli ON-OFF che danneggerebbero la macchina. Per questo motivo i compressori senza inverter lavorano in maniera ottimale solamente se utilizzati per soddisfare il carico di base in cui rimangono sempre accesi, mentre diminuiscono di efficacia se utilizzati con frequenti accendimenti e spegnimenti. Oltre a questo primo aspetto verrà osservato come il macchinario venga utilizzato a ridosso delle chiusure domenicali e festive, e si quantificheranno le eventuali perdite energetiche durante tali periodi.

Si riporta innanzitutto, per avere una panoramica generale dell'utilizzo del compressore, la curva di durata delle potenze rilevate per il macchinario GA55.

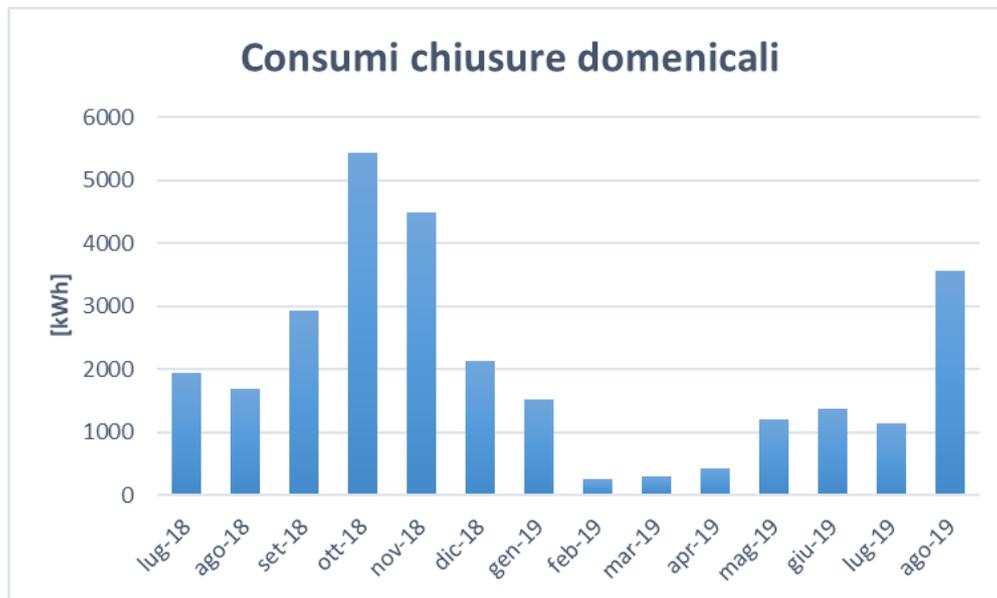
Figura 113: Curva di durata Compressore GA55 – Periodo di analisi



Dal profilo praticamente a gradino si nota come il funzionamento prevalente in accensione oppure in spegnimento, a testimonianza del buon utilizzo del compressore per soddisfare il carico di base del fabbisogno di aria compressa. Tra i due livelli si nota comunque una pendenza, che si riferisce ai consumi in fase di predisposto dopo il superamento della pressione massima. Idealmente infatti l'utilizzo del compressore è rappresentato da un gradino perfetto, ma ci si accorge come la curva mostrata in figura, non si distacchi in modo rilevante dal profilo target.

Appurato il buon utilizzo del compressore, si sono invece analizzati gli aspetti relativi alla gestione del macchinario durante le chiusure, sia quelle settimanali, la domenica, sia quelle dovute alle festività. Si riportano i risultati ottenuti nei grafici sottostanti.

Figura 114: Valori mensili dei consumi domenicali del compressore GA55



Seguono i consumi divisi per festività, riordinati cronologicamente.

Figura 115: Valori dei consumi per le festività coincidenti con la chiusura aziendale



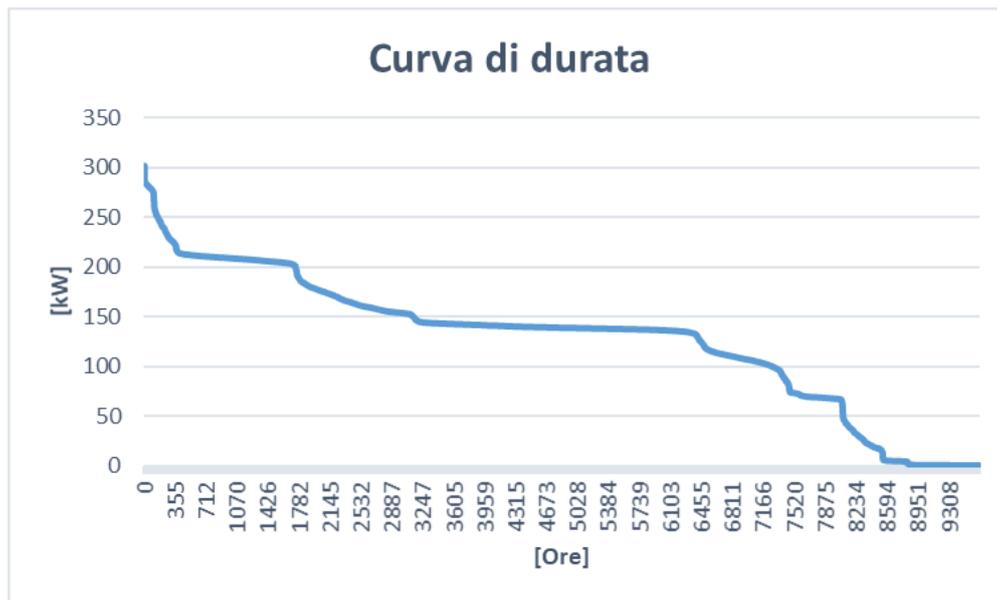
I grafici riportano i dati di consumo a stabilimento fermo, prima conteggiando le perdite domenicali divise mensilmente, poi le perdite suddivise per festività. Sommando i contributi per il periodo di riferimento si scopre che i consumi a processo produttivo fermo ammontano a 16389 kWh durante le chiusure domenicali e 18673 kWh durante le chiusure festive, che equivalgono a più di 4500 € in 14 mesi, solamente per il compressore GA55.

Indagando sul motivo di questi consumi, si sono scoperte, dai profili di potenza, diverse accensioni del macchinario, alcune volte in modo saltuario, altre volte in modo continuo, tenendo costante il profilo alla potenza nominale.

Per vedere se le accensioni dei compressori sono diffuse per tutto il reparto, si analizzano i dati dell'altro power meter. Come si evidenzia dalla curva di durata per i dati del misuratore posto a monte della sala compressori A, il comportamento dei carichi è più difficilmente interpretabile a livello generale, avendo all'interno le caratteristiche di utilizzo di diverse macchine: sotto questo analizzatore di rete sono presenti infatti 7 compressori diversi, compreso quello appena analizzato.

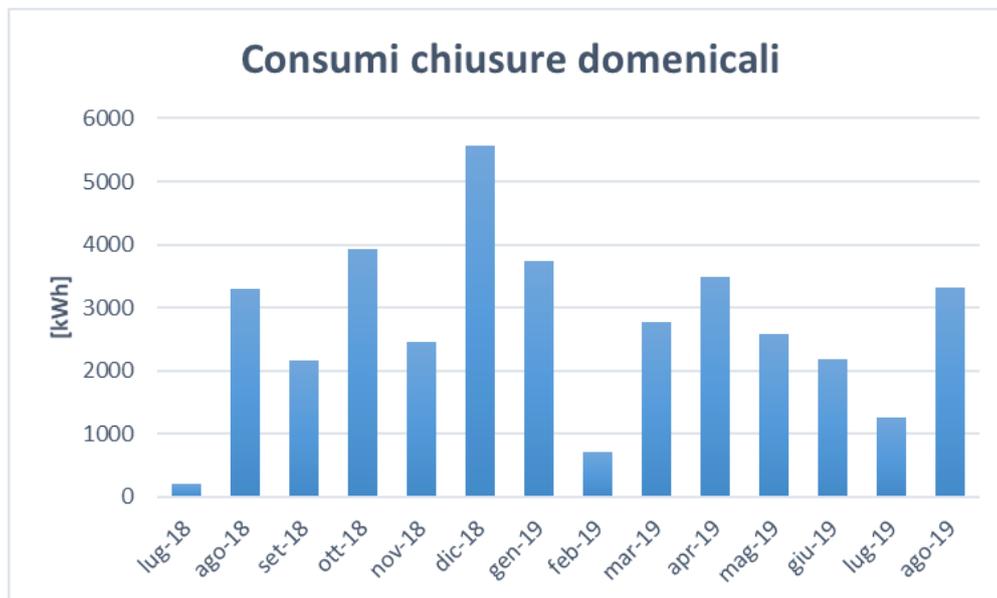
5. Strategie per il miglioramento della prestazione energetica

Figura 116: Curva di durata Sala Compressori – Periodo di analisi



Come preventivato si possono distinguere solamente diversi gradini più piccoli, corrispondenti alle condizioni di assorbimento elettrico più diffuse nell'arco del periodo considerato. Non potendo dare una valutazione dai profili di carico di potenza, anche in questo caso, si vogliono quantificare i consumi per tutti i periodi in cui l'azienda è rimasta chiusa durante il periodo in esame. Si ripropongono quindi gli stessi grafici visti nel caso precedente.

Figura 117: Valori mensili dei consumi domenicali del compressore GA55



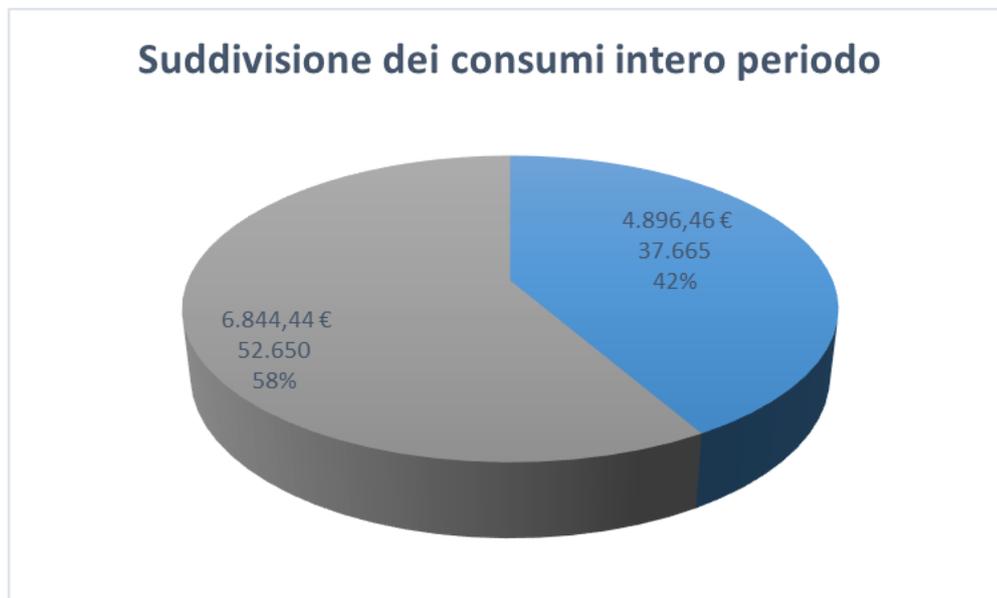
5. Strategie per il miglioramento della prestazione energetica

Figura 118: Valori di consumi dei compressori per le festività coincidenti con la chiusura aziendale



Come ipotizzabile, il bilancio delle perdite si aggrava aggiungendo il contributo di tutti i compressori della sala A: si arriva, in meno di 14 mesi, ad un totale di 90000 kWh e quasi 12000 € spesi durante i periodi di chiusura totali. I dettagli delle perdite sono riportati nel grafico che segue.

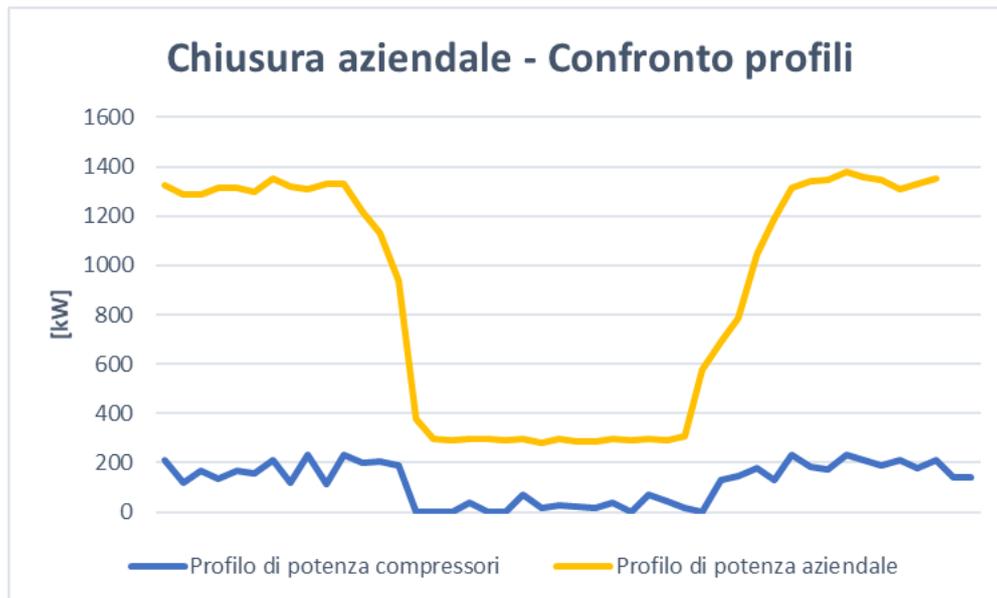
Figura 119: Valori dei consumi rilevati: in grigio le festività, in blu le chiusure domenicali



Si rende necessario lo studio dei motivi che hanno concorso ad arrivare a tali numeri. Dall'analisi dei profili di potenza, anche in questo caso si sono evidenziate delle attività domenicali degli impianti, con profili di accensione che arrivavano fino a 70 kW di potenza assorbita. I profili di prelievo variabili, anche in questo caso erano variabili, tra picchi di richiesta e baseline costanti tra i giorni di chiusura domenicale e durante le chiusure dovute alle festività.

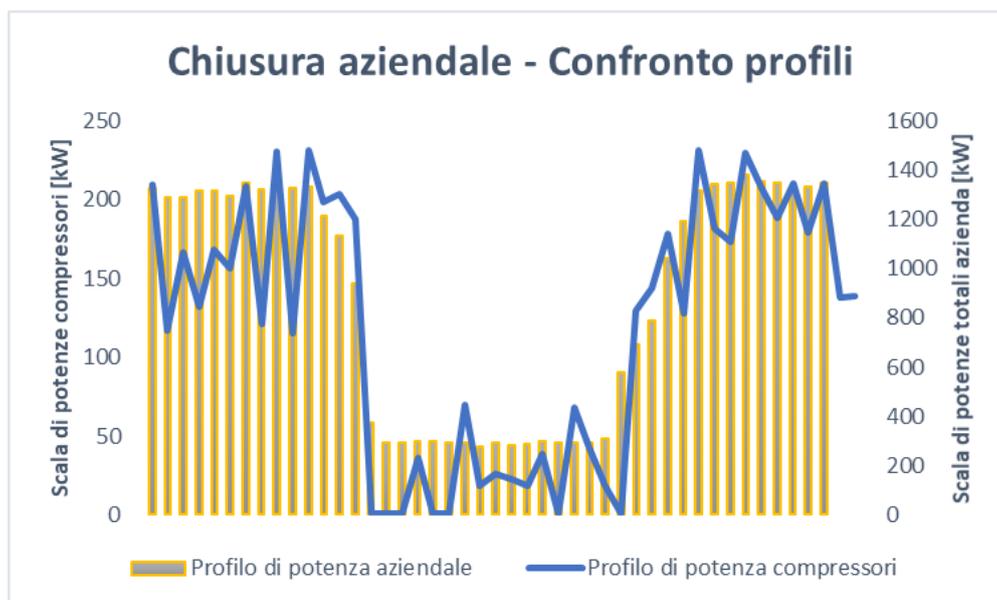
Per dare un'idea della "forma" delle perdite si riportano i profili di potenza rilevati dal misuratore posto a monte della sala compressori A e i profili rilevati dal gestore di rete della fornitura, riportanti i consumi dell'intero stabilimento. I profili sono la ricostruzione dell'arco temporale riferito alla chiusura di capodanno 2019, che esemplifica in maniera chiara cosa accade anche durante le chiusure domenicali ogni settimana: si tratta di un giorno di festività in mezzo a due giorni lavorativi.

Figura 120: Andamento dei profili di potenza duranza la chiusura e riapertura degli impianti



Si riporta il grafico a doppia scala di potenza per osservare meglio le continue accensioni e spegnimenti osservabili durante la chiusura dello stabilimento e la cessazione dunque delle attività produttive.

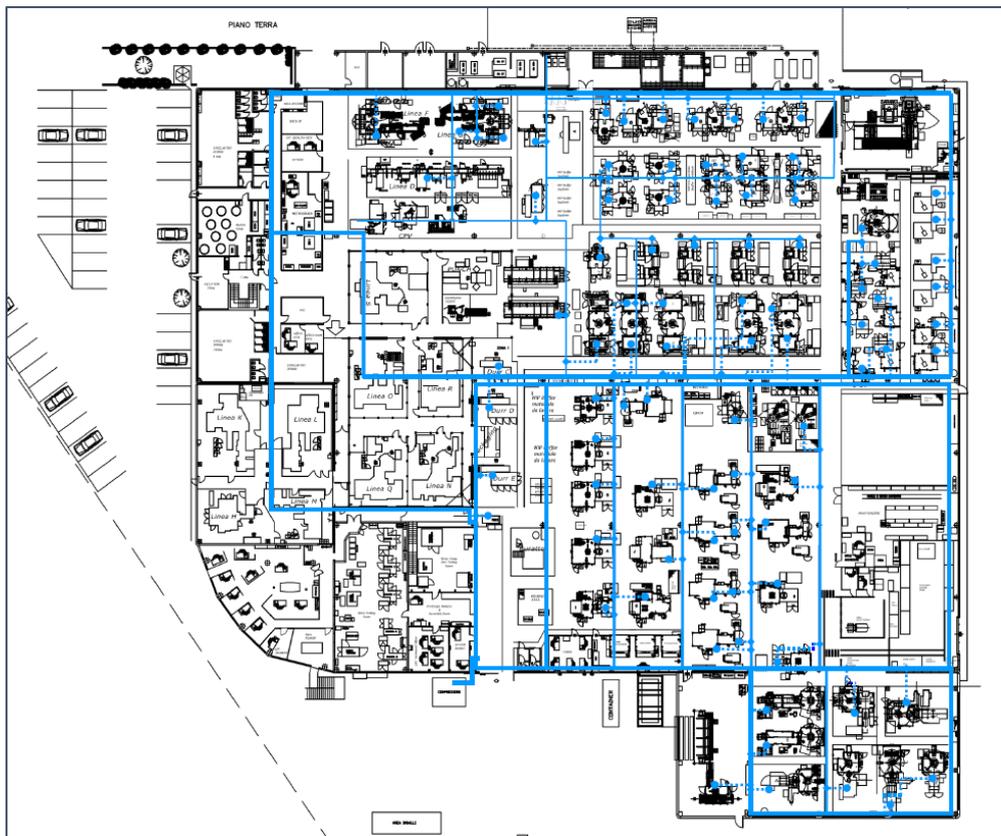
Figura 121: Andamento dei profili di potenza duranza la chiusura e riapertura degli impianti



Dalla figura si confrontano gli andamenti delle potenze dove si osservano i picchi di attività dei compressori che arrivano a sfiorare i 70 kW.

Una motivazione plausibile di questi consumi risiede nel fatto che l'azienda preferisce tenere l'impianto in pressione anche nei periodi di chiusura, per usufruire in modo immediato dell'aria compressa all'accensione dei macchinari produttivi. L'impianto infatti non è composto solo dagli 8 compressori (un altro compressore è posto nella sala compressori B), ma presenta anche altri elementi come 5 serbatoi, 5 essiccatori e da un sistema di condutture che portano il vettore energetico fino ai macchinari ad azionamento pneumatico presenti. Viene fornito lo schema su pianta della rete di distribuzione dell'aria compressa per dare l'idea dell'estensione delle tubazioni in Figura 122.

Figura 122: Schema della rete di distribuzione dell'aria compressa



Data la lunghezza e la complessità dell'impianto, è impossibile pensare che esso possa essere completamente stagno. Non è un mistero che bastino fori di diametro di qualche millimetro ad un componente qualsiasi che possano causare migliaia di euro all'anno di perdite per dispersione della potenza dei compressori. Infatti, se il reparto di compressione non viene scollegato dalla rete elettrica, i regolatori dei macchinari, sentendo una diminuzione di pressione dalla rete di distribuzione, attiveranno i compressori anche in assenza di carico attivo da parte delle utenze. In base all'entità delle perdite si avranno continui attacchi e stacchi da parte dei macchinari, oppure anche alcuni componenti continuamente accesi. In ogni caso, è noto che le fughe non possono essere eliminate completamente, ma possono comunque essere ridotte al minimo tramite alcune misure di buona manutenzione. Per questo motivo, uno dei primi

interventi consigliati è quello della misura delle perdite della rete di distribuzione dell'aria compressa.

L'intervento può avvenire tramite un controllo sperimentale, in cui si usano delle sonde che rilevano lo spettro caratteristico dalla perdita di aria compressa, con un buon grado di precisione si riesce ad individuare le fonti ed in seguito a ripararle. Il difetto principale di questo intervento è il fatto che vige la necessità di rivolgersi a personale specializzato, che rende onerosa la spesa per la riparazione.

Per questo motivo si consiglia, in primo luogo, di effettuare delle prove semplificate per appurare, in modo approssimativo, la portata delle perdite e decidere se vale la pena la manutenzione sugli impianti. Esistono infatti dei test da effettuare per l'accertamento e la quantificazione empirica della portata dispersa di aria compressa. Il difetto di queste prove è che sono da effettuare con le utenze spente, quindi durante la chiusura aziendale [7].

Un'altra valida opzione è quella di pensare di svuotare completamente l'impianto di aria compressa, non per le pause domenicali, ma per le chiusure prolungate. Si è potuto notare infatti come in molte festività, le perdite energetiche siano state rilevanti, e le perdite totali durante le festività ammontano al 58% delle totali. La tecnica, adottata da molte altre grandi aziende durante chiusure di più giorni consecutivi, può facilmente essere analizzata tramite un confronto semplificato con quella attuale di mantenimento della pressione nell'impianto. Infatti, noti sia il volume dell'impianto da riempire con aria a 7,5 bar, sia la produttività delle macchine (in termini di kWh/Sm³).

Esistono anche altri accorgimenti per migliorare la generazione di aria compressa, come l'aspirazione dell'aria esterna al posto di quella interna e il recupero di calore all'aria in uscita dai compressori. Data l'enormità degli interventi possibili, si è deciso di mostrare a titolo di esempio solamente quello di ottimizzazione della rete di distribuzione dell'aria compressa. Infatti, è importante il procedimento logico, per cui grazie alla caratterizzazione e ai relativi EnPI, si sono potute individuare delle anomalie nel reparto compressori derivanti da un'incidenza maggiore, rispetto alla media degli altri reparti, dei consumi fissi rispetto al totale. Si è scoperto, date le ingenti perdite, che è necessario effettuare un controllo manutentivo alla rete di distribuzione dell'aria compressa.

In un SGE queste procedure devono essere effettuate in modo continuo, con l'intento di minimizzare le perdite e gli sprechi di energia negli impianti. Molte spesso bisogna ricorrere a comunicazioni interne con gli addetti ai reparti produttivi. Risulta infatti fondamentale spiegare tutte le possibili inefficienze riscontrabili e discutere su come poter effettuare dei miglioramenti nella gestione di certi macchinari, con l'intento di un coinvolgimento attivo della maggior parte possibile di dipendenti.

Questo aspetto sembra secondario, ma è essenziale per l'instaurazione di un Politica Energetica in un'azienda caratterizzata da un numero di risorse umano significativamente alto (nello stabilimento di Ostellato si contano più di 300 dipendenti) e risulta anche un passaggio obbligato per l'ottenimento della certificazione ISO 50001.

Interventi migliorativi per il sistema di monitoraggio

Nell'ottica della possibile installazione di nuovi misuratori, si potrebbe pensare come questo intervento non possa comportare benefici dal punto di vista energetico. Nel senso fisico della definizione di efficienza energetica infatti è così, in quanto l'installazione di nuovi misuratori non comporta direttamente né una riduzione dell'intercetta della caratterizzazione dei consumi che si vanno a monitorare, né una riduzione della pendenza della retta. In altre parole, la prestazione energetica è insensibile a questo intervento, ma in questo paragrafo, si valutano piuttosto i possibili benefici conseguibili in termini dell'ampliamento del dettaglio della caratterizzazione energetica aziendale e la sua ottimizzazione funzionale. Questi aspetti sono potenzialmente utili in seguito per il miglioramento della fase di planning e check del ciclo PDCA, senza trascurare che l'aggiunta di misuratori aiuta a tenere sotto controllo la gestione degli impianti.

Ottimizzazione ed estensione del sistema di monitoraggio elettrico

Il sistema attualmente installato è stato utilizzato a fondo sia per l'analisi statistica, sia per quella deterministica, ma in alcuni casi non è stato possibile l'approfondimento di alcuni temi data la mancanza di dati di consumo sensibili per l'approfondimento e l'estensione del sistema di monitoraggio elettrico. Si passa dunque alla valutazione del sistema esistente e alla progettazione di eventuali interventi migliorativi, dal punto di vista di ottimizzazioni ed estensioni della rete di misura, in quanto un progetto completo richiederebbe troppe risorse.

Per avere una base per la valutazione dello stato di fatto, si comincia confrontando la copertura attuale del sistema di monitoraggio, con quella proposta da Enea per l'obbligo di installazione di un sistema di monitoraggio a partire dalla redazione della seconda Diagnosi Energetica²⁸. A tale scopo, Enea definisce dei livelli di copertura minimi delle misurazioni per ogni area di attività aziendale, in base al consumo totale dell'anno di riferimento per la Diagnosi Energetica. ZF Automotive per l'anno 2018, a causa dei suoi 2210 tep, ricadeva nella fascia di consumo annuale da 1200 a 2299 tep, per cui è richiesta una copertura del 45% rispetto al totale annuale delle attività principali, il 10% per quanto riguarda i servizi ausiliari e il 5% per i servizi generali [8]. Queste percentuali sono valide per ogni vettore energetico che incida non meno del 10% del totale dei consumi.

Nel caso in esame, il gas naturale costituisce il 4% di tutti i consumi in tep, per cui può essere escluso dall'obbligo di monitoraggio. Resta da capire se le restanti coperture indicate per il vettore elettrico siano rispettate. Nella realtà con l'attuale sistema di analizzatori di rete, non è possibile avere il totale dei consumi per ogni area su cui basare il calcolo della copertura, motivo per cui non è

²⁸ L'obbligo di Diagnosi Energetica è indetto dal D. Lgs. 102/14 entro il 5 dicembre 2015 e successivamente ogni 4 anni. Dalla seconda DE i soggetti obbligati sono costretti ad installare un sistema di monitoraggio in modo da poter avere dati "aggiornati, misurati e tracciabili" (fonte D. Lgs 102/14, Allegato 2).

possibile dare una risposta esatta. Enea permette infatti di ricavare la copertura in base alle stime progettuali derivanti dal modello energetico implementato dalla Diagnosi Energetica, ma dato che, in questa trattazione, non si è ricostruito un modello comprendente ogni utenza elettrica di stabilimento in questa, ma si sono semplicemente considerate le aree a maggior consumo di energia, non è possibile fornire dei valori precisi di copertura per area. Si possono comunque effettuare delle considerazioni a riguardo. Innanzitutto, si sottolinea che tutte e tre le aree presentano dei misuratori distinti, che è il grado di dettaglio richiesto da Enea: i misuratori dei macchinari del reparto produttivo riguardano le Attività Principali, quelli dei due reparti compressori i Servizi Ausiliari e i contatori per l'intervento di sostituzione LED per quanto riguarda i Servizi Generali. In seguito, ci si basa sull'analisi di copertura effettuata nel paragrafo precedente, da cui si stima che la copertura del 45% richiesta per le Attività Principali sia ampiamente coperta con un buon grado di certezza, essendo monitorata più del 70% della potenza totale del reparto. Più difficile è la stima delle altre due aree che, nonostante le percentuali più basse di copertura richiesta.

Quindi per adempiere alle linee guida per la copertura minima del sistema di monitoraggio per l'obbligo di Diagnosi Energetica derivante dal D. Lgs. 102/14, le prime aree su cui andrebbe esteso il sistema sarebbero sicuramente i servizi generali e gli ausiliari. Si cercheranno di introdurre degli ulteriori criteri per la scelta dei nuovi punti di installazione degli analizzatori di rete che serviranno ad individuare le caratteristiche mancanti del sistema attuale. Prima di elencarli si precisa però che verrà utilizzata una definizione di vettore energetico in maniera globale, considerando mezzi fisici come l'aria compressa, l'acqua refrigerata e tutti i prodotti di generazione e trasformazione dell'energia. Vengono ora spiegati i criteri, che sono essenzialmente tre (fonte [4]).

Il primo criterio prevede l'installazione di strumenti di misura che consentano la distinzione dei vari vettori energetici utilizzati dall'azienda. Nel caso specifico, ZF presenta degli analizzatori di rete adibiti essenzialmente per la misura dell'energia elettrica in bassa tensione e dei misuratori per il conteggio e la misura dei materiali, semilavorati e prodotti finiti, in modo distinto, motivo per cui il sistema attuale rispetta in pieno questo criterio.

Il secondo riguarda invece la capacità di distinguere la generazione e l'utilizzo dell'energia, dove per generazione non si intende solamente la produzione fisica energia, ma anche l'acquisto di una certa quantità di energia primaria e la sua trasformazione all'interno del sito. Per esempio, l'energia elettrica viene acquistata in media tensione e trasformata in bassa tensione con un certo rendimento che implicherà il fatto di avere delle perdite. Anche il gas naturale, ad esempio, viene acquistato e trasformato in calore. Quindi questa generazione energetica è quella funzione responsabile della creazione dei vettori energetici aziendali e della loro distribuzione fino a tutti i centri di utenza aziendali. Il fatto che questa generazione abbia un rendimento conferisce importanza nell'installazione di strumenti di misura per il monitoraggio di tale informazione. Questi misuratori risultano completamente slegati al consumo dei vettori energetici che invece riguardano il processo per la produzione di beni e servizi. Per questo motivo è importante installare misuratori per la distinzione del rendimento di generazione/distribuzione che leghino energia primaria con il

vettore energetico dalla misura invece dei consumi energetici dei centri utente che legano il vettore energetico al processo produttivo.

Nel caso dello stabilimento di Ostellato, i misuratori sono installati sui centri utente per l'energia elettrica, ma mancano misuratori adibiti per il monitoraggio della generazione di energia elettrica, che consisterebbe nell'installazione di un analizzatore a valle dei trasformatori, possibilmente uno per quadro generale di bassa tensione per un totale di due strumenti.

L'ultimo criterio richiede la capacità di distinzione tra aree ad attività diverse e specifiche dell'azienda. Questo risulta fondamentale nella valutazione delle prestazioni energetiche dell'azienda in quanto avere i dati di consumi divisi per attività lavorativa, permette la loro valutazione in funzione di diversi energy drivers a correlazione statistica migliore. Nell'esempio presentato in questa tesi, è importante avere i consumi divisi per reparto per poter utilizzare i semilavorati di tale area come opzione valida dei drivers.

Per quanto riguarda ZF Automotive Italia, il sistema installato consente la suddivisione a seconda del terzo criterio in modo esatto solamente per alcuni reparti. Per altre aree, come ad esempio il reparto Corpi che presenta dei macchinari monitorati in comune con il reparto Boccole in quanto confinanti, sarebbe opportuno dettagliare i consumi mediante l'installazione di misuratori ai singoli macchinari a reparto diverso. In generale è importante più che applicare la suddivisione a seconda di reparti o luoghi fisici differenti, a tutte le aree che presentano un'attività omogenea, in modo da rendere più semplice e immediato avere riscontro fisico da un risultato statistico. Ad esempio, nell'arco della caratterizzazione energetica, è stato possibile individuare tutti i reparti in cui si è verificato un nodo, e in base alla loro attività si è potuto dare una giustificazione plausibile a tale cambiamento.

Per riassumere nel dettaglio gli interventi da effettuare per la conformità a questo criterio, bisognerebbe installare tre misuratori sulle macchine Chiron del Blindo 6 per disaccoppiare i loro consumi dalle macchine del reparto Corpi. Inoltre, seguendo lo stesso ragionamento, bisognerebbe installare uno strumento di misura sulla Linea D del Blindo 2, per togliere tale contributo di consumo ad una linea che per il resto è dedicata al reparto ingranaggi, 2 misuratori sul Blindo 9 (Chiron e Durr) e 2 sul Blindo 10 (Stama e Buratto) per lo stesso motivo.

Nella realtà sarebbe meglio evitare di ricavare dei centri di consumo dalla differenza, perché in questo modo la quantità calcolata risente delle incertezze ed eventuali problemi di anche uno solo degli altri misuratori installati. Nel caso specifico si comprende come risulti troppo dispendioso installare un misuratore per tutti i macchinari dei quattro condotti sbarra citati in precedenza, quindi ci si deve accontentare del dato calcolato come differenza. Bisogna inoltre comprendere che si tratta di misuratori industriali, i quali sono contraddistinti da un notevole grado di incertezza che rende obbligatorio in ogni caso, l'accettazione dell'errore.

Fino ad ora si sono considerati degli interventi per l'aumento del livello di dettaglio e l'ottimizzazione delle funzionalità dell'attuale sistema di monitoraggio, senza però considerare l'estensione dei punti di misura ad attività

diverse. Sicuramente nel caso si volesse ampliare la copertura, un primo punto di misura plausibile è sul quadro elettrico di alimentazione dei Gruppi Frigoriferi usati per la climatizzazione estiva. Essi infatti, non solo sono due macchine ad elevata potenza nominale (rispettivamente di 227 e 179 kW), ma si è notato come siano in grado di influenzare la caratteristica globale di stabilimento. A testimonianza di ciò è stata infatti rilevata una forte correlazione tra i consumi globali e i gradi giorno estivi, variabile che influenza consumi derivanti da condizionatori. La forte influenza rilevata sui consumi globali di stabilimento, fa quindi pensare che i gruppi frigo permettano un'estensione notevole della copertura attuale. Inoltre, l'installazione su un'area di attività che ricade nei servizi generali, aiuterebbe ad aumentare la copertura specifica anche ai fini dell'obbligo di Diagnosi Energetica.

Implementazione di un sistema di monitoraggio per altri vettori energetici

ZF Automotive Italia, oltre al vettore elettrico, fa uso anche di altri vettori energetici per lo sviluppo delle attività lavorative all'interno dello stabilimento. Tra questi, uno dei più importanti è il gas naturale, sia per quanto riguarda il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria, sia per quanto riguarda il processo dato che il combustibile è utilizzato nel processo di carbocementazione degli ingranaggi durante il trattamento termico. Nelle annualità di cui erano disponibili i dati dei consumi si delinea infatti una baseline di consumo estivo intorno ai 1000 Sm³ al mese, che confrontata con i picchi di consumo di gas che si hanno in inverno pieno, costituisce meno del 5% di incidenza sul totale. Proprio per questo motivo che la caratterizzazione con il driver produzione del gas naturale non ha avuto risposte statistiche significative.

Per ottenere un miglioramento immediato nel disaccoppiamento dei consumi di gas naturale, si potrebbe pensare di installare un contatore sull'alimentazione del bruciatore posto sul forno, che però in quanto non assolve la funzione di riscaldamento dei componenti fino alla temperatura di 900 °C, ma è adibito alla funzione di formazione di un'atmosfera carboniosa per il trattamento termico, non presenta consumi rilevanti. Per questo motivo si sconsiglia in termini di priorità, l'installazione di un tale misuratore. Non sarebbe invece da escludere a priori delle possibili installazioni di misuratori di gas sulle tre caldaie aziendali, in quanto permetterebbero di avere dei dati ad una cadenza maggiore di quella mensile, che gioverebbe nell'ottimizzazione della caratterizzazione energetica di tale vettore e dettagliati per ogni macchina. Ma anche in questo caso, la scarsa incidenza del vettore sul totale tende a far scartare questa ipotesi.

L'intervento più sensato per l'attività di riscaldamento risulterebbe invece l'installazione di contatori di calore sull'output delle caldaie, in modo da differenziare i vari vettori energetici di distribuzione ai vari centri di utilizzo: si potrebbe cercare di separare la quantità di calore per il riscaldamento degli uffici, per il riscaldamento del capannone, la quantità destinata alle UTA e quella per la produzione di ACS. In questa maniera sarebbe possibile un forte miglioramento della caratteristica energetica sui consumi del gas, potendo agire su driver diversi. Inoltre, si potrebbe usufruire di questa caratterizzazione dettagliata per la valutazione precisa di opere di efficientamento energetico ai singoli impianti.

La fattibilità dell'opera non è però valutabile in quanto non erano disponibili i dati sull'impianto di riscaldamento, per cui non è stato possibile valutare quanti misuratori di calore installare.

Esempi simili possono essere effettuati anche per alte grandezze come la misura della produzione del freddo in cascata ai gruppi frigoriferi oppure la misura della portata di aria compressa che permetterebbe anche di individuare subito la presenza di perdite ed inefficienze nell'impianto di compressione. Ma mentre per la misura del freddo non si individuano potenziali miglioramenti in grado assumere un valore di utilità abbastanza importante, per l'aria compressa invece si presentano notevoli spunti interessanti.

Si deve valutare l'opzione dell'installazione di misuratori a valle della sala compressori A, in modo da poter valutare la richiesta del vettore energetico da parte degli utilizzatori pneumatici e, di conseguenza, valutare l'utilizzo dei macchinari in termini di efficienza del macchinario e nella sua regolazione. Tramite la conoscenza dell'andamento del fabbisogno di aria compressa, si può valutare in che maniera lavorano i motori delle macchine, e in base a quello, calcolare in modo preciso i risparmi conseguibili in seguito al cambiamento delle condizioni di regolazione, come ad esempio, variando i giri tramite un inverter. L'intervento permetterebbe inoltre di valutare le condizioni di richiesta della rete di distribuzione dell'aria compressa, per un'ipotesi di miglioramento della conformazione della rete stessa e della tipologia di distribuzione. Infine, sarebbe anche possibile individuare e quantificare in modo più preciso l'eventuale presenza di perdite nell'impianto.

Importanza manutenzione e taratura degli strumenti

Si conclude il capitolo con alcune raccomandazioni sull'importanza della manutenzione e della taratura periodica degli strumenti installati.

Come tutti i dispositivi infatti, anche i misuratori del sistema di monitoraggio sono soggetti a peggioramenti nel tempo per effetto dell'invecchiamento dei materiali e il loro utilizzo in condizioni molto spesso gravose per presenza di polvere, umidità, vibrazioni e temperature elevate. Questi effetti causano la deriva dello strumento nel tempo, ossia la perdita di prestazioni in termini di precisione e accuratezza [5].

In ottemperanza ai tre criteri enunciati in precedenza, si introduce anche un sistema molto utile ai fini del controllo delle prestazioni del sistema di monitoraggio. Esso consiste nel monitorare sia tutte le sezioni direzionate verso i centri utente, a valle di un nodo sia la sezione a monte in cui passa il totale del vettore energetico fornito. In seguito, si può osservare e quantificare la differenza tra le letture di monte e la somma di quelle di valle, che idealmente uguali invece presentano discostamenti da confrontare con un errore massimo fissato. Questo errore, chiamato $\Delta_{\text{strumenti}}$ deve attestarsi a valori non superiori al 5/10%. In questo modo, se le due misure si scostassero di un valore maggiore rispetto al $\Delta_{\text{strumenti}}$ fissato, si avrebbe subito l'indicazione riguardo alla necessità di manutenzione di alcuni misuratori attorno al nodo in analisi [4].

Affinchè ZF Automotive possa beneficiare delle informazioni appena indicate, dovrebbe installare 2 analizzatori di rete a monte dei quadri QM1 e QM2 dello stabilimento, in modo da riuscire a monitorare il totale del vettore elettrico in input ed imbastire una logica di controllo di Δ strumenti, che permetta di tenere sotto controllo tutti e 16 i misuratori installati in cascata verso i centri utente.

Si comprende infatti che investire in un sistema di monitoraggio per poi avere dei dati approssimativi e caratterizzati da errori non più trascurabili non è redditizio. Per questo motivo è molto importante effettuare manutenzione preventiva e calibrazione periodica degli strumenti di misura, soprattutto nel caso in cui non sia effettuata un'analisi di Δ strumenti. Ed è proprio in questo senso che emerge tutta la potenzialità del metodo il quale permette, una volta stabilita una soglia di errore non più tollerabile, di programmare la manutenzione e la taratura degli strumenti.

In caso di non adempienza a tale sistema invece, è consigliabile effettuare un piano di taratura che permetta di definire dei controlli a intervalli periodici prestabiliti, che non siano superiori rispetto a quanto indicato dal produttore dello strumento oppure sulla sua targhetta.

Segue una tabella riassuntiva con elencati i misuratori che si consiglia di installare, divisi per vettore energetico, utilità (estensione o ottimizzazione o manutenzione) e per carico da monitorare.

Interventi migliorativi agli impianti

In questo paragrafo si discuterà su come migliorare l'efficienza energetica degli impianti attualmente installati nello stabilimento di ZF Automotive Italia. In particolare, ci si concentrerà sulle aree a maggior consumo del reparto produttivo, in quanto presentano un'incidenza maggiore sui consumi globali, ma in un processo di continuo miglioramento, si dovrà continuare nel tempo ad analizzare anche i centri di consumo minori. Anche in questo caso, andando ad utilizzare le indicazioni derivanti dagli EnPI calcolati in precedenza, si incomincia con l'analisi del reparto ingranaggi. Questo centro di consumo presenta infatti l'indice di consumo nominale più alto insieme ad un alto valore del coefficiente di controllo dei consumi. In casi come questo, è solitamente preferibile agire sugli impianti in quanto la quota fissa non assume un'incidenza eccessiva sui consumi totali.

Seguono i sotto paragrafi con le descrizioni dettagliate degli interventi di efficientamento proposte, e laddove è stato possibile grazie ad un maggior dettaglio dei dati a disposizione, si riporta anche una breve analisi economica.

Ridimensionamento e sostituzione dei motori elettrici di alcune rettificatrici

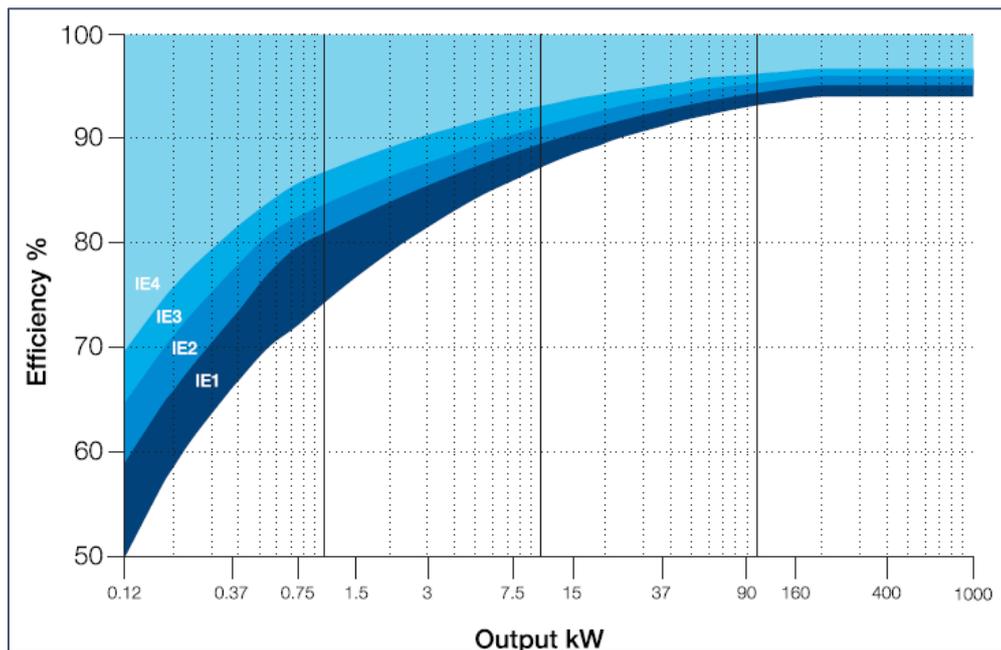
I motori elettrici in generale costituiscono la maggior parte dei consumi elettrici di una realtà industriale. Si stima infatti che costituiscano circa il 75% dei consumi elettrici di tutto il parco industriale italiano. L'altra peculiarità dei

motori elettrici è l'incidenza del costo di esercizio sull'intero ciclo di vita, che si attesta su percentuali intorno al 98%, mentre il costo di investimento per l'acquisto ammonta solamente all'1,5%. Da questo si deduce quanto sia potenzialmente conveniente investire su un parco motore più efficiente, grazie ad interventi che possono presentare ritorni veloci (fonte [5])

Un moderno motore elettrico asincrono trifase, presenta svariati tipi di perdite: perdite per attrito sugli elementi meccanici, perdite di ventilazione, perdite nel ferro e perdite per effetto Joule. Con l'avanzamento tecnologico, sono disponibili però sul mercato dei motori che grazie ad accorgimenti strutturali sui componenti e sui materiali, minimizzano al massimo queste perdite. Questo permette di raggiungere delle efficienze maggiori: a parità di energia in output, viene assorbita meno potenza elettrica in input.

A tale proposito, è presente uno standard di classificazione delle classi di efficienza dei motori elettrici, la IEC/EN 60034-30-1:2014, la quale definisce i valori minimi di tale grandezza in 4 classi per diverse taglie di potenza erogata da una macchina. Le classi sono in ordine, dalla meno efficiente alla più efficiente: IE1 (Standard Efficiency), IE2 (High Efficiency), IE3 (Premium Efficiency) e IE4 (Super Premium Efficiency). Si può osservare la suddivisione dalla figura riportata in seguito (fonte ABB).

Figura 123: Classi di efficienza secondo IEC/EN 60034-30-1:2014 (fonte ABB)



Il rendimento del dispositivo però, non è un valore fisso, ma essendo che alcune perdite dipendono dal carico a cui è sottoposto il motore in output, esse avranno dei valori diversi al variare del fattore di carico x . Quest'ultimo è definito come il rapporto tra la potenza elettrica assorbita dal motore e la sua potenza nominale, quindi è una grandezza adimensionale che varia tra 0 e 1. Ogni motore presenta una curva rendimento-perdite-carico, che evidenzia la variazione del rendimento in funzione del carico. Solitamente, i dispositivi lavorano meglio per carichi che vanno da 0,6 a 0,8 in cui la curva è sostanzialmente piatta, mentre il rendimento

peggiora a carichi troppo bassi o troppo alti [7]. Ne deriva quindi, la definizione del rendimento:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = x \cdot \frac{P_n}{P_a} \quad (4)$$

Si userà la (4) per i calcoli che verranno effettuati in seguito. L'intervento che si propone è proprio quello della sostituzione di alcuni motori del reparto ingranaggi, presenti sulle macchine di rettifica. La lavorazione adibita alla finitura superficiale del profilo dei denti degli ingranaggi infatti è del tipo meccanico, e richiederà dunque per l'azionamento dei componenti di lavorazione interna, l'utilizzo di un motore elettrico. Inoltre, dai dati provenienti dai misuratori elettrici, si è notato che il profilo di potenza durante l'utilizzo dei macchinari, è stabilmente di molto inferiore rispetto al plateau di potenza nominale, a testimonianza che i macchinari lavorano stabilmente a carichi bassi. Da qui ne deriva l'ipotesi di lavoro con fattori di carico non ottimale dei motori elettrici, e la necessità di valutare una loro sostituzione con dispositivi a minore potenza e maggiore efficienza.

Questo ridimensionamento si rende necessario in quanto a bassi carichi, non solo si ha una riduzione del rendimento come spiegato in precedenza, ma si abbassa anche il fattore di potenza, con maggiori perdite nelle linee di alimentazione del motore e un impegno maggiore di energia reattiva [7]. Purtroppo, non è stato possibile rilevare aumenti degli assorbimenti di energia reattiva in quanto all'interno dello stabilimento sono presenti dei rifasatori localizzati atti a diminuirne il valore.

Una volta messo chiarezza sulla logica di efficientamento, si spiega ora quali dati si sono resi necessari per lo studio di fattibilità e in che modo sono stati raccolti. I dati necessari per la valutazione dell'intervento sono essenzialmente, sia sull'installato che sull'installabile:

- ❖ Potenza di nominale di targa in kW
- ❖ Rendimento a fattore di carico unitario
- ❖ Fattore di carico
- ❖ Ore di utilizzo annue

Nel dettaglio, la potenza nominale del motore attualmente installato, è stata presa dalla scheda tecnica dei macchinari di rettifica che riportavano la voce potenza del motore della mola, mentre per il motore da installare si è trovato su cataloghi tecnici. Per il rendimento del motore attualmente installato invece si è dovuto ricorrere all'ipotesi di classe di efficienza IE1, in quanto non specificato nei dati tecnici a disposizione. Il fattore di carico a cui lavorano i dispositivi è stato ricavato dividendo la potenza massima rilevata dal sistema di monitoraggio per la potenza nominale installata dei macchinari sotto i misuratori. In questo modo è possibile avere una stima precisa delle modalità di lavoro a carico degli attuali motori elettrici che costituiscono la maggior parte dell'assorbimento di energia delle macchine. Il fattore di carico del motore da installare è invece stato ricavato, portando entrambe le macchine ad erogare la stessa potenza all'albero motore, dal momento che non è stato possibile trovare le curve caratteristiche del motore e del carico. Nella realtà, queste informazioni andrebbero

approfondite, in quanto solitamente il motore ridimensionato si troverebbe ad assorbire minore potenza, ma essendo che si tratta di un'ipotesi peggiorativa dell'intervento, rimane comunque accettabile. Infine, le ore di utilizzo annue è stato possibile ricavarle in modo preciso dai profili di potenza annuali, e si sono utilizzate quelle del periodo da settembre 2018 ad agosto 2019.

Infine, per i calcoli economici, si sono resi necessari i valori dell'investimento per l'acquisto e l'installazione ordinaria. Nella realtà bisognerà aggiungere anche i costi straordinari di adattamento del motore nuovo, che essendo meno potente, avrà un ingombro minore e quelli necessari per una eventuale ricertificazione del macchinario industriale modificato. Un altro dato necessario è il prezzo di acquisto dell'energia elettrica da fornitura, che è stato calcolato dalle fatture, mentre si è stimato all'1,5% il tasso di interesse passivo. Seguono i calcoli per il ridimensionamento dei motori, divisi per tipologia di rettificatrice analizzata. Si parte con la macchina Studer, i cui dati sui motori di mola prima e dopo la sostituzione vengono riportati nella tabella seguente.

Tabella 40: Dati motori della rettificatrice Studer, ante e post operam

Rettificatrice Studer	Ante	Post	u.m.
Potenza di targa	15	7,5	kW
Numero	8	8	-
Rendimento nom.	88,7%	91,70%	-
Potenza totale installata	120	60	kW
Fattore di carico	0,3	0,6	-
Potenza assorbita	41	39	kW
Ore di utilizzo annue	7.050	7.050	ore/anno
Energia annua assorbita	286.133	276.772	kWh/anno

Si ricava da qui un risparmio energetico annuale di 9361 kWh, il quale verrà approfondito per le valutazioni economiche.

Si ripete lo stesso procedimento per le macchine di rettifica di marca Tacchella, modello Crossflex e Pulsar.

Tabella 41: Dati motori della rettificatrice Tacchella Crossflex, ante e post operam

Tacchella Crossflex	Ante	Post	u.m.
Potenza di targa	24	7,5	kW
Numero	4	4	-
Rendimento nom.	89,9%	91,70%	-
Potenza totale installata	96	30	kW
Fattore di carico	0,2	0,6	-
Potenza assorbita	21	20	kW
Ore di utilizzo annue	7.130	7.130	ore/anno
Energia annua assorbita	152.276	139.956	kWh/anno

5. Strategie per il miglioramento della prestazione energetica

Tabella 42: Dati motori della rettificatrice Tacchella Pulsar, ante e post operam

Tacchella Pulsar	Ante	Post	u.m.
Potenza di targa	37	11,0	kW
Numero	6	6	-
Rendimento nom.	91,2%	92,60%	-
Potenza totale installata	222	66	kW
Fattore di carico	0,2	0,7	-
Potenza assorbita	49	46	kW
Ore di utilizzo annue	7.130	7.130	ore/anno
Energia annua assorbita	347.118	330.321	kWh/anno

Per le restanti macchine di rettifica non è stato possibile trovare i dati del motore interno alla macchina dalle schede tecniche, ma vale lo stesso procedimento appena mostrato, che aumenterebbe la portata dell'investimento e dei flussi di cassa. Sommando i risparmi energetici annui per i motori a corretto dimensionamento e a maggior efficienza, si trova un totale di 38478 kWh/anno. I fattori di carico e le ore annue, sono stati ricavati come enunciato in precedenza, usando i dati del misuratore Blindo 14 per le macchine Studer, mentre i dati del Blindo 13 per i due modelli Tacchella. In seguito, si riportano i dati economici utilizzati per il calcolo degli indicatori economici di interesse. Il prezzo di acquisto dei motori elettrici sostitutivi di classe IE3 è stato ricavato rincarando del 50% in più un prezziario sui motori standard (fonte ABC elettromeccanica). Nello stesso modo è stato ricavato il costo di installazione, rincarando l'investimento del 35% del totale. Tali percentuali, costituiscono certamente una sovrastima, ma sono rese necessarie in quanto per ricavare il valore precise di acquisto si rende necessaria la richiesta di un preventivo da parte del costruttore, con prezzi molto variabili anche in base agli sconti spesso enormi.

Tabella 43: Dati economici dell'intervento

Parametri economici	Valore
Investimento [€]	16.638,90
Risparmio energetico [kWh/anno]	38.478
Costo vettore energetico [€/kWh]	0,13
Mancato esborso annuo [€/anno]	5.002,16
Costi manutenzione [€/anno]	0
Flusso di cassa costante [€/anno]	5.002
Vita utile intervento [anni]	10
Tasso di inflazione	1,5%
Tasso di interesse reale	1,5%

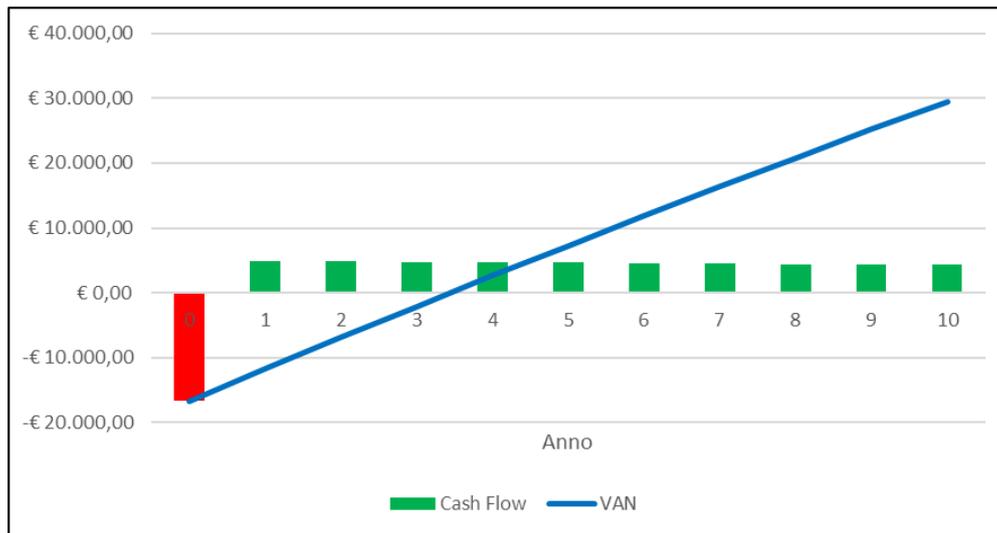
Infine, è possibile procedere con il calcolo degli indicatori economici di fattibilità dell'investimento, come il Pay Back Time e il VAN.

5. Strategie per il miglioramento della prestazione energetica

Tabella 44: Risultati economici dell'intervento

Risultati economici	Valore
SPB [anni]	3,33
DPB [anni]	3,50
VAN [€]	29.491,90

Figura 124: Dettaglio grafico sui flussi di cassa e il VAN



Si evidenzia innanzitutto un VAN positivo che è indice della fattibilità dell'opera. Inoltre, si nota un tempo di ritorno attualizzato di circa 3 anni e mezzo che presenta interessanti prospettive di risparmio, le quali suggeriscono un approfondimento dello studio per l'intervento di sostituzione dei motori aziendali.

Questo intervento infatti, ha solamente lo scopo esemplificativo della procedura da seguire per la valutazione degli interventi sugli impianti in modo preliminare. Per la messa in atto di un intervento di tale portata, si rende necessario invece un progetto approfondito per la fattibilità sia tecnica sia economica dell'intervento.

Nel caso specifico di sostituzione dei motori, si consiglia di mettere in pratica un piano d'azione generale per una valutazione sulla ricerca dei motori da sostituire nell'azienda. Infatti, dai calcoli svolti si nota come la convenienza dell'opera risiede nel fatto che i motori sono utilizzati per un numero elevato di ore all'anno, dettato dal fatto che l'azienda è aperta per 6 giorni a settimana per 24 ore al giorno. Quindi è necessaria una piccola differenza nell'assorbimento di potenza elettrica, per generare dei buoni valori di risparmio, sia energetico, sia economico.

Il piano d'azione deve prevedere inizialmente la redazione di un inventario in cui preliminarmente devono venire censiti tutti i motori installati in azienda, con annesse le caratteristiche dei dati di targa (taglia elettrica, tipo di macchina, efficienza, numero riavvolgimenti), la tipologia di apparecchiatura azionata (mandrino, mola, pompa, compressore...), sistema di trasmissione, frequenza manutenzione e ore di utilizzo annue. In questo modo è possibile avere una

panoramica del parco motori aziendale e un'idea di quali consumino maggiormente e quali invece siano più frequentemente fermi per manutenzione. Inoltre, sui motori a consumi maggiori, si devono approfondire le informazioni disponibili, organizzando delle campagne di misura, da cui è possibile ricavare i dati più precisi su fattore di carico e modalità di utilizzo e di regolazione [5].

Avendo un dettaglio preciso, sarà quindi possibile effettuare valutazioni di fattibilità più precise ed eventualmente sostituire i macchinari, seguendo uno specifico programma di attuazione. Ad esempio, si può procedere un passo alla volta sostituendo i motori ogniqualvolta si presenti la necessità di riavvolgimento dell'alimentazione statorica, operazione che presenta dei costi non trascurabili e che quindi concorrerebbe ad abbassare il rientro economico della sostituzione di un motore nuovo. Un altro caso può essere dalla sostituzione di motori molto longevi, che hanno frequenti necessità di manutenzione e fermi non programmati. Da quanto è emerso dal sopralluogo infatti, si è scoperto che i motori dei ventilatori presenti nell'impianto di aspirazione hanno una longevità non trascurabile. Inoltre, essendo che l'impianto segue le attività dei turni di lavoro, dato il consistente utilizzo annuo, una loro sostituzione sarebbe un intervento potenzialmente vantaggioso. L'ultima strada è un investimento massivo di sostituzione di tutti i dispositivi maggiormente utilizzati, magari coadiuvato da qualche incentivo statale: si ricorda infatti, che tramite la sostituzione dei motori con quelli a classe di efficienza Premium Efficiency, è possibile effettuare richiesta per i Titoli di Efficienza Energetica.

Impianto centralizzato per il raffreddamento dei macchinari produttivi

L'intervento è ispirato ad uno già effettuato dall'azienda in passato, in particolare nel 2012. Esso ha previsto l'installazione di un circuito idraulico per la distribuzione dell'acqua proveniente dalla cisterna antincendio, per il raffreddamento di 4 macchine rettificatrici Studer. In questo modo è possibile evitare l'utilizzo dei gruppi frigoriferi montati a bordo di ogni singola macchina, ottenendo un doppio effetto utile: innanzitutto si evita il consumo di energia elettrica dell'ausiliare, inoltre si riduce l'apporto di calore interno allo stabilimento che ha come effetto il surriscaldamento dell'ambiente, soprattutto nei mesi estivi in cui per altro avviene la climatizzazione di alcuni reparti. L'impianto è tutt'ora funzionale ed inoltre ha il pregio aggiuntivo della contribuzione di TEE ogni tep di energia primaria risparmiata. Nel dettaglio, in sostituzione ai 4 refrigeratori precedenti che mantenevano l'olio di raffreddamento circolante nella macchina ad una temperatura compresa tra i 35 e i 45 °C, si sono installati degli scambiatori di calore acqua-olio per ognuna delle macchine interessate. Da lì, l'acqua, è destinata al ritorno in cisterna antincendio, la quale presenta un volume di liquido tale da non risentire di un aumento esagerato della temperatura. Essendo però la cisterna esposta allo scambio diretto con l'ambiente esterno, nelle giornate estive più calde, è previsto l'utilizzo di una torre evaporativa per il raffreddamento dell'acqua proveniente dal condotto di ritorno dall'impianto produttivo. Quest'ultimo elemento del circuito è stato già dimensionato in un'ottica dell'ampliamento dell'impianto per il raffreddamento di altri macchinari presenti in azienda. Infatti, la ZF prevedeva di

ampliare il sistema anche alle rettificatrici Tacchella Grindiflex e Pulsar, e ai centri di lavoro e fresatrici Heller e Makino del reparto corpi.

Al momento in azienda sono presenti numerosi refrigeratori dedicati alla singola macchina o a gruppi di macchine. Si contano infatti ancora 4 Studer non efficientati, inoltre anche le Tacchelle Crossflex e Pulsar hanno ognuna un gruppo frigorifero, per un totale di 10 macchine, mentre le Tacchelle Grindiflex presentano un refrigeratore ogni 4 macchine. Considerando anche i restanti macchinari degli altri reparti, soprattutto il reparto corpi e boccole, si trovano ancora molti gruppi frigoriferi localizzati. Si capisce come l'estensione degli svantaggi dovuti all'attuale configurazione del sistema di raffreddamento dei macchinari localizzato, impatti sia i consumi di elettricità, agendo in particolare sulla quota fissa dei consumi, sia sul sovraccarico termico estivo delle unità di condizionamento dei reparti. Un altro effetto negativo che si può verificare, questa volta in inverno, è l'abbassamento dell'efficienza dei frigoriferi usando come pozzo termico l'ambiente interno, invece dell'ambiente esterno a minore temperatura. Tutti questi problemi possono essere risolti parzialmente o completamente tramite l'adozione di un sistema del tipo centralizzato modulare, che abbia la funzione di raffreddare tutte le macchine di processo facenti uso di un refrigeratore dedicato.

Grazie al progetto per l'acquisizione dei Certificati Bianchi inoltre, è possibile avere un'idea dei benefici energetici conseguibili per l'intervento, essendo che l'azienda ha posto alcuni misuratori, necessari per lo svolgimento dell'algoritmo di calcolo dei tep risparmiati, tramite un'operazione approvata dal GSE²⁹. Quest'ultimo è molto semplice e consiste nella trasformazione dell'energia termica asportata dall'impianto di refrigerazione, contabilizzata tramite un apposito misuratore di calore, in energia elettrica tramite l'EER di targa dei vecchi dispositivi installati. A questo valore, viene decurtato il contributo elettrico della pompa installata per la circolazione dell'acqua nell'impianto e quello della torre evaporativa. Anche questi ultimi due valori sono misurati tramite un apposito sistema di monitoraggio omologato MID.

Il sistema di raffrescamento centralizzato asporta in media più di due GWh al mese di energia termica, al contro di una spesa di meno di 100mila kWh di energia elettrica per le pompe di circolazione, e 400mila kWh per la torre evaporativa e il sistema di pompe al suo interno. Seguendo l'algoritmo di calcolo utilizzato nel progetto ed ipotizzando un EER dei vecchi refrigeratori di 4 unità, si trova un risparmio energetico mensile medio di più di 120000 kWh al mese, corrispondenti a 16000 € di flusso di cassa.

Da questi numeri si capisce come l'intervento sia potenzialmente molto vantaggioso dal punto di vista energetico, contando anche che non si stanno prendendo in considerazione i risparmi conseguibili tramite il minore carico di raffrescamento estivo degli ambienti. Si capisce inoltre come la valutazione economica di un progetto di tale portata, richieda uno studio approfondito sia nei dettagli tecnici dell'installato e dell'installabile, sia nei dettagli economici per l'estensione dell'impianto. Si consiglia comunque la valutazione di uno studio in

²⁹ Gestore dei Servizi Energetici, società statale responsabile per l'incentivazione della produzione da fonti rinnovabili e per l'efficienza energetica.

5. Strategie per il miglioramento della prestazione energetica

tale direzione per il miglioramento dell'efficienza complessiva della prestazione energetica del reparto produttivo.

6. Conclusioni

Nel capitolo finale della tesi di laurea, si effettuerà un breve riassunto dei risultati raggiunti e delle considerazioni effettuate nei capitoli precedenti. Inoltre, si valuterà l'estensione degli argomenti affrontati in merito a quanto viene richiesto dallo standard ISO 50001, descrivendo brevemente i punti che non si sono riusciti a trattare. Infine, si considererà nuovamente il caso specifico dello stabilimento sotto analisi, analizzando brevemente come si potrebbe muovere l'azienda verso l'ottenimento della certificazione.

I capitoli iniziali della tesi sono stati utilizzati per l'analisi energetica del sito scelto come esempio per l'applicazione di un SGE, lo stabilimento di Ostellato del gruppo ZF. Dopo aver precisato gli aspetti relativi alle dinamiche societarie, al sito, al processo produttivo, alla spesa energetica ed economica, e della rilevanza che esse assumono all'interno dell'azienda, si è passati al raccoglimento dei dati necessari per la fase di modellazione energetica. In particolare, si sono raccolti i dati dei consumi derivanti dalle fatture di energia elettrica e gas naturale, i dati di produzione derivanti dal sistema di contabilità su software aziendale, e infine i dati derivanti dal sistema di monitoraggio installato su vari punti dell'impianto elettrico. Il capitolo 3 è stato dedicato completamente allo studio di quest'ultimo, e di come è stato possibile dividere i dati di consumo, reparto per reparto. Definiti i dati in input, si sono potuti caratterizzare energeticamente i consumi dell'azienda su diversi livelli, a partire da quelli globali di stabilimento per energia elettrica e gas naturale, per concludere con quelli suddivisi per attività grazie alle informazioni dagli analizzatori elettrici. Dalla caratterizzazione si è definita quella che è la prestazione energetica più attuale stabile dello stabilimento, che costituisce la baseline di confronto per l'individuazione dei cambiamenti nel tempo dei sistemi di cui si monitorino i consumi. Dai risultati della caratterizzazione, si sono potuti calcolare gli indicatori della prestazione energetica e tramite la loro analisi è stato possibile individuare i reparti meno efficienti e il motivo di fondo di tale inefficienza. Si è concluso infine il lavoro illustrando a scopo esemplificativo, dapprima l'analisi deterministica e come essa possa approfondire l'analisi statistica, in seguito degli interventi per il miglioramento della prestazione energetica delle aree a maggior consumo aziendali, nell'ottica di una strategia aziendale votata al miglioramento continuo nell'uso e consumo energetici.

Dal riassunto si nota come un Sistema di Gestione dell'Energia, copra molti punti della ISO 50001, ma purtroppo non tutti. Mancano tutti i punti amministrativi e legali necessari per la compilazione di documenti e report necessari per la presentazione all'ente certificatore. Tra questi ultimi, sono compresi i progetti per l'analisi di rischio energetico aziendale e il documento descrittivo degli stakeholder energetici societari, come previsto dall'aggiornamento del 2018 della norma. Questi argomenti non si sono affrontati in quanto costituiscono la parte meno interessante di un SGE ingegneristicamente parlando, ma si rendono necessari per l'ottenimento e il mantenimento di una qualsiasi certificazione. L'iter burocratico infatti avrebbe richiesto molte risorse in termini di dati e tempo e non sarebbe stato altrettanto efficace come se invece fosse analizzato dal personale amministrativo interno all'azienda. In pratica, ci si è soffermati

solamente sugli aspetti più tecnici definiti dalla normativa che sono quelli più affini al corso di laurea in Ingegneria Energetica. Mancano comunque dei temi anche da quel punto di vista: non si sono approfonditi gli aspetti riguardanti la definizione degli obiettivi e l'approvvigionamento di materiali, servizi e prodotti necessari per il miglioramento del SGE, in quanto risulta di difficile trattazione da un punto di vista esterno alla società.

Per concludere, si vuole fornire una valutazione del grado di attenzione rispetto ai temi energetici da parte della società in esame, e dei passi che essa deve compiere verso la certificazione allo standard dei Sistemi di Gestione Energetici. Innanzitutto, ZF Automotive Italia ha sempre dimostrato un elevato grado di attenzione ai temi energetico ambientali. Questo è probabilmente dovuto in primo luogo a causa di una formazione e influenza operate dalla casa madre del gruppo, la ZF Friedrichshafen AG, la quale storicamente è attenta ai problemi di sostenibilità. Il secondo motivo è forse da ricercare in fattori economici, in quanto la spesa per la fornitura energetica non è affatto trascurabile, come per altro evidenziato anche dall'alta incidenza dei costi energetici sul totale aziendale. Di certo è che l'azienda opera continuamente un'analisi sui consumi aziendali, monitorando le quote fisse e definendo degli indicatori generali per la definizione della prestazione energetica. Inoltre, all'interno del sito è atto un evidente tentativo di sensibilizzazione e formazione del personale, con lo scopo della riduzione di tutti gli sprechi energetici.

Questi punti sono sicuramente essenziali per la certificazione e costituiscono una buona base di partenza. Per redigere una solida Energy Baseline, sarà necessario comunque effettuare degli studi più approfonditi per la costruzione di un valido modello del sistema stabilimento, che possa riconoscere la prestazione energetica più recente stabile e individuare i suoi cambiamenti nel tempo. Inoltre, l'azienda dovrà cercare di sfruttare al meglio l'attuale sistema di monitoraggio per trarne ogni informazione utile sul miglioramento dell'efficienza energetica e in seguito dovrà cercare di migliorarlo in base alle necessità. Sempre allo stesso scopo, si dovrà cercare di recuperare ogni informazione possibile a riguardo degli impianti installati, e dopo aver ordinato i dati, tramite campagne di misura bisogna cercare di ricavare quelli mancanti. Infine, ovviamente, dovrà avviare l'iter burocratico necessario per la certificazione ISO 50001.

In questa tesi si sono appunto approfonditi alcuni aspetti tecnici mancanti a ZF per il conseguimento dello standard, che non costituiscono in assoluto l'unico metodo per l'ottenimento dei risultati richiesti. Si è cercato però di organizzare un sistema che possa essere innanzitutto funzionale per la realtà in esame ma non solo, in quanto i metodi affrontati sono universalmente applicabili e adattabili.

Gli esempi applicativi riportati hanno quindi lo scopo di illustrare un metodo ritenuto funzionale e pratico, ma da soli non consentono l'applicazione di un SGE. La cosa importante che però deve emergere da questi casi applicativi è la procedura e l'approccio al problema energetico, il quale non deve essere affrontato una volta ogni 4 anni come nel caso dell'obbligo alla redazione di una Diagnosi Energetica, e neanche una volta all'anno per il rinnovo della certificazione ISO 50001. I metodi applicativi devono infatti essere accompagnati da costanza e determinazione nel miglioramento continuo dell'efficienza

energetica di un sistema ed alla convinzione che tale miglioramento possa portare benefici su molteplici fronti.

Se si interviene con questo modus operandi, si possono trarre veramente numerosi benefici dall'implementazione di un Sistema di Gestione dell'Energia, a prescindere dalla certificazione ISO, che brutalmente parlando, non presenta vantaggi a parte il miglioramento dell'immagine aziendale all'esterno e l'esenzione all'obbligo di Diagnosi Energetica.

Ritornando al problema mondiale iniziale, si può affermare che neanche se tutte le società industriali del mondo adottassero un Sistema di Gestione dell'Energia, si avrebbe la certezza di risolvere i problemi climatici. Ma se invece tutti noi assumessimo consapevolezza realmente del problema e avessimo un approccio nell'uso e consumo delle risorse naturali più affine a quello descritto, probabilmente una chance in più la si avrebbe.

Bibliografia

- [1] - International Energy Agency, 2019, *World Energy Balances - Overview*
- [2] - UNI CEI EN ISO 50001, 2018, *Sistemi di Gestione dell'energia – Requisiti e linee guida per l'uso*
- [3] - ZF, 2018, *Sustainability Report*
- [4] - Gabriele P., Giacone E., Mancò S., *Dispense del corso di Gestione dei Sistemi Energetici*, Torino, Epics, 2018
- [5] - Badami M., Portoraro A., *Appunti del corso di Impiego Industriale dell'energia*, Politecnico di Torino
- [6] - UNI CEI EN 16247-1, 2012, *Diagnosi Energetiche – Parte 1: Requisiti Generali*
- [7] - Di Franco N., *Energy Management*, Milano, Franco Angeli, 2015
- [8] - Decreto Legislativo 4 Luglio 2014, n° 102
- [9] - Calabria A., Di Palma D., Di Veroli M., Lucentini M., *L'esperto in gestione dell'energia*, Roma, EPC Editore, 2017