

# **POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

**Tesi di Laurea Magistrale**



Sviluppo di un modello per la valutazione dell'efficienza energetica di un'azienda operante nel settore manifatturiero

**Relatore**

Prof. Massimo Santarelli

**Candidato**

Mattia Papa

**Correlatore**

Ing. Ferrante De Benedictis, PhD

Anno Accademico 2019-2020



## Abstract

Nell'elaborato di tesi si è sviluppato un modello per valutare l'efficienza energetica di un sito industriale, focalizzando l'attenzione sulla rete elettrica e individuando gli interventi di efficientamento necessari.

Questo è stato fatto seguendo le modalità di azione dettate dalla norma ISO 50001 e adottando l'approccio PDCA (Plan-Do-Check-Act) per il miglioramento continuo.

Tra le soluzioni proposte si è considerata nello specifico l'installazione di un impianto fotovoltaico, che porterebbe dei vantaggi sia in termini economici, evitando o comunque riducendo notevolmente l'acquisto di energia elettrica dai normali fornitori, che ambientali, limitando le emissioni di anidride carbonica nell'ambiente.

Come supporto al lavoro è stato implementato un modello Simulink che va a simulare il comportamento elettrico della rete e quindi delle diverse cabine elettriche presenti all'interno del sito, ottenendo per ognuna di esse un profilo di assorbimento della potenza.

In questo lavoro ci si è soffermati sui consumi elettrici e il modello prevede due diversi scenari: il primo riproduce il profilo della settimana lavorativa, mentre il secondo riporta il profilo di consumo tipico del fine settimana, coincidente con il "base-load".

L'obiettivo, quindi, è stato quello di realizzare un confronto tra i dati ricavati dal modello e quelli ottenuti con il sistema di monitoraggio dell'azienda, stabilire le aree di intervento e attuare le relative azioni di miglioramento.

# Indice

|  |            |
|--|------------|
| <b>Elenco delle figure</b> .....                                 | <b>I</b>   |
| <b>Elenco delle tabelle</b> .....                                | <b>III</b> |
| <b>Elenco dei grafici</b> .....                                  | <b>V</b>   |
| <b>Introduzione</b> .....  | <b>1</b>   |
| <b>1 Importanza di un Sistema di Gestione dell'Energia</b> ..... | <b>3</b>   |
| 1.1 Specifiche del sistema .....                                 | 3          |
| 1.2 Benefici della ISO 50001 .....                               | 4          |
| 1.2.1 Casi di successo.....                                      | 5          |
| 1.3 Implementazione ISO 50001 .....                              | 6          |
| 1.3.1 Definizioni .....  | 7          |
| 1.3.2 Approccio al Sistema di Gestione dell'Energia .....        | 8          |
| 1.3.3 La pianificazione energetica .....                         | 9          |
| 1.4 Vantaggi nell'applicazione di un SGE .....                   | 12         |
| <b>2 Descrizione dello stabilimento</b> .....                    | <b>14</b>  |
| 2.1 Storia aziendale .....                                       | 14         |
| 2.2 Prodotti e servizi .....                                     | 15         |
| 2.3 Caratterizzazione del sito .....                             | 16         |
| 2.4 Localizzazione geografica .....                              | 17         |
| <b>3 Impianti presenti</b> .....                                 | <b>19</b>  |
| 3.1 Impianto elettrico .....                                     | 19         |
| 3.1.1 Utenze elettriche.....                                     | 24         |
| 3.1.2 Sistema di illuminazione .....                             | 25         |
| 3.1.3 Uffici e altri macchinari .....                            | 26         |
| 3.2 Impianto termico .....                                       | 27         |
| 3.2.1 Impianto di trattamento termico .....                      | 27         |
| 3.2.2 Impianto di riscaldamento.....                             | 28         |
| 3.2.3 Impianto di raffrescamento e condizionamento .....         | 33         |
| 3.3 Impianto aria compressa .....                                | 36         |
| 3.4 Macchinari.....  | 40         |
| <b>4 Analisi energetica</b> .....                                | <b>42</b>  |
| 4.1 Modello bottom-up.....                                       | 44         |
| 4.2 Gas naturale .....   | 45         |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.3      | Energia elettrica.....                                       | 50         |
| 4.4      | Energia primaria.....  | 54         |
| 4.5      | Emissioni di CO <sub>2</sub> .....                           | 56         |
| 4.6      | KPI e Benchmarking.....                                      | 57         |
| 4.6.1    | KPI Gas Naturale.....  | 58         |
| 4.6.2    | KPI Energia Elettrica.....                                   | 60         |
| 4.6.3    | KPI Energia Primaria.....                                    | 63         |
| 4.6.4    | KPI Emissioni CO <sub>2</sub> .....                          | 65         |
| <b>5</b> | <b>Modello energetico previsionale.....</b>                  | <b>67</b>  |
| 5.1      | Descrizione del software utilizzato.....                     | 68         |
| 5.2      | Ipotesi del modello dinamico.....                            | 69         |
| 5.3      | Struttura e parametri del modello.....                       | 73         |
| 5.4      | Scenari del modello.....                                     | 75         |
| 5.4.1    | Scenario giorni lavorativi.....                              | 77         |
| 5.4.2    | Scenario weekend.....  | 80         |
| 5.5      | Approfondimento degli scenari.....                           | 82         |
| <b>6</b> | <b>Monitoraggio dei risultati.....</b>                       | <b>84</b>  |
| 6.1      | Caratteristiche del sistema di monitoraggio.....             | 85         |
| 6.2      | Campagna di monitoraggio.....                                | 86         |
| 6.3      | Validazione del modello.....                                 | 88         |
| 6.4      | Possibili aree di intervento.....                            | 90         |
| <b>7</b> | <b>Azioni di miglioramento.....</b>                          | <b>91</b>  |
| 7.1      | Intervento sulla gestione dell'impianto d'illuminazione..... | 91         |
| 7.1.1    | Analisi dei risparmi.....                                    | 95         |
| 7.2      | Installazione di un impianto fotovoltaico.....               | 97         |
| 7.2.1    | Valutazione economica dell'investimento.....                 | 104        |
| <b>8</b> | <b>Conclusioni.....</b>                                      | <b>107</b> |
|          | <b>Appendice A: Lista dei macchinari.....</b>                | <b>110</b> |
|          | <b>Appendice B: Scheda tecnica modulo fotovoltaico.....</b>  | <b>116</b> |
|          | <b>Bibliografia.....</b>                                     | <b>118</b> |

# Elenco delle figure

- Figura 1: Schema ciclo PDCA [6]*
- Figura 2: Schema miglioramento continuo [6]*
- Figura 3: Pianificazione energetica [6]*
- Figura 4: Funzionamento del sistema [6]*
- Figura 5: Vettori del sistema [7]*
- Figura 6: Processo completo [7]*
- Figura 7: Fotografia del sito [9]*
- Figura 8: Planimetria del sito [9]*
- Figura 9: Posizionamento cabine [9]*
- Figura 10: Collegamento rete - Cabina 0*
- Figura 11: Collegamento Cabina 0 - Cabina 1*
- Figura 12: Schema a blocchi impianto elettrico [9]*
- Figura 13: Schema impianto elettrico*
- Figura 14: Collegamento trasformatori - quadri di BT*
- Figura 15: Generatori di vapore [9]*
- Figura 16: Bruciatore a gas*
- Figura 17: Layout impianto di riscaldamento [9]*
- Figura 18: Destratificatore d'aria*
- Figura 19: Unità esterna LG [9]*
- Figura 20: Locale compressori*
- Figura 21: Modello del compressore*
- Figura 22: Pannello di controllo X<sup>e</sup>*
- Figura 23: Sistema di gestione e automazione X8I*
- Figura 24: Officina*
- Figura 25: Turbina a gas*
- Figura 26: Modello Bottom-up*
- Figura 27: Diagramma di Sankey per il Gas Naturale [9]*
- Figura 28: Diagramma di Sankey per l'Energia Elettrica [9]*
- Figura 29: Schema rete elettrica [22]*
- Figura 30: Schema rete termica*
- Figura 31: Modello rete elettrica*
- Figura 32: Modello Cabina 0*
- Figura 33: Modello Cabina 1*
- Figura 34: Blocco Cabina 1*
- Figura 35: Modello Cabina 2*
- Figura 36: Modello Cabina 3*
- Figura 37: Definizione dei parametri su Matlab*
- Figura 38: Implementazione dei parametri su Simulink*

*Figura 39: Scenari del modello*

*Figura 40: Sottoscenari di consumo*

*Figura 41: Schermata Energy Sentinel WEB*

*Figura 42: Multimetro X-Meter [9]*

*Figura 43: Dispositivi LED interconnessi*

*Figura 44: Sistema di controllo dei LED*

*Figura 45: Monitoraggio LED*

*Figura 46: Campata con lampade a vapori di sodio*

*Figura 47: LED a potenza intermedia / potenza massima*

*Figura 48: Dispositivi a LED*

*Figura 49: Tetto del Fabbricato A*

*Figura 50: Piattaforma PVGIS*

*Figura 51: Dati di input*

*Figura 52: Dati di output*

*Figura 53: Dati sull'energia mensile producibile*

*Figura 54: Falde del tetto*

*Figura 55: Strutture di sostegno e guide*

*Figura 56: Modello Simulink con PV*

*Figura 57: Blocco PV - Dati tecnici del pannello*

# Elenco delle tabelle

- Tabella 1: Classificazione climatica*
- Tabella 2: Temperatura media mensile [12]*
- Tabella 3: Apparecchi illuminanti*
- Tabella 4: Consumi uffici*
- Tabella 5: Caratteristiche forno 'Bioteco'*
- Tabella 6: Caratteristiche generatori di vapore*
- Tabella 7: Caratteristiche bruciatori*
- Tabella 8: Distribuzione aerotermi area officina*
- Tabella 9: Distribuzione aerotermi area ricevimento-spedizioni*
- Tabella 10: Numero di destratificatori nelle diverse zone*
- Tabella 11: Caratteristiche destratificatori*
- Tabella 12: Caratteristiche unità esterne*
- Tabella 13: Caratteristiche unità interna*
- Tabella 14: Unità interne a pavimento*
- Tabella 15: Unità di raffreddamento mensa*
- Tabella 16: Caratteristiche compressori*
- Tabella 17: Caratteristiche tecniche X8I*
- Tabella 18: Conversioni utilizzate*
- Tabella 19: Consumi e costi Gas Naturale (2017)*
- Tabella 20: Consumi e costi Gas Naturale (2018)*
- Tabella 21: Consumi e costi Gas Naturale (2019)*
- Tabella 22: Consumi e costi Energia Elettrica (2017)*
- Tabella 23: Consumi e costi Energia Elettrica (2018)*
- Tabella 24: Consumi e costi Energia Elettrica (2019)*
- Tabella 25: Consumi Energia Primaria*
- Tabella 26: Ore di produzione*
- Tabella 27: Costi Energia Primaria*
- Tabella 28: Emissioni di CO<sub>2</sub>*
- Tabella 29: Consumo Gas Naturale su fatturato*
- Tabella 30: Consumi in funzione della  $T_{ext}$*
- Tabella 31: Consumo Energia Elettrica su fatturato*
- Tabella 32: Costo Energia Elettrica su fatturato*
- Tabella 33: Intensità energetica*
- Tabella 34: Consumo Energia Primaria per addetto*
- Tabella 35: KPI emissioni CO<sub>2</sub>*
- Tabella 36: Tonnellate di CO<sub>2</sub> per addetto*
- Tabella 37: Potenze nominali blindo officina*
- Tabella 38: Potenze dei blindo (fascia diurna)*

*Tabella 39: Potenze dei blindo (fascia notturna)*

*Tabella 40: Fattori di utilizzo dei blindo*

*Tabella 41: Caratteristiche X-Meter*

*Tabella 42: Caratteristiche Datalogger*

*Tabella 43: Caratteristiche tecniche LED*

*Tabella 44: Confronto consumi lampade-LED*

*Tabella 45: Confronto economico lampade-LED*

*Tabella 46: Caratteristiche dei moduli fotovoltaici*

*Tabella 47: Costi fotovoltaico*

*Tabella 48: Valutazione dell'investimento*

*Tabella 49: Risparmio CO2 con fotovoltaico*

## **Elenco dei grafici**

*Grafico 1: Consumi mensili Gas Naturale*

*Grafico 2: Consumi annui Gas Naturale*

*Grafico 3: Costi mensili Gas Naturale*

*Grafico 4: Costi annui Gas Naturale*

*Grafico 5: Consumi mensili Energia Elettrica*

*Grafico 6: Consumi annui Energia Elettrica*

*Grafico 7: Costi mensili Energia Elettrica*

*Grafico 8: Costi annui Energia Elettrica*

*Grafico 9: Consumi totali annui Energia Primaria*

*Grafico 10: Costi totali annui Energia Primaria*

*Grafico 11: Quantità di CO<sub>2</sub> prodotta*

*Grafico 12: KPI consumi Gas Naturale su fatturato*

*Grafico 13: KPI consumo gas in funzione della Text*

*Grafico 14: KPI consumi Energia Elettrica*

*Grafico 15: KPI costi Energia Elettrica*

*Grafico 16: KPI Intensità Energetica*

*Grafico 17: KPI consumo Energia Primaria per addetto*

*Grafico 18: KPI emissioni CO<sub>2</sub>*

*Grafico 19: Tonnellate di CO<sub>2</sub> per addetto*

*Grafico 20: Consumi settimanali diurni*

*Grafico 21: Consumi settimanali notturni*

*Grafico 22: Consumi weekend*

*Grafico 23: Profilo di consumo settimanale*

*Grafico 24: Andamento settimanale fattori di utilizzo*

*Grafico 25: Fattori di utilizzo nel weekend*

*Grafico 26: Confronto fascia diurna*

*Grafico 27: Confronto fascia notturna*

*Grafico 28: Confronto weekend*

*Grafico 29: Valutazione dell'investimento*



# Introduzione

In un periodo storico come questo, in cui si percepisce la necessità di una maggiore attenzione nei confronti delle tematiche ambientali, la sostenibilità per un'azienda non è più una scelta, ma un dovere. I vantaggi per le società che intraprendono un percorso sostenibile sono molteplici e non sono legati esclusivamente alla salvaguardia del pianeta.

Il concetto di sostenibilità infatti ha fatto registrare una profonda evoluzione che, partendo da una visione centrata principalmente sugli aspetti ecologici, ha raggiunto un significato più globale, che tiene conto, oltre che della sfera ambientale, di quella economica e di quella sociale. Rappresenta inoltre un concetto dinamico, in quanto le relazioni tra il sistema ecologico e il sistema antropico possono essere influenzate dallo scenario tecnologico, che, cambiando, potrebbe allentare alcuni vincoli relativi, per esempio, all'uso delle fonti energetiche. [1]

Negli ultimi 40 anni il consumo mondiale di energia è raddoppiato ed è evidente che, in futuro, assumeranno un'importanza sempre maggiore le problematiche relative alla disponibilità delle risorse energetiche di origine fossile (petrolio e gas) e all'aumento delle emissioni dovuto al loro utilizzo.

Per far fronte a queste evenienze, oltre alla ricerca di nuove fonti di energia alternative, sarà necessario essere sempre più efficienti nell'uso dell'energia. Ciò vuol dire che, per soddisfare i nostri bisogni, dovremo realizzare e utilizzare prodotti e servizi impiegando meno energia possibile. [2]

Un abbattimento degli sprechi permette di conseguire consistenti risparmi immediatamente visibili sulle bollette, e porta dei vantaggi ambientali poiché un minor utilizzo di combustibili fossili riduce il livello delle emissioni di gas ad effetto serra, che contribuiscono al surriscaldamento globale.

Ma le tecnologie efficienti da sole non bastano a sfruttare tutto il potenziale di risparmio energetico disponibile. Altrettanto essenziale è il contributo che deve provenire dai fattori "non tecnologici", come la gestione ottimizzata delle imprese e il comportamento consapevole delle persone verso un uso più razionale dell'energia.

Per questo motivo in questa trattazione si introdurrà la norma UNI CEI EN ISO 50001, che specifica i requisiti per creare, avviare, mantenere e migliorare un sistema di gestione dell'energia. L'obiettivo di tale sistema è di consentire che un'organizzazione persegua, con

un approccio sistematico, il miglioramento continuo della propria prestazione energetica comprendendo in questa l'efficienza energetica nonché il consumo e l'uso dell'energia. [3]

Il percorso di tesi segue dunque il percorso tracciato dalle linee guida della norma adottando l'approccio PDCA (Plan-Do-Check-Act), che permetterà di: effettuare un'analisi energetica preliminare del sito, passare attraverso l'implementazione di un modello e la verifica dello stesso tramite un sistema di monitoraggio, per poi suggerire alcuni interventi di miglioramento da eseguire.

L'oggetto dell'analisi è l'azienda EthosEnergy Italia Spa, con sede a Torino, che si occupa della produzione e della manutenzione di turbine a gas per uso industriale.

Come punto di partenza si farà una descrizione dello stabilimento e degli impianti presenti. Proseguendo si analizzeranno i consumi delle principali fonti energetiche, valutandone anche i costi passati e presenti, e si rileveranno le emissioni di anidride carbonica attraverso l'utilizzo di una piattaforma online. Per concludere l'analisi energetica, saranno individuati alcuni indici di prestazione, sia per i consumi che per le emissioni, con lo scopo di caratterizzare le performance dei sistemi e dei processi aziendali.

Dopo aver definito un quadro energetico di riferimento dell'azienda, sarà elaborato un modello Simulink come metodo di previsione delle prestazioni energetiche. Il modello idealizza il comportamento elettrico del sito, e in particolare di ognuna delle 4 cabine elettriche presenti. La modellazione si suddivide in due parti: una analizza i consumi durante i giorni lavorativi della settimana, e l'altra quelli del weekend, quando il profilo di occupazione è al minimo.

La validazione di questo modello, con l'aiuto di un server web aziendale per il monitoraggio, permetterà di individuare le aree nelle quali intervenire con azioni di miglioramento.

Le soluzioni proposte sono due, e si collegano ai temi dell'efficienza energetica e della ricerca di fonti energetiche "pulite": la prima è un intervento da realizzare sull'impianto di illuminazione, mediante l'acquisto di dispositivi LED da montare in officina, mentre la seconda consiste nell'installazione di un impianto fotovoltaico. Quest'ultimo avrà una vita di circa vent'anni e si prevede una valutazione economica dell'investimento che stabilirà se si tratta di una scelta conveniente o meno.

# 1 Importanza di un Sistema di Gestione dell'Energia

Il consumo mondiale di energia continua ad aumentare: è più che raddoppiato negli ultimi 40 anni e si prevede un ulteriore aumento del 30% entro il 2040.

L'energia è uno dei settori maggiormente responsabili del cambiamento climatico e porta con sé quasi il 60% delle emissioni mondiali di gas serra.

Agire per gestire meglio il nostro consumo energetico non solo aiuta il pianeta, ma fa risparmiare denaro per le organizzazioni e per la società nel suo complesso.

Uno studio commissionato dalla Fondazione ClimateWorks, un'organizzazione non governativa, ha dimostrato che se si facesse di più per migliorare l'efficienza energetica e per ridurre la crescita delle emissioni di carbonio nel solo settore industriale ed edile, si potrebbero ricavare oltre 3,2 trilioni di dollari di risparmi connessi alla sanità pubblica.

La norma ISO 50001:2018, "Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso", è uno strumento strategico che aiuta le organizzazioni a mettere in atto un Sistema di Gestione dell'Energia e ad utilizzare la loro energia in modo più efficiente ed efficace. [4]

## 1.1 Specifiche del sistema

Un Sistema di Gestione dell'Energia richiede di sviluppare e implementare una politica energetica, fissando dei traguardi negli usi energetici e progettando piani d'azione per raggiungerli, misurando al tempo stesso i progressi effettuati. Ciò potrebbe includere l'utilizzo di nuove tecnologie efficienti dal punto di vista energetico, che producano una riduzione degli sprechi di energia o un miglioramento dei processi attuali con l'obiettivo di ridurre i costi energetici.

L'ISO 50001 dà alle organizzazioni un quadro di riferimento per lo sviluppo di un efficace Sistema di Gestione dell'Energia e, come per altri standard ISO, segue il processo "Plan-Do-Check-Act" per il miglioramento continuo.

La norma fornisce una serie di requisiti che permette alle organizzazioni di:

- Sviluppare una politica per un uso più efficiente dell'energia;
- Fissare traguardi e obiettivi per conseguire tale politica;
- Raccogliere dati per conoscere meglio gli usi energetici e quindi prendere decisioni mirate;
- Misurare i risultati ottenuti;
- Valutare l'efficacia della politica;
- Migliorare costantemente la gestione energetica. [4]

## **1.2 Benefici della ISO 50001**

La ISO 50001 è stata progettata per aiutare le organizzazioni a migliorare il loro rendimento energetico attraverso un utilizzo più efficace delle risorse ad alta intensità energetica.

Una migliore prestazione energetica può fornire immediati benefici per un'organizzazione massimizzando l'uso delle sue fonti energetiche e dei beni connessi all'energia, riducendo sia i costi che i consumi.

Tale normativa è utilizzata da grandi e piccole società in tutto il mondo e i benefici sono di vario tipo. Per alcuni, consistono nella riduzione dell'impatto ambientale e un relativo incremento della reputazione; per altri, invece, l'obiettivo è quello di abbassare i costi e migliorare la competitività. [4]

### 1.2.1 Casi di successo

Di seguito un paio di storie di successo di organizzazioni che utilizzano la norma ISO 50001:

#### *Hilton*

Una delle catene alberghiere più grandi del mondo, Hilton è stata la prima società alberghiera ad ottenere la certificazione ISO 50001 dopo un aggiornamento completo della piattaforma di misura delle performance aziendali. I guadagni sono stati significativi e hanno prodotto una riduzione dell'intensità energetica pari al 20.6% e di emissioni carbonio del 30% rispetto ai valori del 2008.

#### *An Garda Síochána*

An Garda Síochána (AGS) è la forza di polizia nazionale dell'Irlanda con oltre 16000 dipendenti. Quando Il governo irlandese ha annunciato il suo ambizioso obiettivo di migliorare l'efficienza energetica del 33% per il settore pubblico entro il 2020, l'AGS ha implementato un solido Sistema di Gestione dell'Energia ricevendo la certificazione ISO 50001.

Dall'avvio del progetto nel 2009, AGS ha risparmiato circa 11 milioni di dollari attraverso la riduzione del consumo energetico, e adesso l'efficienza energetica è considerata in tutte le diverse operazioni delle forze di polizia. [4]

## 1.3 Implementazione ISO 50001

L'implementazione della ISO 50001 è intesa alla riduzione delle emissioni dei gas serra, degli altri impatti ambientali correlati e dei costi energetici attraverso una sistematica gestione dell'energia.

### *Punti chiave della normativa*

- La norma specifica i requisiti per stabilire, attuare, mantenere e migliorare un sistema di gestione per l'energia, sotto forma di un uso più efficiente e sostenibile dell'energia;
- La norma permette all'organizzazione un approccio sistematico al miglioramento continuo della sua efficienza energetica;
- Il sistema di gestione è applicabile a organizzazioni di qualsiasi dimensione e tipologia, che vogliano gestire e migliorare l'efficienza energetica;
- Non definisce specifici livelli di performance energetica da raggiungere, l'impegno dell'organizzazione definisce i risultati dell'applicazione del sistema di gestione per l'energia;
- Evidenzia l'impegno dell'organizzazione nei confronti dell'efficienza energetica attraverso una certificazione di parte terza;
- La norma è strutturata in maniera analoga alle ISO 9001 e ISO 14001, quindi per questa ragione può essere facilmente integrata in sistemi già esistenti. [5]

### 1.3.1 Definizioni

#### *Terminologia della norma*

- **Sistema di Gestione dell'Energia (SGE):** insieme di elementi correlati o interagenti di una organizzazione che stabiliscono una politica energetica per il raggiungimento degli obiettivi fissati;
- **Energia:** elettricità, combustibile, vapore, calore, aria compressa e altre fonti simili;
- **Utilizzo energetico:** modo o tipo di applicazione dell'energia;
- **Baseline energetica:** riferimento quantificabile che determina la base di comparazione delle performance energetiche;
- **Efficienza energetica:** rapporto tra l'output dell'attività di una organizzazione, beni e servizi e l'input energetico (da riferirsi alla determinazione ingegneristica utilizzata dall'organizzazione);
- **Performance energetica:** risultato energetico misurabile;
- **Indicatore di performance energetica (IPE):** indice quantitativo di misura delle performance energetiche definito dall'organizzazione.

### 1.3.2 Approccio al Sistema di Gestione dell'Energia

La norma è basata sul ciclo di Deming PDCA (Plan → Do → Check → Act) per il miglioramento continuo.

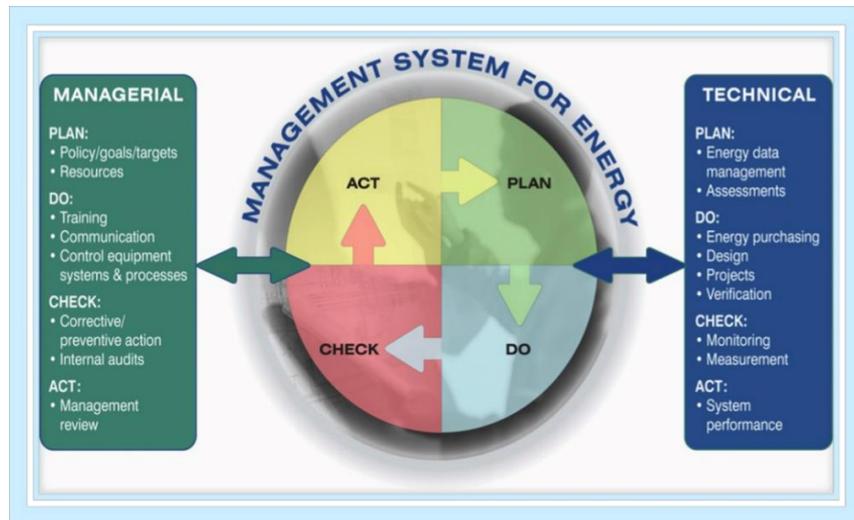


Figura 1: Schema ciclo PDCA [6]

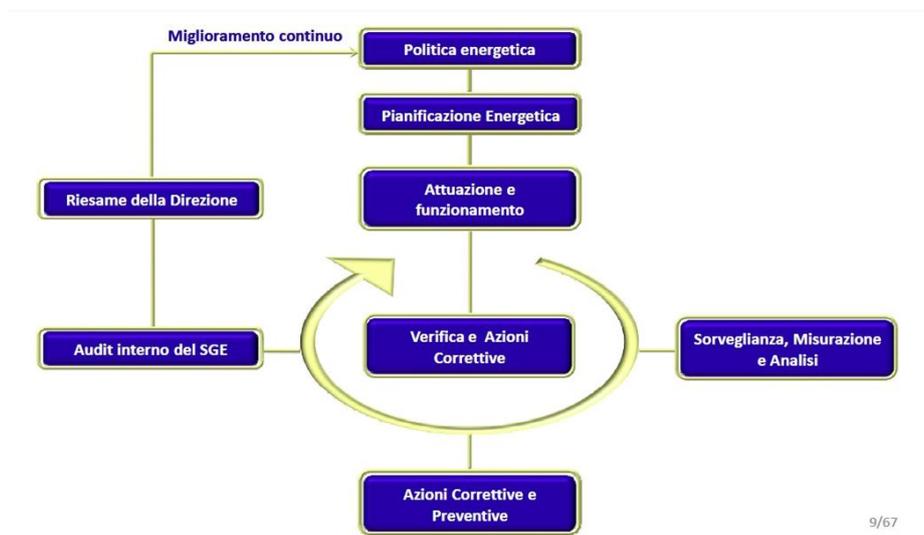


Figura 2: Schema miglioramento continuo [6]

- ❖ Il sistema di gestione si basa sulla definizione di una politica energetica dove si identificano i punti saldi dell'applicazione del SGE e gli obiettivi che l'organizzazione intende raggiungere.
- ❖ Il miglioramento continuo nasce dal riesame dei risultati ottenuti e dall'assegnazione di nuovi obiettivi al raggiungimento di quelli fissati inizialmente.

### 1.3.3 La pianificazione energetica

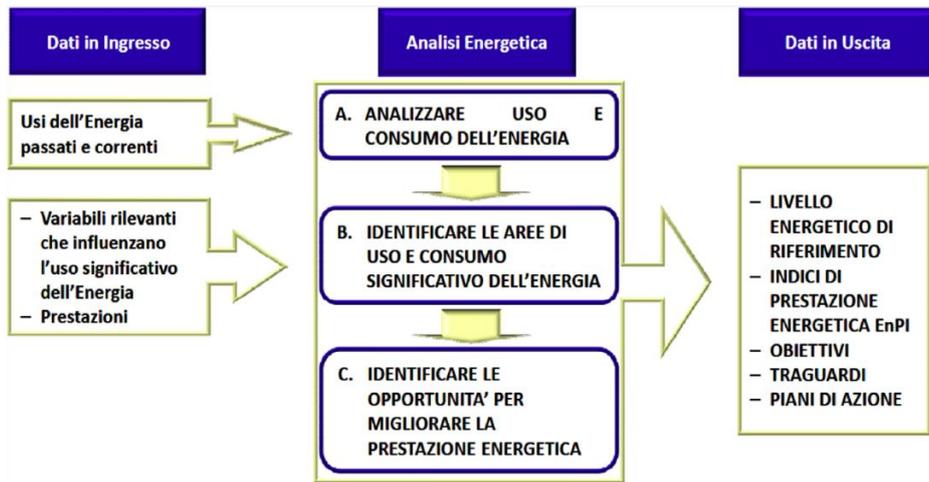


Figura 3: Pianificazione energetica [6]

Più in generale, a livello di sistema:

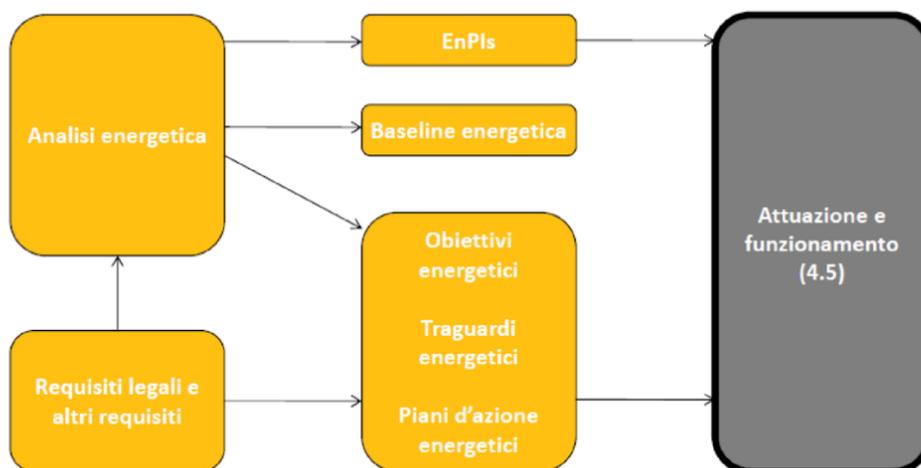


Figura 4: Funzionamento del sistema [6]

## *Le analisi sui vettori*



Figura 5: Vettori del sistema [7]

Nel quadro di un'analisi energetica le possibili azioni sono:

- Analisi e bilancio energetico dei vettori per sistema e sottosistema (gruppi funzionali/componenti);
- Misura/analisi storico trends e identificazione profilo di consumo ottimale delle principali utenze;
- Verifiche bilanci termici sistemi e sottosistemi (gruppi funzionali/componenti);
- Identificazione/verifica delle perdite;
- Analisi e verifica fattibilità installazione soluzioni tecnologiche su processi produttivi per risparmio energetico e fonti rinnovabili;
- Razionalizzazione e ottimizzazione processi e sistemi energetici;
- Verifica sistemi e metodologie di gestione e supervisione consumi della parte energetica;
- Analisi della disponibilità, affidabilità e manutenibilità dei gruppi funzionali/componenti (fattore di utilizzo – fattore di guasto – stato manutentivo);
- Analisi contratti fornitura energia;
- Analisi utilizzo detrazioni fiscali;
- Progetti per richiesta certificati energetici.

## *Il processo completo*

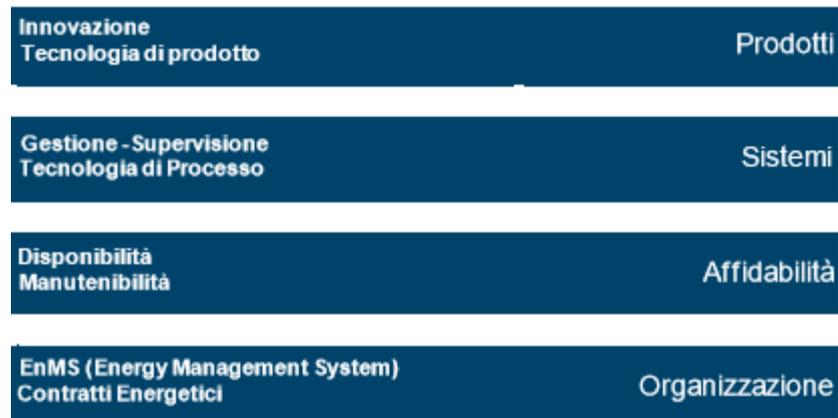


Figura 6: Processo completo [7]

- Rilievi di campo, raccolta dati e/o misurazioni;
- Identificazione KPI's / benchmark di comparazione e misura;
- Identificazione GAP analysis;
- Identificazione azioni di miglioramento e scelte strategiche;
- Progettazione soluzioni di intervento;
- Area Prodotti / Sistemi;
- Area Affidabilità;
- Area Organizzazione;
- Proposta tecnica;
- Identificazione budget investimento;
- Identificazione ritorno di investimento;
- Identificazione KPI di controllo / misura;
- Proposta economica;
- Preparazione Gantt di progetto;
- Realizzazione intervento di miglioramento;
- Controllo finale del ritorno investimento.

## 1.4 Vantaggi nell'applicazione di un SGE

I principali vantaggi per un'azienda che implementa un SGE sono:

- Approccio sistemico nella definizione di obiettivi energetici e nell'individuazione degli strumenti adatti al loro raggiungimento;
- Consapevolezza dei consumi energetici e coinvolgimento del personale per il miglioramento delle prestazioni energetiche;
- Consapevolezza della conformità alla normativa tramite una valutazione iniziale rispetto a tutti i requisiti cogenti in tema di energia;
- Riduzione dei costi legati ai consumi energetici ed identificazione degli sprechi energetici;
- Identificazione di interventi "gestionali" a costo "zero";
- Dashboard di controllo delle prestazioni energetiche;
- Presenza di agevolazioni fiscali e bandi per il finanziamento di interventi di efficienza Energetica. [8]

I professionisti che l'hanno già implementata individuano complessivamente cinque punti chiave:

### *1. Riduzione dei costi*

- Dovuti alla riduzione del consumo energetico
- Dovuti alla riduzione dei costi di produzione

### *2. Diminuzione del consumo dell'energia*

Questa diminuzione ha anche effetto sulla riduzione nelle emissioni di CO2 e di altre sostanze nocive che causano il cambio climatico.

### *3. Rispetto della legislazione*

Diversi paesi hanno creato leggi specifiche per l'efficienza energetica secondo le quali alcune aziende sono tenute ad implementare l'ISO 50001. In altri casi la sua implementazione permette di avere benefici quali, ad esempio, un maggior punteggio al momento di richiedere le licenze o di partecipare a concorsi pubblici.

### *4. Distinzione dalla concorrenza*

### *5. Miglioramento dell'immagine aziendale*

Miglioramento agli occhi dei clienti, dell'amministrazione pubblica, dei fornitori e di altre parti interessate. [8]

## 2 Descrizione dello stabilimento

### 2.1 Storia aziendale

EthosEnergy è nata il 6 maggio 2014 ed è un fornitore indipendente di servizi per apparecchiature rotanti nei mercati dell'industria, della produzione di energia e dell'oil & gas.

L'8 ottobre 2013 John Wood Group PLC e Siemens AG hanno stretto un accordo per costituire una joint venture, formata dalle attività di Manutenzione e Power Solutions del Gruppo Wood GTS e dall'unità TurboCare di Siemens.

#### *Gruppo Wood GTS*

Il Gruppo Wood GTS è stato fondato 30 anni fa ed è cresciuto fino a diventare un fornitore indipendente leader nei servizi per attrezzature rotanti e di soluzioni per i clienti nei mercati dell'energia e dell'oil & gas.

In tutto il mondo questi servizi includono: soluzioni ingegneristiche per centrali elettriche, approvvigionamento e costruzione; operazioni di facility e manutenzione; riparazione e revisione, ottimizzazione e ammodernamento di turbine a gas, turbine a vapore, pompe, compressori e altre apparecchiature rotanti ad alta velocità.

#### *TurboCare*

'Turbo Services Network' è stata creata nel 1998 come fornitore di servizi indipendenti e si è unita nel 2001 a TurboCare Inc. L'attività si è sviluppata da qui attraverso varie acquisizioni prima che tutte le imprese fossero rinominate sotto la sigla 'TurboCare' e costituite come Business Unit all'interno di Siemens. L'azienda ha avuto una lunga storia come fornitore di soluzioni di servizio complete per attrezzature rotanti (turbine a gas e a vapore, generatori e compressori) prodotte da tutti i principali OEM. [9]

## *EthosEnergy*

EthosEnergy è nata per divenire fornitore differenziato e integrato di servizi di attrezzature rotanti per i settori industriale, della produzione di energia e oil&gas. Questa realtà beneficia della capacità di fornire servizi lungo l'intero ciclo di vita dei macchinari rotanti. Ha un'esperienza importante in operazioni di asset, manutenzione, gestione del rischio, ottimizzazione del ciclo di vita, e nei servizi per la costruzione di centrali elettriche, oltre a una presenza significativa nei processi d'industria e dell'oil&gas. Ciò si accompagna all'esperienza nel settore della produzione di energia elettrica, offrendo servizi di progettazione, riparazione e produzione di turbine a gas, turbine a vapore e generatori. EthosEnergy ha una maggiore capacità, portata di mercato e un'impronta globale estesa. Dopo aver ricevuto l'approvazione dell'accordo, EthosEnergy è stata costituita il 6 maggio 2014. [10]

## **2.2 Prodotti e servizi**

Come è stato già evidenziato precedentemente EthosEnergy è leader di settore e offre soluzioni per accompagnare l'intero ciclo di vita di macchinari energetici come: turbine a gas, turbine a vapore, generatori e compressori.

L'azienda offre prodotti e servizi completi, orientati alle soluzioni che generano maggiori benefici e ha una profonda esperienza nella gestione degli asset e nei contratti di manutenzione a lungo termine, offrendo servizi di riparazione e ricambi di fabbrica in tutti i settori industriali.

I servizi chiave includono:

- Operazioni di facility e manutenzione;
- Progettazione, produzione e applicazione di componenti ingegneristici, aggiornamenti e re-rates;
- Riparazione, revisione e ottimizzazione di turbine a gas e a vapore, generatori, pompe, compressori e trasformatori;
- Fornitura di turbine a gas industriali, aeronautiche e di grande potenza e di apparecchiature revisionate e affidabili su canali veloci.

## 2.3 Caratterizzazione del sito

Il sito considerato per l'analisi di efficienza energetica è la sede di EthosEnergy Italia SpA presente a Torino in Corso Romania 661, in un'area ad uso industriale.

L'impianto industriale è suddiviso in diverse aree e zone di produzione, ed è composto da:

- Area officina e magazzino (montaggio e lavorazioni meccaniche);
- Area Coating & Repair;
- Area uffici su tre livelli;
- Area ex ricevimento merci;
- Area centrale termica;
- Cabina di decompressione;
- Gruppo elettrogeno;
- Locale compressori;
- N.3 cabine elettriche MT/BT;
- Locale mensa aziendale;
- Locale di sorveglianza;
- Area ecologica;
- Area deposito oli ed oli esausti;

Queste aree sono visibili nella Figura 7, che mostra una foto dall'alto dello stabilimento.

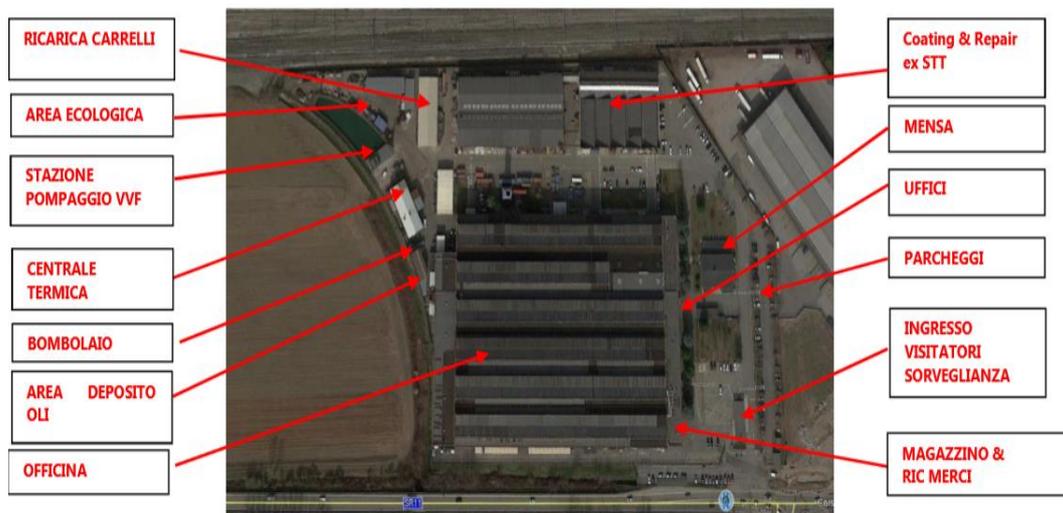


Figura 7: Fotografia del sito [9]

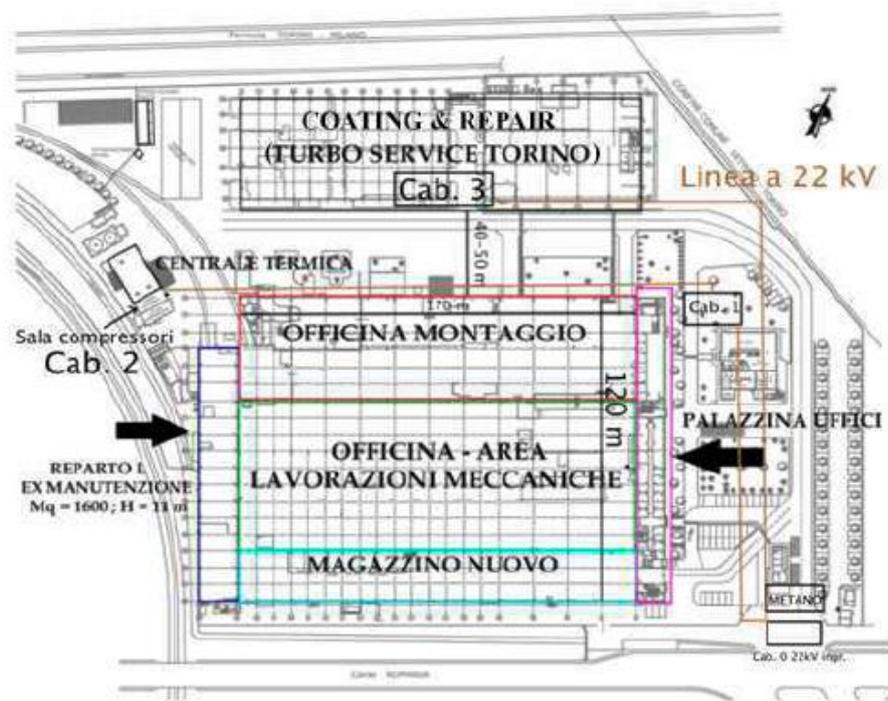


Figura 8: Planimetria del sito [9]

## 2.4 Localizzazione geografica

L'edificio si trova in una zona industriale e, in base alla posizione geografica, fa riferimento alla seguente classificazione per il periodo di riscaldamento invernale che va dal 15 ottobre al 14 aprile:

Stazione Torino Alenia\Arpa Piemonte [11]

|                  |       |
|------------------|-------|
| Fascia climatica | E     |
| Altezza dal mare | 234 m |
| Gradi Giorno     | 2196  |

Tabella 1: Classificazione climatica

Un altro tipo di classificazione riguarda la temperatura esterna media mensile, riportata in Tabella 2.

| <b>Temperatura media mensile</b> |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| <b>Mese</b>                      | <b>Temperatura [°C]</b> |
| Gennaio                          | 5.3                     |
| Febbraio                         | 2.9                     |
| Marzo                            | 6.9                     |
| Aprile                           | 14.9                    |
| Maggio                           | 17.5                    |
| Giugno                           | 22.3                    |
| Luglio                           | 24.5                    |
| Agosto                           | 24.3                    |
| Settembre                        | 20.3                    |
| Ottobre                          | 14.9                    |
| Novembre                         | 9.2                     |
| Dicembre                         | 3.2                     |

Tabella 2: Temperatura media mensile [12]

# 3 Impianti presenti

Nella fase iniziale di questo studio l'attenzione si focalizzerà sulla descrizione degli impianti presenti in azienda, descrivendo nel dettaglio le varie parti che li compongono.

Nella fase successiva di analisi energetica saranno evidenziate invece le maggiori criticità del sistema.

## 3.1 Impianto elettrico

L'impianto elettrico presenta 4 cabine di trasformazione principali (denominate Cabina 0, 1, 2, 3) che si collegano alla rete di distribuzione per la trasformazione da media (22kV) a bassa (400V) tensione.

L'ente di distribuzione dell'energia elettrica è IREN.

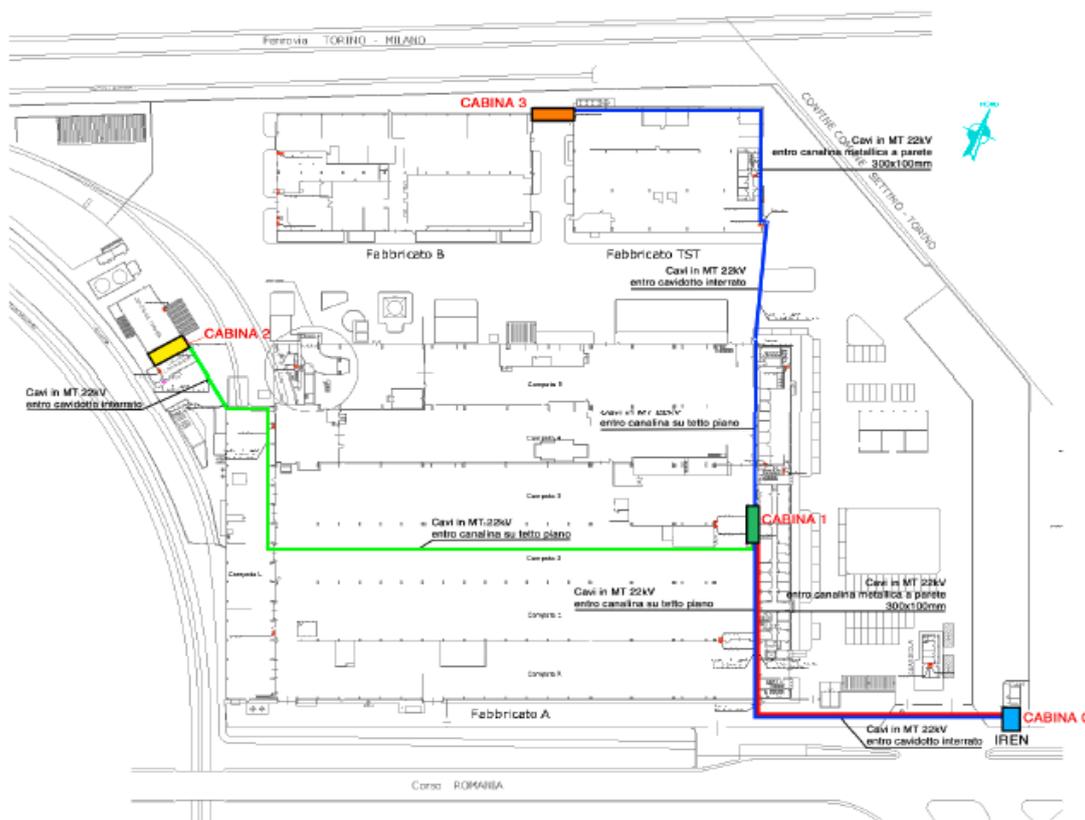


Figura 9: Posizionamento cabine [9]

Al punto di fornitura è collegata la Cabina 0, posizionata accanto alla guardiola, la quale alimenta le cabine 1, 2 e 3 a una tensione di 22 kV.

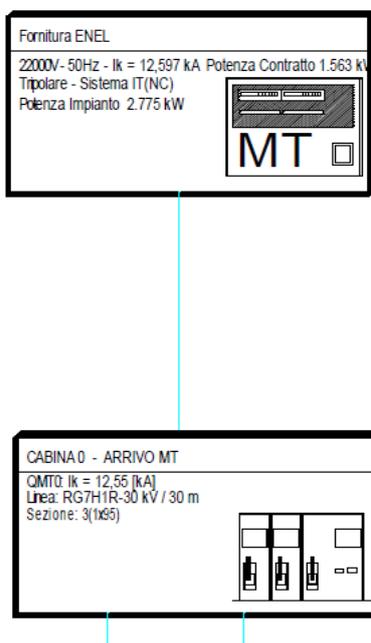


Figura 10: Collegamento rete - Cabina 0

La cabina 0 e la Cabina 1 sono connesse tra loro attraverso cavi in Media Tensione a 22kV dentro una condotta metallica a parete.

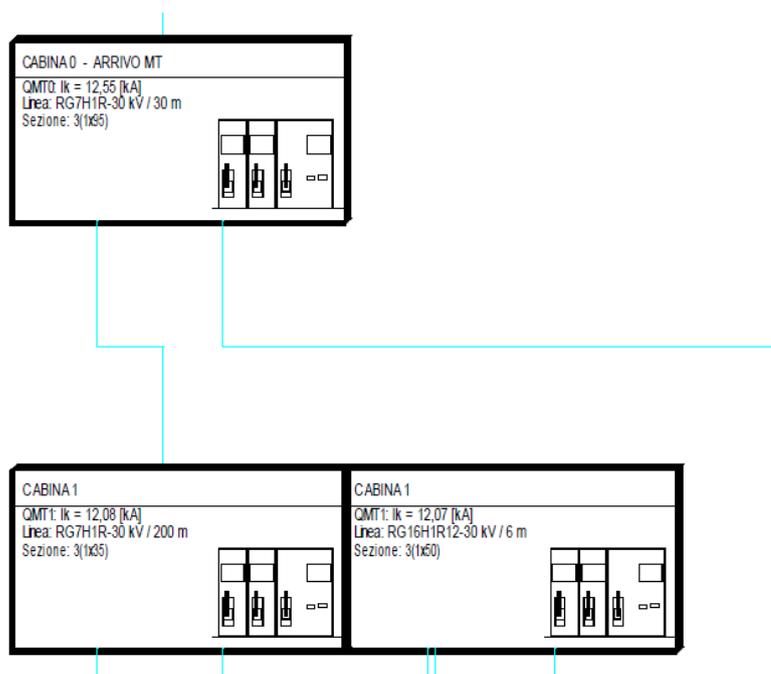


Figura 11: Collegamento Cabina 0 - Cabina 1

La Cabina 3 è collegata alla Cabina 0 tramite cavi sempre a 22kV all'interno di una tubatura che passa sul tetto del Fabbricato A, per il tratto iniziale, e poi dentro un tubo interrato e una canalina metallica a parete, nel tratto successivo.

La Cabina 2 è collocata tra la centrale termica e la zona compressori ed è collegata alla Cabina 1 sempre tramite cavi in Media Tensione.

Per avere una visione generale, i collegamenti tra le varie cabine sono riportati nel seguente schema a blocchi, in Fig. 12:

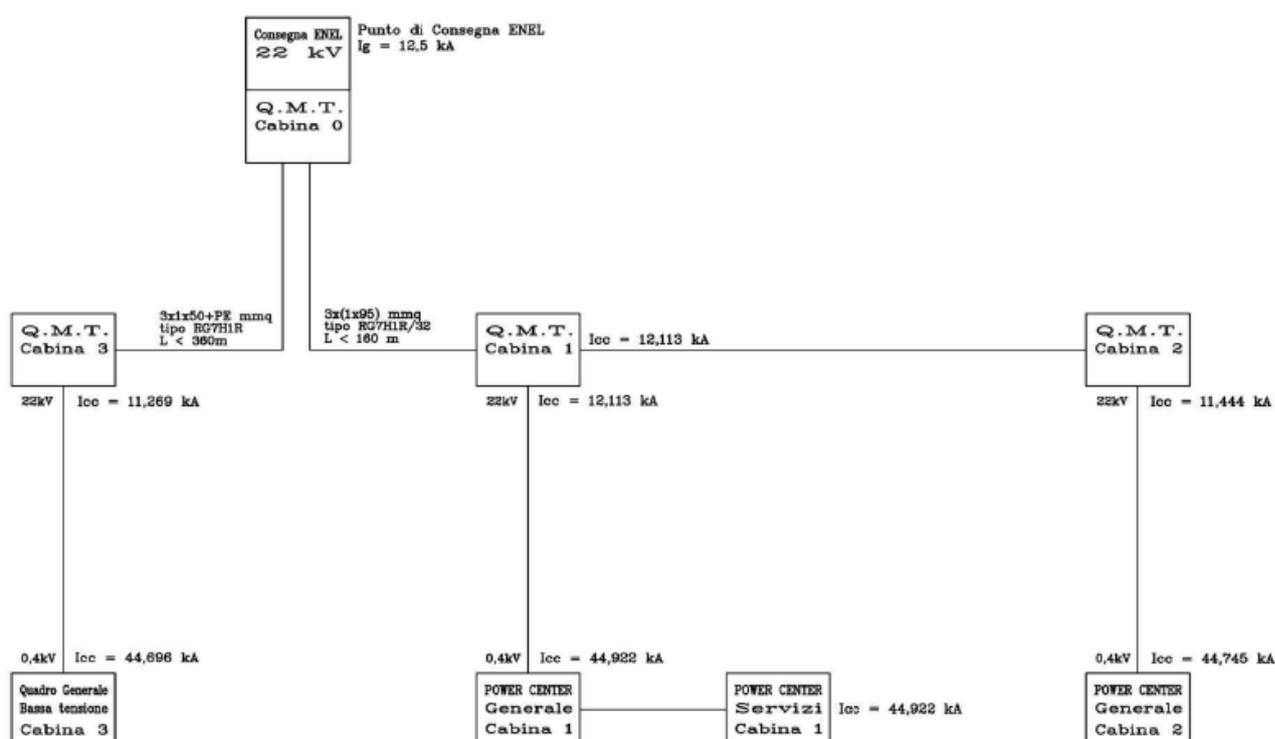


Figura 12: Schema a blocchi impianto elettrico [9]

La Cabina 0 al suo interno ha due trasformatori TA e TV.

La Cabina 1 invece ha 3 trasformatori, 2 dei quali con i seguenti dati di targa:

- Trasformatore in resina;
- Tensione: Primaria=22kV / Secondaria=400V;
- Vcc=6%
- Potenza apparente= 1000kVA.

Il terzo trasformatore, invece ha le seguenti caratteristiche:

- Trasformatore in resina;
- Tensione: Primaria=22kV / Secondaria=400V;
- Vcc=6%;
- Potenza apparente=1250kVA.

In Cabina 1 il primo dei 2 trasformatori con le stesse caratteristiche funziona in continuo, mentre il secondo ha sola funzione di back-up.

Nella Cabina 2 i trasformatori sono due (uno sempre attivo e l'altro ridondante). I due trasformatori hanno le stesse caratteristiche viste per i primi due trasformatori in Cabina 1.

La Cabina 3 è collegata direttamente alla Cabina 0, è costituita da tre trasformatori ed è situata tra il Fabbricato B e l'area Coating & Repair.

Tutti i trasformatori hanno collegamento Triangolo-Stella gruppo Dy11, che è uno dei collegamenti più usati perché offre i vantaggi legati alla presenza del neutro secondario e nessuno degli svantaggi del collegamento stella.

L'impianto appena descritto fornisce energia elettrica sia all'officina (macchine operatrici e illuminazione) sia agli uffici (per l'illuminazione e per la climatizzazione estiva ed invernale). L'intero impianto inoltre è stato rifasato alcuni anni fa, poiché il fattore di potenza ( $\cos \varphi$ ) aveva valori decisamente bassi e questo portava alti costi in bolletta.

Il locale dell'officina è caratterizzato da una superficie di 19955m<sup>2</sup> e da una potenza nominale installata di circa 3950 kW. Lo schema unifilare dell'impianto elettrico dell'officina è riportato nella Figura 13.

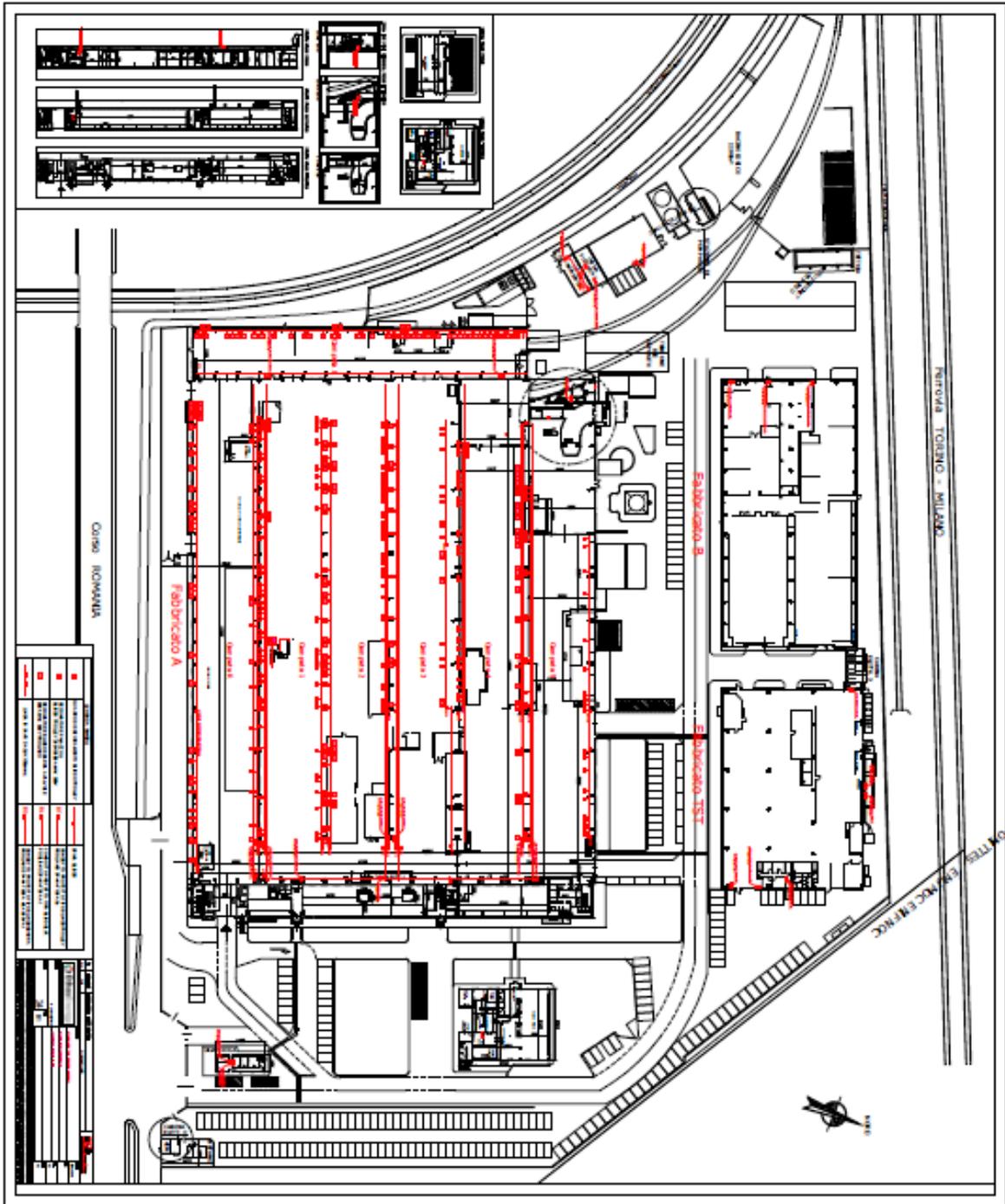


Figura 13: Schema impianto elettrico

### 3.1.1 Utenze elettriche

Andando ad esaminare le utenze elettriche, i due trasformatori in parallelo della Cabina 1 sono collegati a due quadri di bassa tensione visibili in Figura 14 e chiamati: “Pc generale 1” e “Pc servizi”.

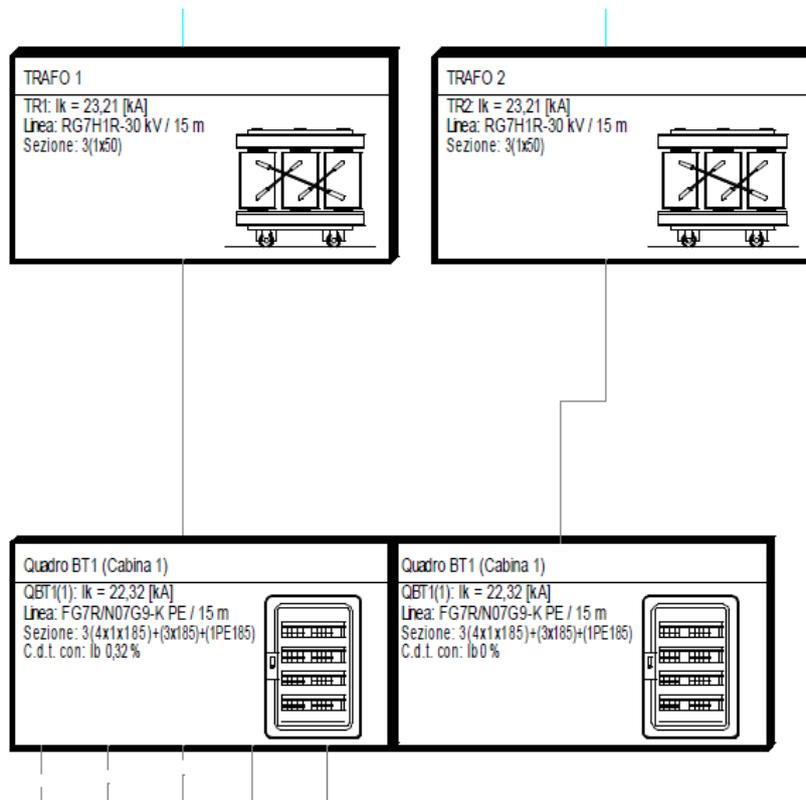


Figura 14: Collegamento trasformatori - quadri di BT

Il primo dei due quadri serve le 5 campate dell'officina, invece il secondo va ad alimentare l'impianto d'illuminazione e di condizionamento degli uffici, del magazzino e della zona mensa.

Un altro quadro, chiamato “pc generale” e alimentato dalla Cabina 2, serve la stanza dei compressori, la zona L e la centrale termica.

A completare la parte relativa alle utenze sono: un quadro dedicato alle utenze privilegiate, che fa funzionare il gruppo elettrogeno, e altri tre quadri che fanno riferimento alle luci della centrale termica, alla guardiola e alle luci di emergenza notturne.

Concludendo con la Cabina 3, il quadro di riferimento della BT alimenta la linea forno, gli estrattori, gli UPS, la luce locale, la cabina, il blindo e le prese cosiddette “di servizio”.

### 3.1.2 Sistema di illuminazione

Il sistema di illuminazione prevede due modalità di funzionamento: illuminazione di funzionamento normale e illuminazione di emergenza.

All'interno dello stabilimento ci sono molti tipi di lampade e altri elementi installati e non è semplice capire quando uno di questi strumenti sarà acceso o spento e per quale durata. Per questo motivo si è fatta una stima del consumo considerando unicamente gli elementi che vengono sfruttati maggiormente, come le lampade a vapori di sodio e i tubi fluorescenti.

I corpi illuminanti sono riassunti nella Tabella 3, che mostra come è distribuita la potenza totale installata nei diversi locali:

| <b>Potenza apparecchi illuminanti</b> |                          |              |                              |                                     |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Zona</b>                           | <b>Tipologia</b>         | <b>Unità</b> | <b>Potenza unità<br/>[W]</b> | <b>Potenza complessiva<br/>[kW]</b> |
| Officina                              | Lampade vapori sodio - 1 | 28           | 250                          | 7                                   |
|                                       | Lampade vapori sodio - 2 | 198          | 400                          | 79.2                                |
| Magazzino                             | Lampade vapori sodio - 1 | 30           | 250                          | 7.5                                 |
|                                       | Tubi fluorescenti        | 40           | 60                           | 2.4                                 |
| Coating & Repair                      | Lampade vapori sodio - 1 | 45           | 250                          | 11.25                               |
|                                       |                          |              | <b>TOT</b>                   | <b>107.35</b>                       |

Tabella 3: Apparecchi illuminanti

Da questa tabella si può quindi ottenere la potenza totale installata degli apparecchi illuminanti, pari a:

$$P_{ill} = 107.35 \text{ kW}$$

Analizzando invece l'illuminazione di emergenza, essa è presente sia nel Fabbricato A (Area Officina) che nel Fabbricato B.

Questo impianto è costituito da apparecchi alimentati da gruppi soccorritori. Per assicurare i valori medi previsti di illuminamento al suolo, i dispositivi sono stati montati ad un'altezza variabile a seconda del locale considerato e comunque considerando valori sempre superiori ai 2 m.

Il sistema di illuminazione nasce in Cabina 2 e dal gruppo elettrogeno. La doppia alimentazione va a garantire la continuità della fonte energetica, e, in più, i gruppi UPS fronteggiano la mancanza dell'alimentazione finché il gruppo elettrogeno non va' a regime. Seguendo la normativa, l'illuminazione di emergenza interviene in caso di mancanza di alimentazione da parte dell'illuminazione "normale".

### 3.1.3 Uffici e altri macchinari

#### *Uffici*

Gli uffici sono situati sopra i locali dell'officina e distribuiti su 3 piani per una superficie totale di 2654,925 m<sup>2</sup>. La potenza è assorbita per il condizionamento dei locali (raffrescamento e riscaldamento), l'illuminazione e per l'alimentazione delle apparecchiature elettriche (esclusi PC e stampanti, considerati successivamente).

|                    | Illuminazione [kW/m <sup>2</sup> ] | Condizionamento [kW] | Altri usi [kW] |
|--------------------|------------------------------------|----------------------|----------------|
| Potenza installata | 2                                  | 62                   | 38,5           |

Tabella 4: Consumi uffici

Nei differenti usi di energia elettrica rientrano infine anche attrezzature e macchinari di cui sono stati stimati i dati di funzionamento. Essi sono:

- Ascensori
- Caffetterie
- PC
- Stampanti

Per un consumo di potenza stimato che si aggira intorno ai 7,5 kW.

## 3.2 Impianto termico

CI si propone adesso di descrivere l'impianto termico, che si divide in:

- Impianto di trattamento termico;
- Impianto di riscaldamento;
- Impianto di condizionamento.

### 3.2.1 Impianto di trattamento termico

L'impianto di trattamento termico vede come attore principale un forno chiamato "Bioteco" che viene utilizzato per migliorare alcune componenti delle turbine, e in particolare determinate caratteristiche meccaniche e tecnologiche. Questo forno viene alimentato direttamente dalla cabina del Gas Naturale, posizionata vicino alla Cabina 0.

Il forno presenta le caratteristiche descritte in Tabella 5:

| GF FORNO           |            |
|--------------------|------------|
| SERIAL             | 2200079158 |
| TIPO MOD           | AS209/N    |
| TIPO REFRIG (C1)   | R407C      |
| CARICA REFRIG (C1) | 19,5 KG    |
| TIPO REFRIG (C2)   | R407C      |
| CARICA REFRIG (C2) | 20,5 KG    |

Tabella 5: Caratteristiche forno 'Bioteco'

### 3.2.2 Impianto di riscaldamento

L'impianto di riscaldamento, anch'esso alimentato a gas naturale, è costituito da:

- Una caldaia da 24 kW in guardiola;
- Due caldaie a condensazione da 60 kW a servizio del locale mensa;
- Due generatori di vapore saturo a 5 bar con potenza di 4,5 MW ciascuno.

I due generatori di vapore sono posizionati all'interno della centrale termica, a sua volta situata in prossimità delle zone da scaldare.

Lo schema costruttivo dei generatori è riportato in Figura 15.

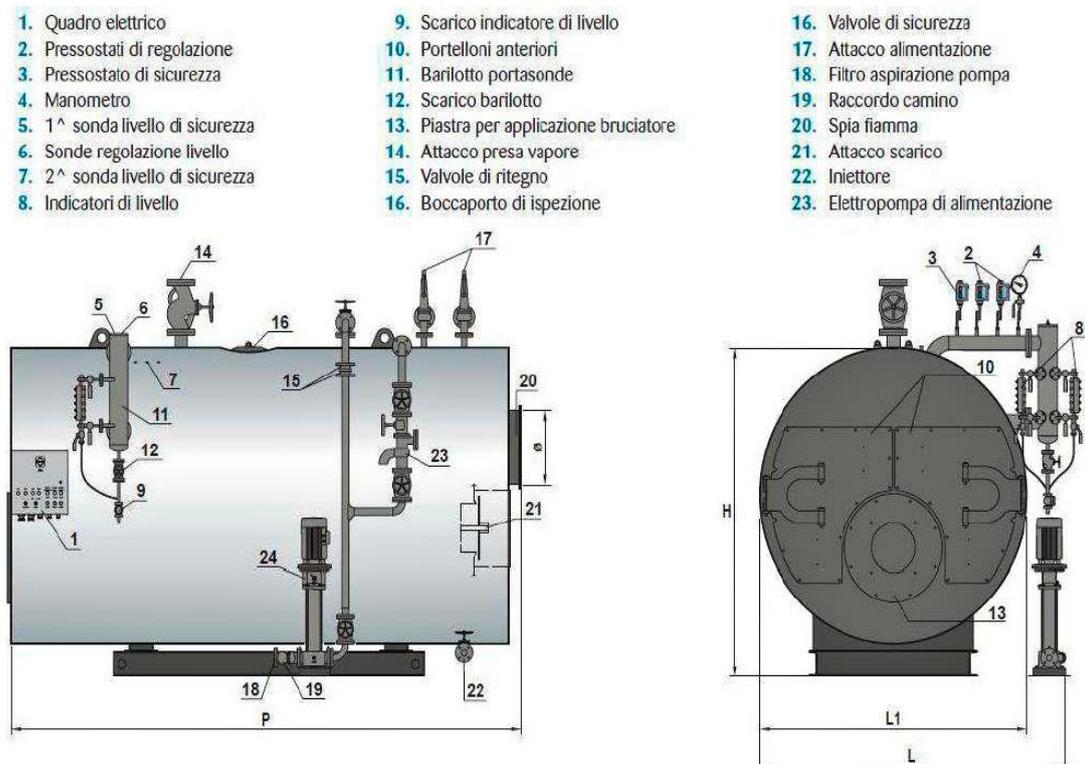


Figura 15: Generatori di vapore [9]

Nella Tabella 6, invece, sono descritte le caratteristiche tecniche:

| <b>Generatori di vapore</b>  |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Marca                        | ICI                   |
| Modello                      | GX 3500/12            |
| Capacità a livello           | 9.725 m <sup>3</sup>  |
| Capacità totale              | 11.940 m <sup>3</sup> |
| H - Altezza                  | 3.600 mm              |
| Frequenza nominale           | 50 Hz                 |
| Peso complessivo (massa)     | 14.300 kg             |
| L - Larghezza                | 2.900 mm              |
| N1 - Diametro presa vapore   | 125 DN                |
| P - Lunghezza                | 5.600 mm              |
| Perdite carico lato fumi     | 10,5 mbar             |
| Pressione max esercizio      | 12 bar                |
| Pressione di prova idraulica | 21,2 bar              |
| Produzione vapore            | 6.000 kg/h            |
| Ritorno condensa             | 85-90 %               |
| Portata Termica Massima      | 4.572 kW              |
| Rendimento al 100%           | 89,02%                |
| Potenza utile nominale       | 4,070 MW              |
| Superficie riscaldata        | 127,00 mq             |
| Alimentazione elettrica      | 3/N 400 V             |

Tabella 6: Caratteristiche generatori di vapore

Entrambi i generatori sono dotati di:

- Meccanismi di regolazione e sicurezza previsti dalla legge;
- Quadri elettrici con protezione IP54;
- Interruttore generale;
- Interruttore pompa e bruciatore;
- Fusibili;
- Relè termico pompa;
- Selettore pompa manuale/automatico;
- Relè elettronici per il controllo del livello;
- Pulsanti di riarmo;
- Spie visive ed allarme acustico.

In aggiunta hanno a disposizione due bruciatori a gas completi di dispositivi automatici di chiusura aria, apparecchiature di regolazione e sicurezza e altre caratteristiche riportate in Tabella 7.



Figura 16: Bruciatore a gas

| <b>Bruciatori a gas metano</b> |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| Marca                          | Baltur                       |
| Modello                        | GI 420 DSPGN                 |
| Combustibile                   | Gas Naturale                 |
| Potenza (min - max)            | 500 - 6000 kW                |
| Portata (min - max)            | 140 - 558 Nm <sup>3</sup> /h |
| Potenza elettrica motore       | 18,5 kW                      |
| Pressione Gas Naturale         | 74 - 500 mbar                |

Tabella 7: Caratteristiche bruciatori

I generatori forniscono il vapore alla struttura B, all'officina, al magazzino e all'area Coating & Repair tramite aerotermini con potenza termica di 80 kW e potenza elettrica di 300 W.

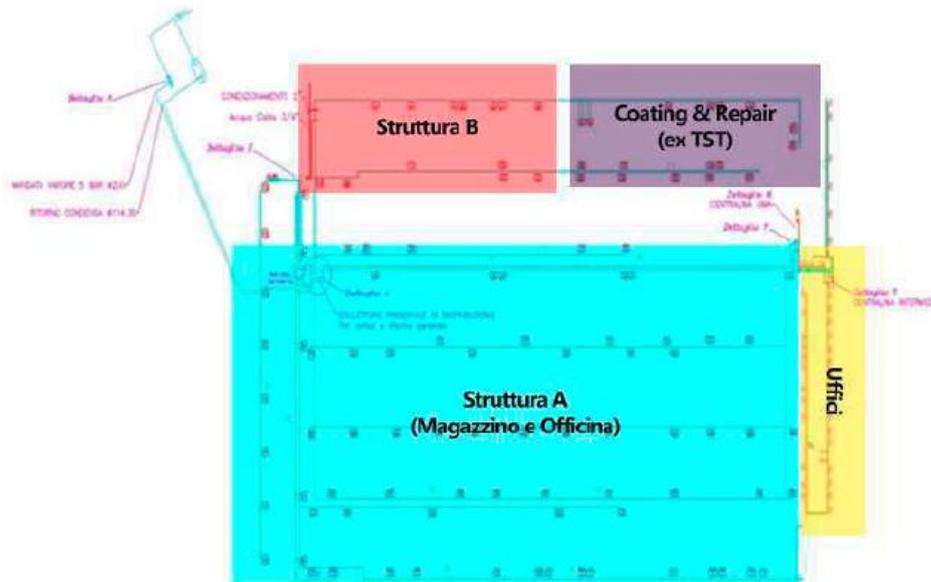


Figura 17: Layout impianto di riscaldamento [9]

Il percorso del vapore parte quindi dalla centrale termica, più precisamente dal collettore principale.

Da questo collettore si diramano due reti per la distribuzione del vapore:

- Circuito area officina;
- Circuito area ricevimento – spedizioni.

### *Area officina*

L'area officina si divide in 5 zone. Il vapore passa lungo il collettore generale e raggiunge, all'interno dell'officina, la rete di distribuzione dei terminali, installati vicino ai pilastri e dotati di valvole di intercettazione e dispositivi di scarico della condensa.

Dal collettore generale partono due circuiti di alimentazione, al cui interno sono presenti scambiatori di calore vapore-acqua, elettropompe di circolazione e gruppi di regolazione per l'alimentazione dei radiatori. Nel tratto finale, per ogni circuito, ci sono due sottostazioni:

- Sottostazione uffici sala prove;
- Sottostazione UMA – palazzini uffici.

La sottostazione UMA è nata in seguito alla separazione dell'impianto di riscaldamento tra officina e zona uffici.

Gli uffici, infatti, sono stati resi indipendenti dall'approvvigionamento di gas naturale grazie all'installazione di pompe di calore con un COP maggiore di 3,5 (pompe di calore ad alta efficienza).

| Area              | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Altezza media [m] | N° aerotermi | N° veli d'aria |
|-------------------|------------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Reparto L         | 1600                         | 11                | 13           | 3              |
| Magazzino nuovo   | 3150                         | 15                | 18           | -              |
| Officina montaggi | 9450                         | 15                | 40           | -              |
| Officina          | 6300                         | 15                | 35           | -              |
| Palazzina uffici  | 1200                         | 11                | -            | -              |

Tabella 8: Distribuzione aerotermi area officina

### *Area ricevimento – spedizioni*

Come per l'area officina anche in quest'area la rete di distribuzione è alimentata dal collettore principale e gli aerotermi sono della stessa tipologia di quelli visti prima in officina.

| Area                   | Superficie [m <sup>2</sup> ] | Altezza media [m] | N° aerotermi | N° veli d'aria |
|------------------------|------------------------------|-------------------|--------------|----------------|
| Area ricevimento merci | 3.255                        | 12                | 26           | 1              |
| Area Coating & Repair  | 2.600                        | 12                | 16           | -              |

Tabella 9: Distribuzione aerotermi area ricevimento-spedizioni

### 3.2.3 Impianto di raffrescamento e condizionamento

In entrambe le aree appena descritte sono presenti dei miscelatori d'aria, posizionati sui soffitti e azionati da un termostato, i quali hanno il compito di far defluire verso il basso l'aria calda stagnante in alto proveniente dai corpi riscaldanti, contrastando così il fenomeno della stratificazione.

| Area                   | N° destratificatori |
|------------------------|---------------------|
| Reparto L              | 7                   |
| Magazzino nuovo        | 11                  |
| Officina montaggi      | 19                  |
| Officina               | 33                  |
| Area ricevimento merci | -                   |
| Area TST               | 9                   |

Tabella 10: Numero di destratificatori nelle diverse zone



Figura 18: Destratificatore d'aria

| Destratificatori                |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Marca                           | Apen Group o simili         |
| Modello                         | King K100                   |
| Aria trattata                   | 10.000 m <sup>3</sup> /h    |
| Velocità                        | 700 g/min                   |
| Raggio di azione                | 9 m                         |
| Area di influenza               | 300 m <sup>2</sup>          |
| Altezza massima d'installazione | 12 m                        |
| Altezza massima ambiente        | 18 m                        |
| Potenza assorbita               | 300 W                       |
| Consumo di corrente             | 1,7/1,0 A                   |
| Grado di protezione             | IP44                        |
| Ventilatore tipo                | Elicentrifugo               |
| Numero pale giranti             | 4                           |
| Livello sonoro                  | 30 db                       |
| Larghezza                       | 680 mm                      |
| Altezza                         | 570 mm                      |
| Peso                            | 18 kg                       |
| Finitura esterna                | Vernice polveri epossidiche |

Tabella 11: Caratteristiche destratificatori

Negli uffici, la climatizzazione invernale ed estiva è ad espansione diretta e avviene per mezzo delle pompe di calore, dando la possibilità di raffrescare e riscaldare allo stesso tempo mediante l'utilizzo di elementi VRF (volume di refrigerante variabile) con unità interne a pavimento. Il fluido utilizzato è il gas refrigerante R410A.

I vantaggi del sistema VRF sono rappresentati dalla possibilità di variare la portata di refrigerante in modo lineare e direttamente proporzionale all'energia termica richiesta (sia per il riscaldamento che per il raffreddamento), cambiando semplicemente la velocità di rotazione del compressore.

I terminali esterni sono sei e uno dei modelli è raffigurato in Figura 19:



Figura 19: Unità esterna LG [9]

| LG | Raffreddamento |                    |      | Riscaldamento |                    |      |               |
|----|----------------|--------------------|------|---------------|--------------------|------|---------------|
|    | Unità          | $P_{th,cool}$ [kW] | EER  | $P_{el}$ [kW] | $P_{th,heat}$ [kW] | COP  | $P_{el}$ [kW] |
|    | ARUB220LT2     | 61,6               | 3,6  | 17,13         | 69,3               | 4,24 | 16,33         |
|    | ARUB160LT2     | 44,8               | 3,34 | 14            | 50,4               | 4,05 | 12,44         |
|    | ARUB140LT2     | 39,2               | 3,89 | 10,06         | 44,1               | 4,38 | 10,08         |
|    | ARUB120LT2     | 33,6               | 3,7  | 9,08          | 37,8               | 4,17 | 9,05          |
|    | ARUB100LT2     | 28                 | 3,91 | 7,16          | 31,5               | 4,29 | 7,33          |
|    | ARUB80LT2      | 22,4               | 4,24 | 5,28          | 25,2               | 4,39 | 5,73          |
|    |                | <b>229,6</b>       | -    | <b>62,71</b>  | <b>258,3</b>       | -    | <b>60,96</b>  |

Tabella 12: Caratteristiche unità esterne

I parametri EER e COP presenti nella Tabella 13 sono definiti nelle formule seguenti:

$$EER = \frac{\text{Capacità di raffreddamento}}{\text{Potenza assorbita}}$$

$$COP = \frac{\text{Capacità di riscaldamento}}{\text{Potenza assorbita}}$$

All'interno dell'azienda si trovano anche diverse unità interne a parete, con dati di targa elencati in Tabella 13:

| <b>Unità interna a parete</b>      |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Marca                              | LG                        |
| Modello                            | ARNU09GSEL2               |
| Alimentazione                      | 220-240 V, monofase, 50Hz |
| Livello di pressione sonora        | 39/35/25 dB(A)            |
| Potenza elettrica assorbita        | 40 W                      |
| Potenza elettrica in riscaldamento | 7,33 kW                   |
| Dimensioni                         | 895x165x282 mm            |
| Capacità di raffreddamento         | 2,8 kW                    |
| Capacità di riscaldamento          | 3,2 kW                    |

Tabella 13: Caratteristiche unità interna

Le unità a pavimento invece presentano caratteristiche diverse:

| <b>LG</b>    | <b>Raffreddamento</b>           | <b>Riscaldamento</b>            | <b>P<sub>el</sub> assorbita</b> | <b>Numero</b> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| <b>Unità</b> | <b>P<sub>th,cool</sub> [kW]</b> | <b>P<sub>th,heat</sub> [kW]</b> | <b>P<sub>el</sub> [W]</b>       |               |
| ARNU09GCEA2  | 2,8                             | 3,2                             | 30                              | 40            |
| ARNU12GCEA2  | 3,6                             | 4                               | 30                              | 28            |
| ARNU18GCEA2  | 5,6                             | 6,3                             | 80                              | 11            |
| ARNU24GCEA2  | 7,1                             | 8                               | 80                              | 9             |
|              | <b>19,1</b>                     | <b>21,5</b>                     | <b>280</b>                      |               |

Tabella 14: Unità interne a pavimento

Per concludere la parte termica si deve menzionare un'ultima unità presente nella sala mensa e impiegata per il raffreddamento.

| MACS/LN0411 | Raffreddamento  |      |               |
|-------------|-----------------|------|---------------|
|             | $P_{cool}$ [kW] | EER  | $P_{el}$ [kW] |
| ARUB160LT2  | 52              | 1,44 | 36,24         |

Tabella 15: Unità di raffreddamento mensa

Questa unità di raffreddamento usa il fluido R407c.

### 3.3 Impianto aria compressa

Nel sito oggetto di valutazione, l'impianto ad aria compressa ha come funzione primaria quella di fornire aria compressa agli apparecchi presenti in officina, uno su tutti il "Makino". Il sistema è composto da 3 compressori, di cui uno a velocità variabile e gli altri due a velocità mantenuta fissa. I tre macchinari sono visibili nella foto in Figura 20, scattata nel locale in cui sono collocati.



Figura 20: Locale compressori

Nell'immagine in Figura 21 invece è riportato il modello, che è lo stesso per tutti e tre i compressori.



Figura 21: Modello del compressore

Le loro caratteristiche sono riportate nella Tabella 16:

| <b>Compressore R45n</b>           |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| <b>Velocità</b>                   | <b>Variabile</b>       |
| <b>Unità</b>                      | <b>1</b>               |
| Marca                             | Ingersoll Rand         |
| Potenza nominale motore HPM       | 45 kW                  |
| Potenza nominale motore soffiante | 1,5 kW                 |
| Flusso aria di raffreddamento     | 84 m <sup>3</sup> /min |
| Alimentazione elettrica           | 400 V/3 ph/50 Hz       |
| Rumorosità                        | 69 dB(A)               |
| Dimensioni (L/W/H)                | 1947/1114/1607 mm      |
| Peso                              | 776 kg                 |
| Q.tà refrigerante                 | 26 lt                  |

| Compressore R45ie                          |                         |
|--|-------------------------|
| Velocità                                   | Fissa                   |
| Unità                                      | 2                       |
| Marca                                      | Ingersoll Rand          |
| Potenza nominale motore HPM                | 45 kW                   |
| Potenza nominale ventola di raffreddamento | 1,5 kW                  |
| Flusso aria di raffreddamento              | 108 m <sup>3</sup> /min |
| Alimentazione elettrica                    | 400 V/3 ph/50 Hz        |
| Rumorosità                                 | 69 dB(A)                |
| Dimensioni (L/W/H)                         | 1947/1114/1607 mm       |
| Peso                                       | 1039 kg                 |
| Q.tà lubrificante                          | 26 lt                   |

Tabella 16: Caratteristiche compressori

Ognuno dei 3 compressori è gestito, monitorato e protetto dal controllore a microprocessore Xe.

Xe monitora in continuo lo status del compressore e reagisce in tempo reale nell'eventualità di anomale condizioni di esercizio.



Figura 22: Pannello di controllo Xe

In aggiunta ai 3 compressori è presente un sistema di automazione chiamato X8I, in grado di gestire fino ad otto compressori volumetrici, e che permette di:

- Attivare i compressori solo per il tempo necessario, portando i compressori in standby on-line durante i periodi di maggiore domanda;
- Adattare dinamicamente il compressore o la combinazione di compressori più efficiente in termini energetici con la domanda di aria compressa;
- Attivare uno o più compressori a velocità variabile per minimizzare l'energia sprecata a causa di compressori non sotto carico o che operano per cicli brevi;
- Gestire il sistema ad aria compressa in base alla pressione minima richiesta senza compromettere l'affidabilità della fornitura di aria compressa.



Figura 23: Sistema di gestione e automazione X8I

| <b>Sistema X8I</b>   |  |
|----------------------|--|
| Numero massimo unità | 8 compressori                                  |
| Peso                 | 7,5 kg   |
| Alimentazione        | 230 VAC +/- 10% (50 Hz)                        |
|                      | 115 VAC +/- 10% (60 Hz)                        |
| Temperatura          | Da 0°C a 46°C (da 32°F a 115°F)                |
| Umidità              | Da 0% a 95% di umidità relativa senza condensa |

Tabella 17: Caratteristiche tecniche X8I

Il sistema X8I, inoltre, è anche rispettoso dell'ambiente perché riduce le emissioni di CO<sub>2</sub> generate dalla produzione di elettricità. Per fare un esempio, una riduzione di 75 kW fa risparmiare 650.000 kWh all'anno, che si traduce in una riduzione di 450.000 kg nelle emissioni di CO<sub>2</sub>. [13]

Tornando all'impianto, la compressione dell'aria avviene a 7.4 bar per soddisfare la richiesta degli utensili presenti in officina. I compressori si trovano tutti nel locale compressori, adiacente alla centrale termica.

Sono presenti anche tre serbatoi d'aria compressa: due da 5000 l e uno da 3000 l.

### 3.4 Macchinari

I macchinari presenti in officina sono numerosi e di diverse tipologie. Un elenco completo è consultabile nell'Appendice A.

Il fabbricato A è suddiviso in 8 zone di produzione, in ognuna delle quali si realizzano i componenti meccanici utili per l'ottenimento del prodotto finale, ovvero la turbina.

Diversi elementi della turbina come palette, dischi e anelli vengono realizzati in luoghi separati per poi essere successivamente assemblati.

La foto in Figura 24 dà un'idea della zona produttiva di EthosEnergy.

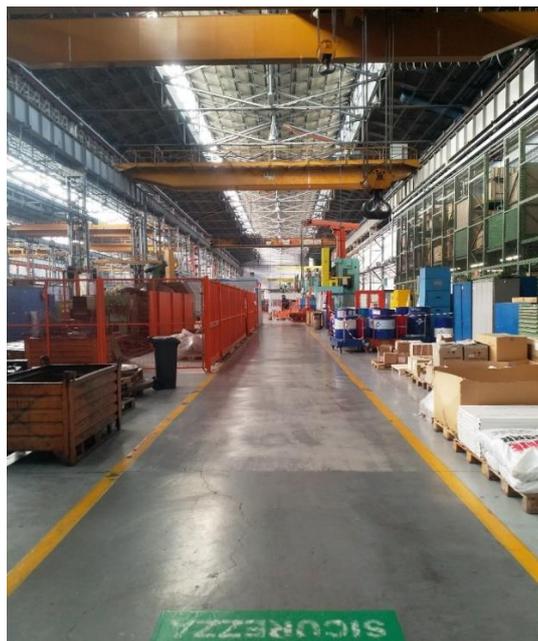


Figura 24: Officina

In Figura 25, invece, una foto al prodotto finale delle lavorazioni: la turbina a gas.



Figura 25: Turbina a gas

## 4 Analisi energetica

Seguendo il percorso della norma ISO 50001, dopo aver descritto la storia dell'azienda e aver tracciato gli impianti presenti, si passa alla prima vera e propria fase dell'approccio PDCA, ovvero la pianificazione energetica (PLAN).

Punto chiave della pianificazione è l'analisi energetica, che qualsiasi organizzazione deve sviluppare, registrare e mantenere.

Al fine di sviluppare l'analisi energetica l'organizzazione deve:

- Analizzare l'uso e consumo dell'energia basato su misurazioni o altri dati, per esempio:
  - identificare le attuali fonti di energia,
  - valutare l'uso e il consumo dell'energia nel passato e nel presente;
- Identificare le aree di uso significativo dell'energia basandosi sull'analisi dell'uso e del consumo dell'energia, per esempio:
  - identificare le infrastrutture, apparecchiature, sistemi, processi e personale che lavori direttamente o per conto dell'organizzazione che influenzano significativamente uso e consumo dell'energia,
  - identificare le altre variabili rilevanti che influenzano il significativo uso dell'energia,
  - determinare le prestazioni energetiche attuali delle infrastrutture, apparecchiature, sistemi e processi collegati agli usi significativi dell'energia identificati,
  - stimare usi e consumi energetici futuri;
- Identificare, mettere in ordine di priorità e registrare le opportunità di miglioramento della prestazione energetica. [14]

Nel lavoro di analisi, dai dati provenienti da fatture e bollette, sono stati ottenuti i valori di consumo e di costo del gas naturale e dell'energia elettrica relativi agli ultimi tre anni.

I dati che fanno riferimento al consumo di gas ed energia elettrica sono stati riportati in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP), ovvero considerati in termini di energia primaria, facendo riferimento alla circolare MISE del 18 dicembre 2014 [15] che ha fissato i coefficienti di conversione in TEP per i principali combustibili e vettori energetici.

- Gasolio 1 t = 1,017 TEP;
- Gas di petrolio liquefatto (GPL) 1 t = 1,099 TEP;
- Benzina 1 t = 1,051 TEP;
- Oli vegetali 1 t = 0,88 TEP;
- Legna macinata fresca (cippato) 1 t = 0,2 TEP;
- Pellet 1 t = 0,401 TEP;
- **Gas naturale 1 Nm<sup>3</sup> = 8,2\*10<sup>-4</sup> TEP;**
- Gas naturale liquefatto 1 t = 1,079 TEP;
- Biogas 1 Nm<sup>3</sup> = 5,5\*10<sup>-4</sup> TEP;
- **Energia elettrica proveniente dalla rete 1 MWh = 0,187 TEP.**

Partendo da queste relazioni verrà applicato un ulteriore passaggio da Nm<sup>3</sup> a Sm<sup>3</sup> per il gas naturale e da MWh a kWh per l'energia elettrica.

Pertanto le conversioni utili saranno due:

| Fonte energetica   | Sm <sup>3</sup> | TEP                    |
|--------------------|-----------------|------------------------|
| Gas Naturale       | 1               | 7,77*10 <sup>-4</sup>  |
|                    |                 |                        |
| Vettore energetico | kWh_el          | TEP                    |
| Energia elettrica  | 1               | 0,187*10 <sup>-3</sup> |

Tabella 18: Conversioni utilizzate

## 4.1 Modello bottom-up

Un passaggio fondamentale all'interno di un'analisi energetica è l'introduzione di un modello di ottimizzazione. In questo caso è stato scelto un modello Bottom up, che si propone come obiettivo quello di valutare tutti i vettori energetici trattati nello stabilimento. Questo tipo di schema indica le fonti dalle quali provengono questi vettori e gli usi e i consumi che da essi derivano fino a evidenziare gli output energetici, realizzando così un sistema completo. Il diagramma in Figura 26, realizzato con l'aiuto dell'Energy Manager dell'azienda, riporta lo schema appena descritto:

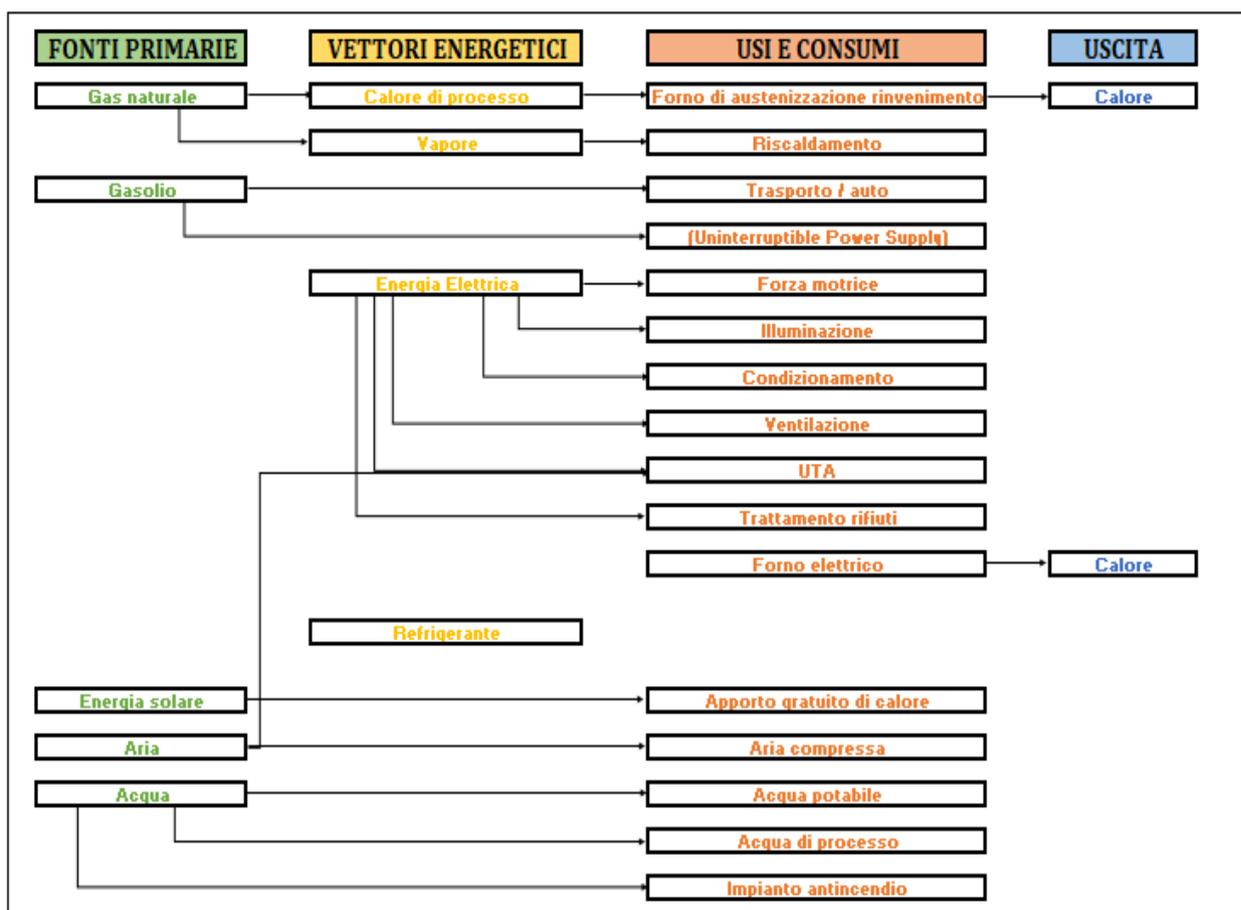


Figura 26: Modello Bottom-up

Nell'analisi i consumi di energia elettrica e gas naturale saranno elaborati a partire dai dati resi disponibili dai contatori.

Infine la fonte "acqua" non verrà trattata, ma si focalizzerà l'attenzione esclusivamente sui vettori gas naturale ed energia elettrica, considerati quelli più rilevanti ai fini dello studio da realizzare.

## 4.2 Gas naturale

Il diagramma di Sankey aiuta a capire quali sono i contributi relativi al consumo complessivo di gas naturale:

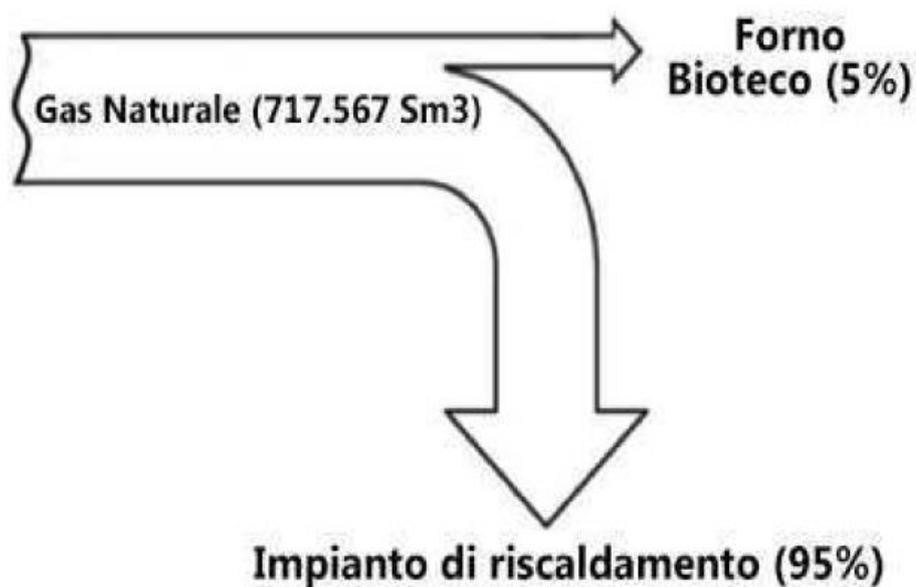


Figura 27: Diagramma di Sankey per il Gas Naturale [9]

Il gas naturale, come si nota dal diagramma, è utilizzato per rifornire l'impianto di riscaldamento centrale e il forno "Bioteco". Il gas consumato dal forno risulta comunque trascurabile rispetto a quello utilizzato dalle due caldaie.

Dalle fatture è possibile definire l'andamento dei consumi e dei costi di gas naturale degli ultimi tre anni.

Le Tabelle 19, 20 e 21 riportano i dati nei corrispettivi anni.

| <b>2017</b> |                      |                      |                  |                                |
|-------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|
| <b>MESE</b> | <b>CONSUMI [Sm3]</b> | <b>CONSUMI [TEP]</b> | <b>COSTI [€]</b> | <b>COSTI SPECIFICI [€/Sm3]</b> |
| Gennaio     | 202071               | 157,009167           | 48726            | 0,241133067                    |
| Febbraio    | 117083               | 90,973491            | 29633            | 0,253093959                    |
| Marzo       | 53671                | 41,702367            | 15234            | 0,283840435                    |
| Aprile      | 9443                 | 7,337211             | 5102             | 0,540294398                    |
| Maggio      | 69,24                | 0,05379948           | 3051             | 44,06412478                    |
| Giugno      | 97                   | 0,075369             | 3072             | 31,67010309                    |
| Luglio      | 306                  | 0,237762             | 3117             | 10,18627451                    |
| Agosto      | 1                    | 0,000777             | 3051             | 3051                           |
| Settembre   | 5                    | 0,003885             | 3052             | 610,4                          |
| Ottobre     | 28587                | 22,212099            | 10550,39         | 0,369062511                    |
| Novembre    | 121428               | 94,349556            | 34871,47         | 0,287178163                    |
| Dicembre    | 110602               | 85,937754            | 29058,13         | 0,262726985                    |
| <b>TOT</b>  | <b>643363</b>        | <b>499,8932375</b>   | <b>188518</b>    | <b>0,293051062</b>             |

Tabella 19: Consumi e costi Gas Naturale (2017)

| <b>2018</b> |                      |                      |                  |                                |
|-------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|
| <b>MESE</b> | <b>CONSUMI [Sm3]</b> | <b>CONSUMI [TEP]</b> | <b>COSTI [€]</b> | <b>COSTI SPECIFICI [€/Sm3]</b> |
| Gennaio     | 149938               | 116,501826           | 38773,44         | 0,258596487                    |
| Febbraio    | 148170               | 115,12809            | 38289,28         | 0,258414524                    |
| Marzo       | 121970               | 94,77069             | 32151,93         | 0,263605231                    |
| Aprile      | 43529                | 33,822033            | 13062,42         | 0,30008546                     |
| Maggio      | 307                  | 0,238539             | 2893             | 9,423452769                    |
| Giugno      | 435                  | 0,337995             | 3216             | 7,393103448                    |
| Luglio      | 288                  | 0,223776             | 3182,47          | 11,05024306                    |
| Agosto      | 99                   | 0,076923             | 3139,57          | 31,71282828                    |
| Settembre   | 403                  | 0,313131             | 3208,37          | 7,961215881                    |
| Ottobre     | 31044                | 24,121188            | 12926,83         | 0,416403492                    |
| Novembre    | 113606               | 88,271862            | 37310,83         | 0,328423059                    |
| Dicembre    | 152611               | 118,578747           | 44225,29         | 0,289790972                    |
| <b>TOT</b>  | <b>762400</b>        | <b>592,3848</b>      | <b>232379,4</b>  | <b>0,304799882</b>             |

Tabella 20: Consumi e costi Gas Naturale (2018)

| 2019      |                   |               |                   |                         |
|-----------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------------|
| MESE      | CONSUMI [Sm3]     | CONSUMI [TEP] | COSTI [€]         | COSTI SPECIFICI [€/Sm3] |
| Gennaio   | 194318            | 150,985086    | 55699,33          | 0,286640095             |
| Febbraio  | 148570            | 115,43889     | 50333,91          | 0,33878919              |
| Marzo     | 88355             | 68,651835     | 28995,33          | 0,328168525             |
| Aprile    | 28064             | 21,805728     | 10479,81          | 0,373425385             |
| Maggio    | 319               | 0,247863      | 3500              | 10,97178683             |
| Giugno    | 655               | 0,508935      | 3509,91           | 5,358641221             |
| Luglio    | 591               | 0,459207      | 3839              | 6,495769882             |
| Agosto    | 94                | 0,073038      | 3373,46           | 35,88787234             |
| Settembre | 1249,00           | 0,970473      | 3651,4            | 2,923458767             |
| Ottobre   | 23311,00          | 18,112647     | 9342,79           | 0,400788898             |
| Novembre  | 98294,00          | 76,374438     | 28700,04          | 0,291981606             |
| Dicembre  | 120989,00         | 94,008453     | 34654,22          | 0,286424551             |
| TOT       | <b>704.809,00</b> | 547,636593    | <b>236.079,20</b> | 0,33495486              |

Tabella 21: Consumi e costi Gas Naturale (2019)

Esaminando l'andamento dei consumi è possibile evidenziare una forte dipendenza dalle stagioni.

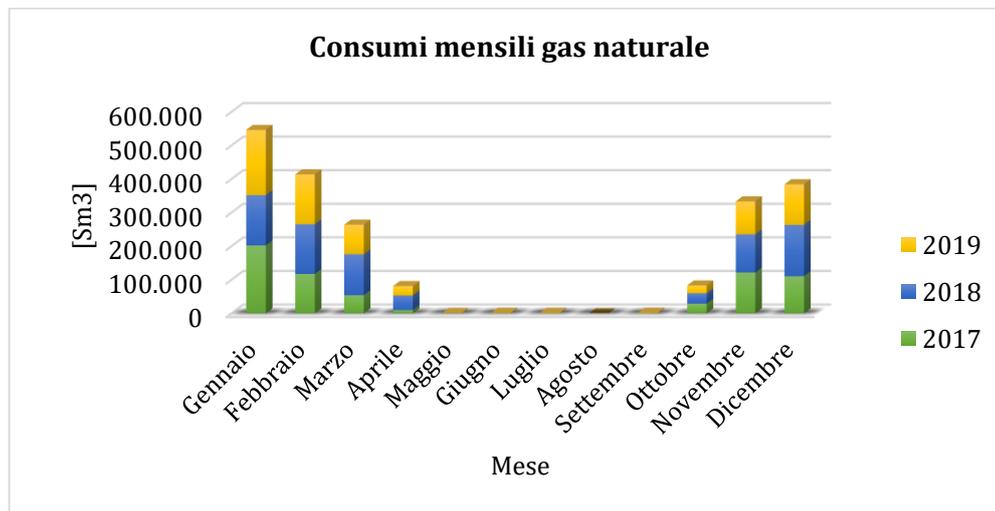


Grafico 1: Consumi mensili Gas Naturale

Grafico 1 mostra in maniera netta un aumento dei consumi di gas nei mesi invernali, con un picco nel mese di Gennaio.

Facendo invece una valutazione dei consumi anno per anno, si nota un aumento del 18,5% dal 2017 al 2018 e un successivo calo del 7,6% nel 2019.

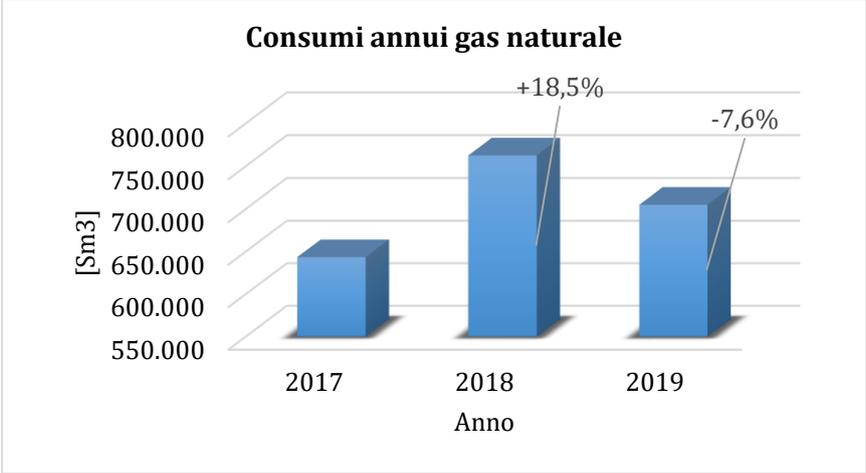


Grafico 2: Consumi annui Gas Naturale

I costi mensili di gas naturale registrano il trend di Grafico 3:

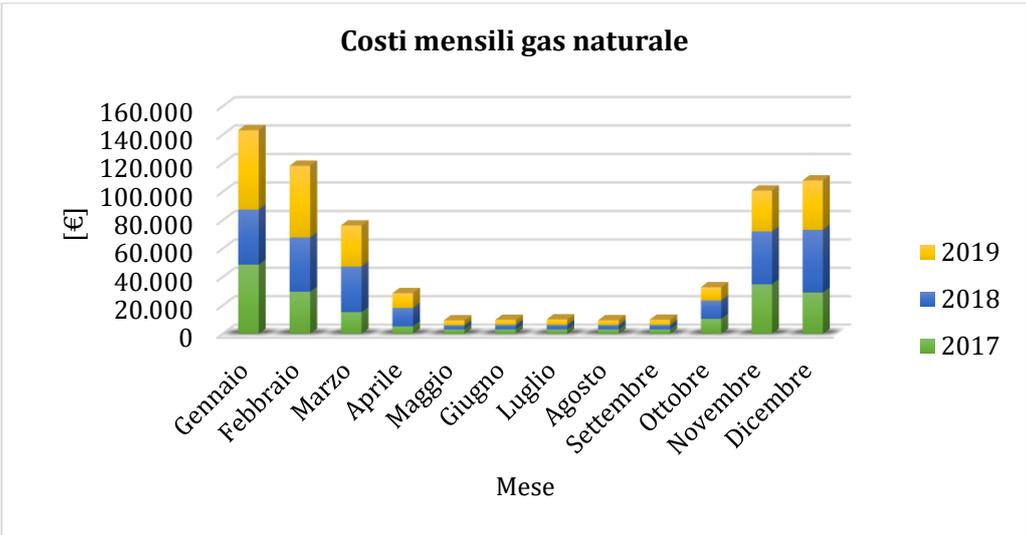


Grafico 3: Costi mensili Gas Naturale

Infine l'ultimo grafico mostra la suddivisione dei costi del gas negli ultimi tre anni con le relative percentuali di incremento o diminuzione.

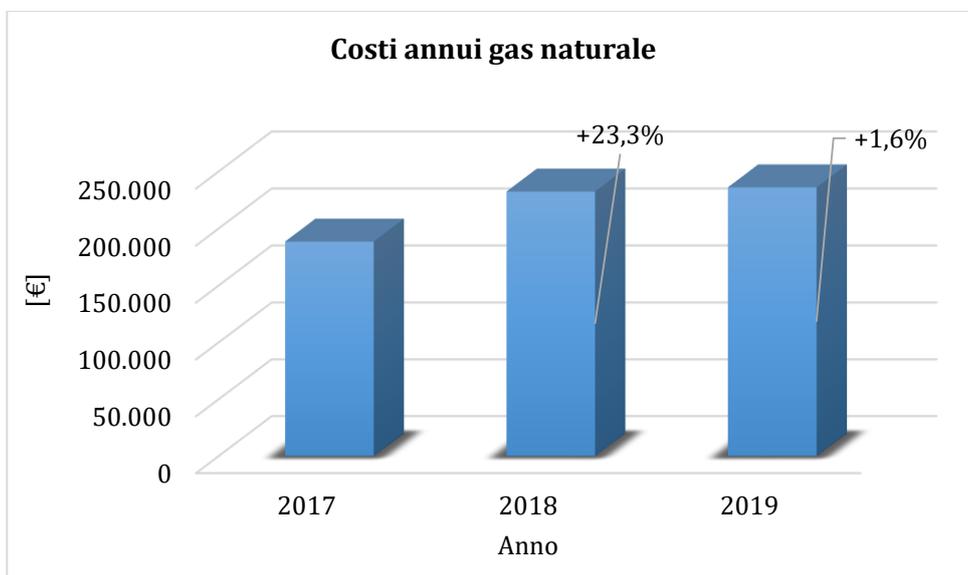


Grafico 4: Costi annui Gas Naturale

Come per i consumi, anche nei costi si osserva una tendenza di aumento passando dal 2017 al 2018, mentre, a differenza dei primi, nel 2019 si assiste a un ulteriore leggero rialzo.

## 4.3 Energia elettrica

Anche per l'energia elettrica è stato utilizzato il diagramma di Sankey, utile per avere il quadro dei consumi e sapere da dove provengono:

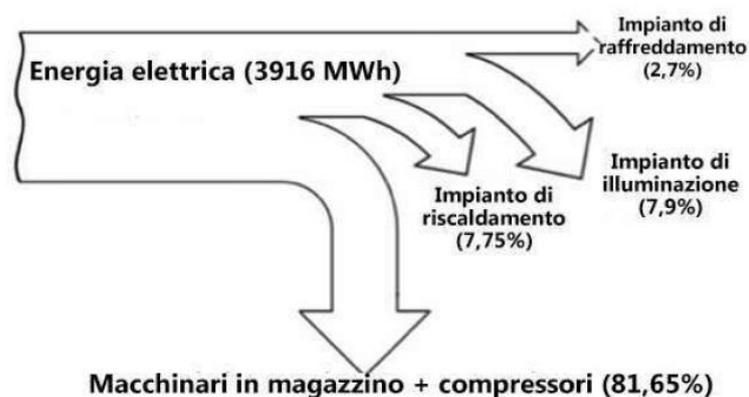


Figura 28: Diagramma di Sankey per l'Energia Elettrica [9]

Dalle bollette sono stati estratti i consumi e i costi totali di energia elettrica dell'impianto industriale, ripartiti considerando, come fatto in precedenza, gli ultimi tre anni:

| 2017      |                   |               |                   |                         |
|-----------|-------------------|---------------|-------------------|-------------------------|
| MESE      | CONSUMI [kWh]     | CONSUMI [TEP] | COSTI [€]         | COSTI SPECIFICI [€/kWh] |
| Gennaio   | 391794            | 73,265478     | 51132             | 0,130507358             |
| Febbraio  | 378799            | 70,835413     | 49292             | 0,130127059             |
| Marzo     | 311669            | 58,282103     | 40945             | 0,131373348             |
| Aprile    | 184328,18         | 34,4693691    | 24680             | 0,13389163              |
| Maggio    | 222802,98         | 41,66415651   | 29579             | 0,13275855              |
| Giugno    | 268328,45         | 50,17741922   | 34992             | 0,130407345             |
| Luglio    | 270313            | 50,548531     | 35440             | 0,131107272             |
| Agosto    | 117578            | 21,987086     | 24169             | 0,205557162             |
| Settembre | 240308,42         | 44,93767454   | 32088,4           | 0,133530069             |
| Ottobre   | 248263,5          | 46,4252745    | 31923,75          | 0,128588173             |
| Novembre  | 295413,17         | 55,24226335   | 37483,46          | 0,126884863             |
| Dicembre  | 254212            | 47,537644     | 32144,9           | 0,126449184             |
| TOT       | <b>3183809,69</b> | 595,3724122   | <b>423.869,50</b> | 0,133132804             |

Tabella 22: Consumi e costi Energia Elettrica (2017)

| <b>2018</b> |                      |                      |                  |                                |
|-------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------------------|
| <b>MESE</b> | <b>CONSUMI [kWh]</b> | <b>CONSUMI [TEP]</b> | <b>COSTI [€]</b> | <b>COSTI SPECIFICI [€/kWh]</b> |
| Gennaio     | 263252               | 49,228124            | 37303,86         | 0,141703995                    |
| Febbraio    | 271381               | 50,748247            | 39730,45         | 0,146401001                    |
| Marzo       | 264159               | 49,397733            | 38928,45         | 0,147367495                    |
| Aprile      | 198720               | 37,16064             | 31275,8          | 0,157386272                    |
| Maggio      | 221077               | 41,341399            | 32830,46         | 0,148502377                    |
| Giugno      | 230431               | 43,090597            | 35062,33         | 0,152159779                    |
| Luglio      | 285642               | 53,415054            | 42101,16         | 0,14739135                     |
| Agosto      | 198533               | 37,125671            | 30680,07         | 0,154533856                    |
| Settembre   | 224498               | 41,981126            | 36345,19         | 0,161895384                    |
| Ottobre     | 259158               | 48,462546            | 41227,59         | 0,159082837                    |
| Novembre    | 265682               | 49,682534            | 40653,66         | 0,153016237                    |
| Dicembre    | 294462               | 55,064394            | 44159,37         | 0,149966277                    |
| <b>TOT</b>  | <b>2976995</b>       | <b>556,698065</b>    | <b>450298,39</b> | <b>0,151617238</b>             |

Tabella 23: Consumi e costi Energia Elettrica (2018)

| <b>2019</b> |                      |                      |                    |                                |
|-------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------|
| <b>MESE</b> | <b>CONSUMI [kWh]</b> | <b>CONSUMI [TEP]</b> | <b>COSTI [€]</b>   | <b>COSTI SPECIFICI [€/kWh]</b> |
| Gennaio     | 292560,98            | 54,70890326          | 48.829,11          | 0,166902333                    |
| Febbraio    | 280301,67            | 52,41641229          | 46.943,81          | 0,167476027                    |
| Marzo       | 296400               | 55,4268              | 46124,99           | 0,155617375                    |
| Aprile      | 262495               | 49,086565            | 41549,88           | 0,158288272                    |
| Maggio      | 245876,8912          | 45,97897865          | 39662,21377        | 0,161309237                    |
| Giugno      | 238924               | 44,678788            | 36952,28           | 0,154661231                    |
| Luglio      | 285914               | 53,465918            | 44502,52           | 0,155650021                    |
| Agosto      | 193552               | 36,194224            | 31087              | 0,160613169                    |
| Settembre   | 240490,602           | 44,97174257          | 38249,86           | 0,159049292                    |
| Ottobre     | 287444,102           | 53,75204707          | 45517              | 0,158350788                    |
| Novembre    | 263084               | 49,196708            | 39587,85281        | 0,150476094                    |
| Dicembre    | 277466               | 51,886142            | 41752              | 0,150476094                    |
| <b>TOT</b>  | <b>3164509,245</b>   | <b>591,7632289</b>   | <b>500758,5166</b> | <b>0,158239161</b>             |

Tabella 24: Consumi e costi Energia Elettrica (2019)

Osservando i consumi mensili di energia elettrica anno per anno, si evidenzia un trend comune caratterizzato da consumi maggiori nei mesi invernali e nel mese di Luglio (dovuti all'impianto di condizionamento). Questo andamento è visibile nel Grafico 5:

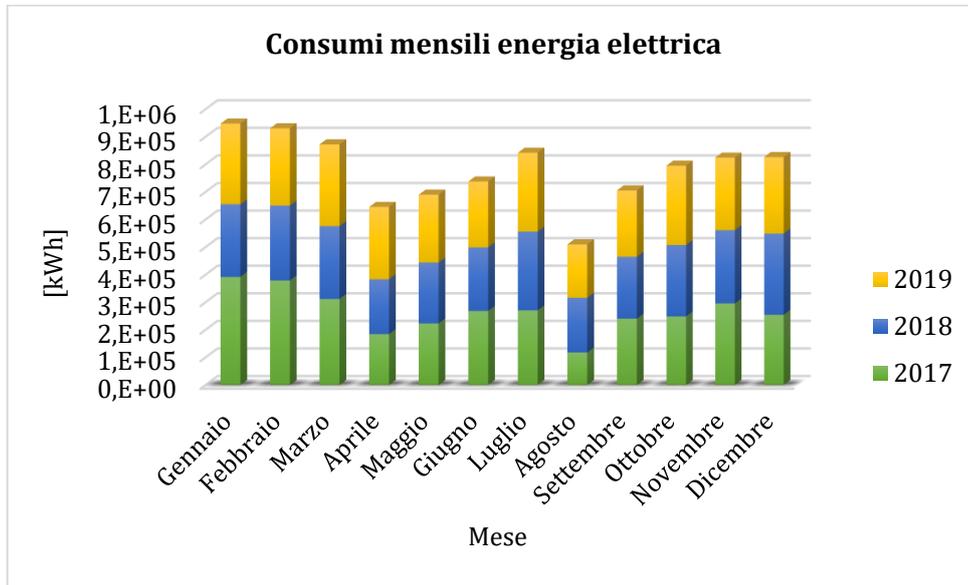


Grafico 5: Consumi mensili Energia Elettrica

Confrontando i consumi anno per anno, si ha una diminuzione del 6,5% dal 2017 al 2018 e un ritorno a valori più alti di consumo nel 2019 con un aumento del 6,3%.

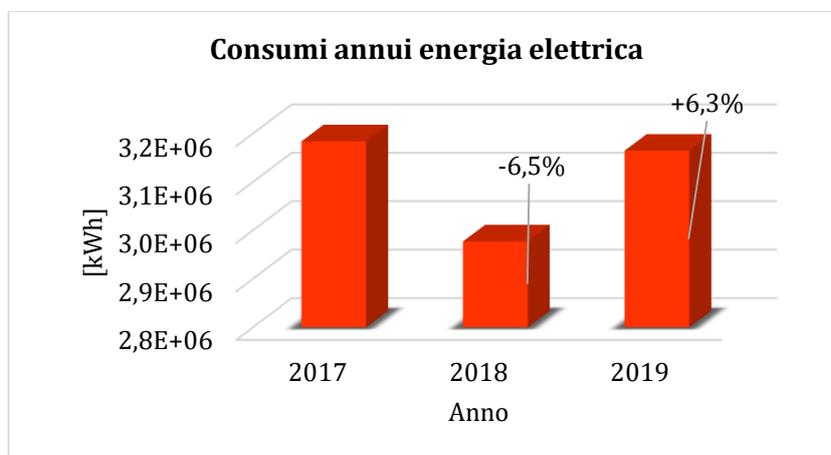


Grafico 6: Consumi annui Energia Elettrica

I costi mensili di energia elettrica, suddivisi per anno, sono riportati nel Grafico 7:

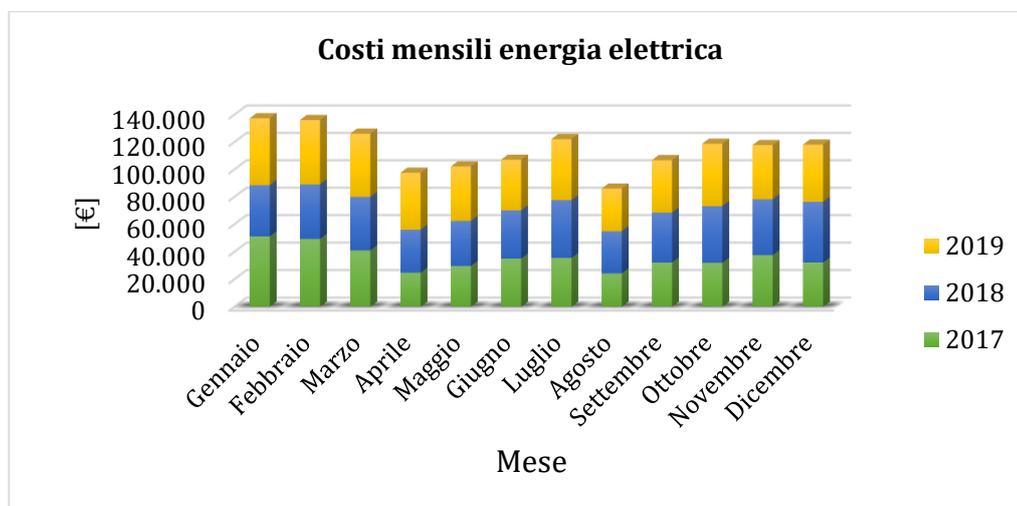


Grafico 7: Costi mensili Energia Elettrica

In questo caso si vede perfettamente che i costi durante i mesi estivi non sono trascurabili come nel caso del gas naturale.

Un'ulteriore analisi prevede la ripartizione dei costi dell'energia elettrica negli ultimi tre anni con le relative differenze percentuali (Grafico 8).

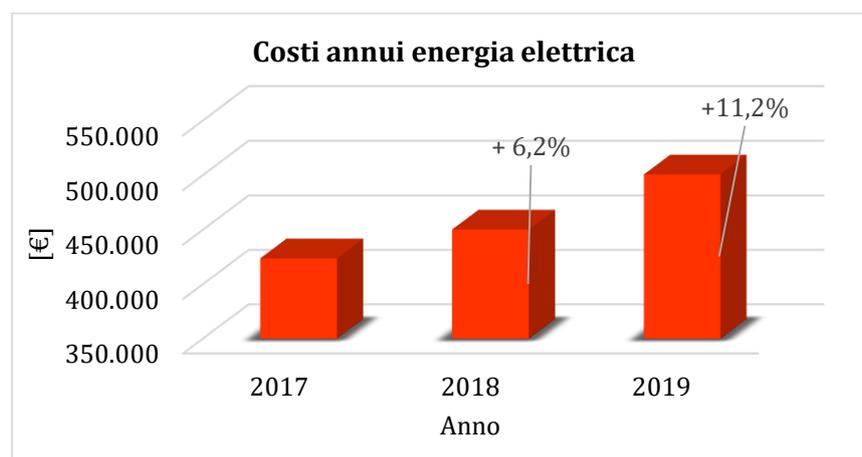


Grafico 8: Costi annui Energia Elettrica

Sebbene i consumi di energia elettrica tra il 2017 e il 2018 siano diminuiti, i costi hanno rilevato invece un leggero aumento. Questo trend in salita si è confermato nel 2019.

## 4.4 Energia primaria

I dati elaborati in precedenza possono essere confrontati dal punto di vista energetico sfruttando i fattori di conversione in TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio).

I consumi di energia primaria sono rappresentati dalla Tabella 25 e dal Grafico 9, i quali prendono in esame gli ultimi 5 anni.

|      | <b>GN [TEP]</b> | <b>EE [TEP]</b> | <b>TOTALE [TEP]</b> |
|------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 2015 | 535,71          | 687             | 1222,71             |
| 2016 | 526,12          | 723,37          | 1285,49             |
| 2017 | 499,89          | 595,37          | 1095,26             |
| 2018 | 592,38          | 556,69          | 1149,07             |
| 2019 | 547,63          | 591,76          | 1139,39             |

Tabella 25: Consumi Energia Primaria

Per una valutazione complessiva sono stati messi a confronto i consumi totali di energia primaria nei diversi anni, specificando le quote relative di gas naturale e di energia elettrica:

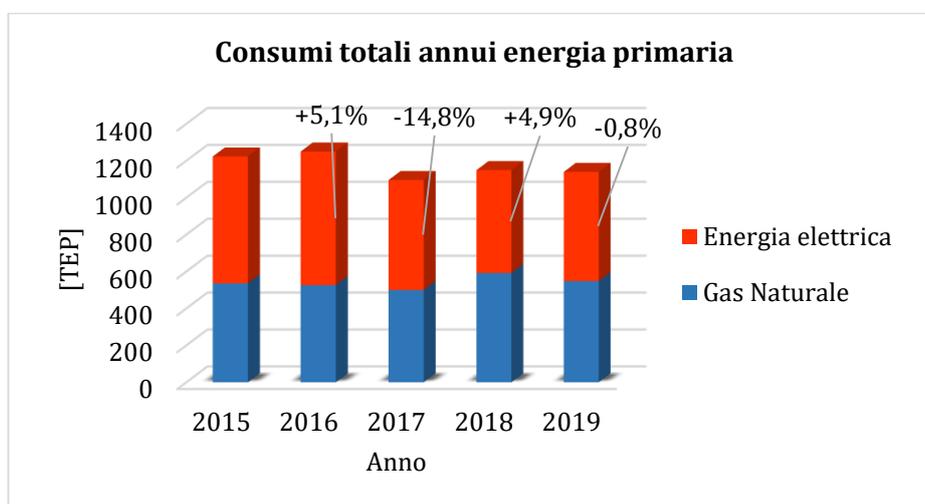


Grafico 9: Consumi totali annui Energia Primaria

Dal grafico dei consumi totali si nota un calo considerevole tra il 2016 e il 2017 attribuibile soprattutto a una diminuzione forte nei consumi di energia elettrica.

Questa diminuzione nei consumi di energia elettrica è dettata a sua volta da logiche di produzione. Confrontando infatti le ore di produzione del 2016 con quelle del 2017 si rileva un netto calo, mentre nel 2018 si ritorna ad avere un aumento che persiste anche nel 2019:

| Anno | Ore di produzione officina |
|------|----------------------------|
| 2016 | 61038                      |
| 2017 | 56093                      |
| 2018 | 60270                      |
| 2019 | 68300                      |

Tabella 26: Ore di produzione

È stato possibile poi riportare anche i costi di energia primaria e il loro trend negli ultimi anni:

|      | GN [€]   | EE [€]    | TOTALE [€] |
|------|----------|-----------|------------|
| 2015 | 240706   | 562421    | 803127     |
| 2016 | 213928   | 566668    | 780596     |
| 2017 | 188518   | 423869,5  | 612387,5   |
| 2018 | 232379,4 | 450298,4  | 682677,8   |
| 2019 | 236079,2 | 500758,52 | 736837,7   |

Tabella 27: Costi Energia Primaria

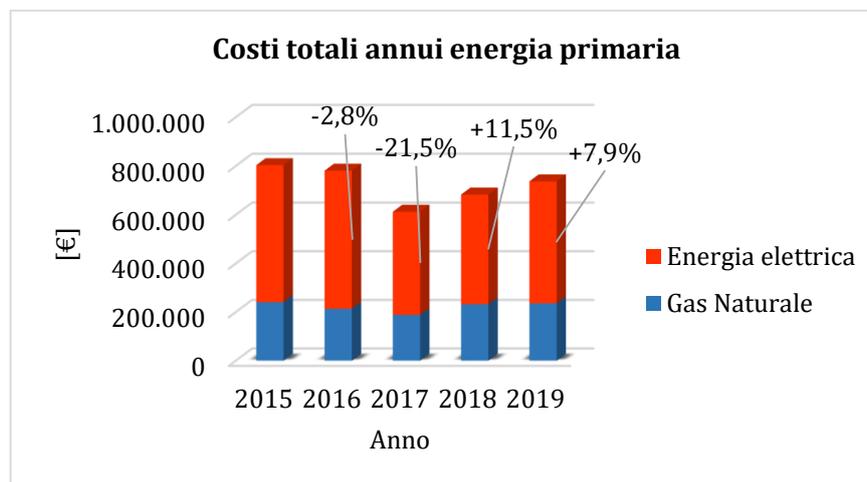


Grafico 10: Costi totali annui Energia Primaria

Per i costi il trend è simile a quello dei consumi, con una diminuzione dei costi totali nel 2017 e un successivo aumento nel 2018, anche se le differenze percentuali, in questo grafico, sono ancora più marcate.

## 4.5 Emissioni di CO<sub>2</sub>

Un altro importante fattore da valutare all'interno di un'analisi energetica è l'impatto ambientale che l'azienda ha sul territorio. Per dare una stima di questo rilevante effetto è stata calcolata l'impronta di carbonio del sito anno per anno, grazie all'aiuto della piattaforma MyClimate. [16]

Prendendo i dati sui consumi di gas e di energia elettrica calcolati precedentemente e sommandoli tra loro è stato ottenuto un dato di consumo totale in MWh, che, inserito come input nella piattaforma insieme al numero di addetti, ha permesso di calcolare le tonnellate di CO<sub>2</sub> complessive e la loro suddivisione nei vari contributi dovuti a: energia, mobilità, mensa, materiali e rifiuti.

| Anno | Consumi totali [MWh] | Addetti | Energia [t] | Mobilità [t] | Mensa [t] | Materiali e rifiuti [t] | t CO <sub>2</sub> |
|------|----------------------|---------|-------------|--------------|-----------|-------------------------|-------------------|
| 2015 | 6538,62              | 215     | 5021,7      | 736,4        | 61,9      | 127,9                   | 5947,9            |
| 2016 | 6729,95              | 202     | 5168,6      | 691,9        | 58,2      | 120,2                   | 6038,8            |
| 2017 | 5856,75              | 191     | 4498        | 654,2        | 55        | 113,6                   | 5320,8            |
| 2018 | 6144,83              | 173     | 4719,2      | 592,5        | 49,8      | 102,9                   | 5464,5            |
| 2019 | 6092,54              | 174     | 4679,1      | 596          | 50,1      | 103,5                   | 5428,7            |

Tabella 28: Emissioni di CO<sub>2</sub>

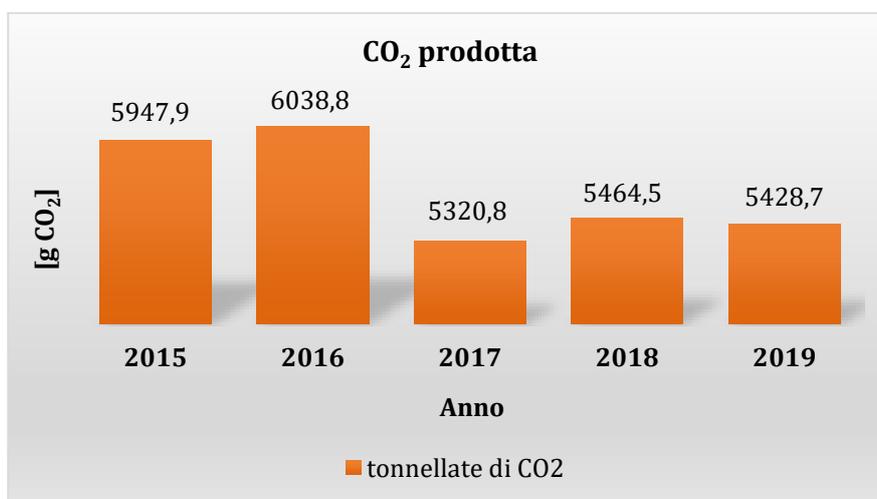


Grafico 11: Quantità di CO<sub>2</sub> prodotta

## 4.6 KPI e Benchmarking

Uno degli step della pianificazione energetica, previsto dalla normativa ISO 50001, riguarda l'identificazione, da parte di un'organizzazione, di appropriati indicatori di prestazione energetica o Key Performance Indicators (KPIs) per la sorveglianza e la misurazione delle prestazioni energetiche. Questi KPI devono essere riesaminati e confrontati con quello che viene definito "consumo di riferimento".

In generale, un buon KPI aziendale è:

- *Misurabile*: solo se le metriche effettivamente disponibili e quantificabili hanno valore;
- *Di impatto*: se il parametro non incide minimamente sull'obiettivo di business di riferimento, allora non è un KPI aziendale;
- *Utile*: perché fornisce dati che permettono di mettere in campo azioni immediate per raggiungere i propri obiettivi;
- *Funzionale*: un buon KPI aziendale deve essere calcolabile velocemente per consentire di prendere decisioni in tempi rapidi. [17]

Nel caso particolare dello stabilimento Ethos sono analizzati energia elettrica e gas naturale, di cui sono già stati rilevati consumi e costi, confrontando i parametri selezionati con i rispettivi valori di riferimento, operazione chiamata "Benchmarking".

Per fare questo è stato necessario riportare i consumi di gas naturale ed energia elettrica in TEP e ottenere, dai documenti aziendali, i dati sul fatturato della società negli ultimi anni. Infine per realizzare l'operazione di Benchmarking sono stati utilizzati alcuni dati originati dalle statistiche Istat. Le banche dati permettono infatti di risalire ai consumi e ai costi energetici rilevati nei vari settori industriali. Per questo tipo di analisi ci si è riferiti all'industria manifatturiera. In particolare è stato scelto lo scenario generale riportato dal codice ATECO n°28, ovvero quello delle aziende operanti nel campo "Fabbricazione di macchinari ed apparecchiature nca". [18]

## 4.6.1 KPI Gas Naturale

Arrivati a questo punto si possono definire i primi KPI energetici relativi al consumo del gas naturale.

Gli indicatori presentati sono due: il consumo di gas naturale rispetto al fatturato aziendale e il confronto tra i consumi e i dati climatici riportati in gradi giorno. L'attività di Benchmarking prevede la comparazione tra questi indicatori e quelli derivanti dallo scenario generale precedentemente descritto, utilizzati come termini di paragone.

Partendo dalle statistiche Istat, si calcolano i consumi di gas naturale derivanti da processi industriali e si realizza la conversione in TEP.

Questi dati affermano che nell'anno 2015 vi è stato un consumo di gas naturale pari a 758.7 milioni di standard metri cubi, che, riportati in TEP, danno:

$$758.776.649 \text{ Sm}^3 = 589.569 \text{ TEP}$$

Se consideriamo, sempre dalle banche dati Istat, che il fatturato nel 2015 per il settore analizzato era di 38733,62 mln €, allora il valore di riferimento equivale a:

$$RIF = \frac{589.569}{38733,62} = 15,22 \frac{\text{TEP}}{\text{mln } \text{€}}$$

Nella Tabella 29 sono definiti i KPI aziendali:

| Anno | Consumo GN [TEP] | Fatturato [mln €] | KPI [TEP/mln €] |
|------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2015 | 535,71           | 29,43             | 18,2            |
| 2016 | 526,12           | 25,71             | 21,86           |
| 2017 | 499,89           | 27,51             | 18,17           |
| 2018 | 592,38           | 23,18             | 25,55           |
| 2019 | 547,63           | 40,7              | 13,45           |

Tabella 29: Consumo Gas Naturale su fatturato

Il grafico 12 invece illustra l'andamento dei KPI calcolati, messi a confronto con il valore di riferimento del 2015.

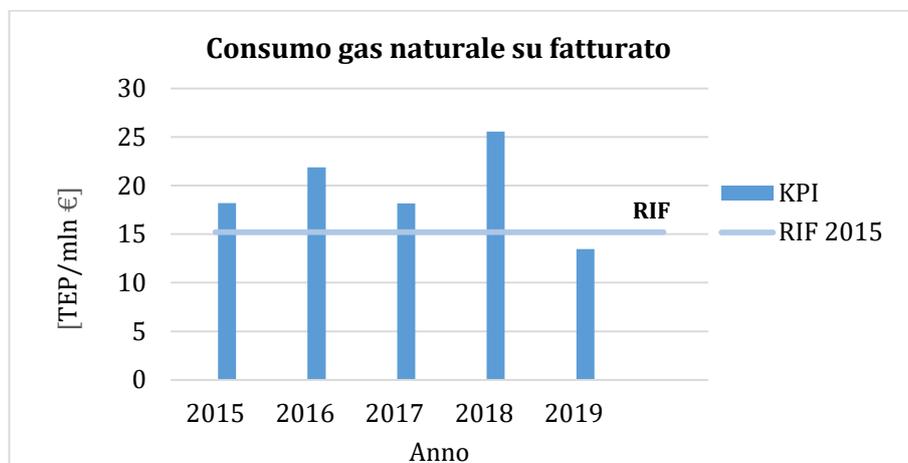


Grafico 12: KPI consumi Gas Naturale su fatturato

Dal grafico è possibile osservare l'aumento importante nel consumo di gas nel 2018 rispetto agli anni precedenti e una diminuzione netta nel 2019 dovuta anche a una ripresa del fatturato.

Un altro indicatore di prestazione, sempre relativo ai consumi di gas, è stato individuato per tenere conto di un fattore molto importante: la variazione di temperatura esterna.

Lo studio illustrato di seguito è stato realizzato prendendo in considerazione il comune di Torino e in particolare usufruendo dei dati forniti dalla stazione "Giardini Reali", scelta per la sua vicinanza al sito.

Il periodo analizzato è quello invernale che va dal 15 Ottobre al 15 Aprile.

I KPI d'interesse consistono nel rapporto tra i consumi di gas (definiti nelle indagini precedenti) e i gradi giorno (GG) calcolati a partire dai valori di temperatura esterna.

$$GG = (20 - T_{ext}) \times gg$$

(gg = giorni del mese)

|         | Consumi [Sm <sup>3</sup> ] | GG     | KPI         |
|---------|----------------------------|--------|-------------|
| 2015/16 | 716939                     | 2296,7 | 312,1604911 |
| 2016/17 | 638999                     | 2329,6 | 274,2955872 |
| 2017/18 | 724224                     | 2463   | 294,0414129 |
| 2018/19 | 727014                     | 2196   | 331,0628415 |

Tabella 30: Consumi in funzione della  $T_{ext}$

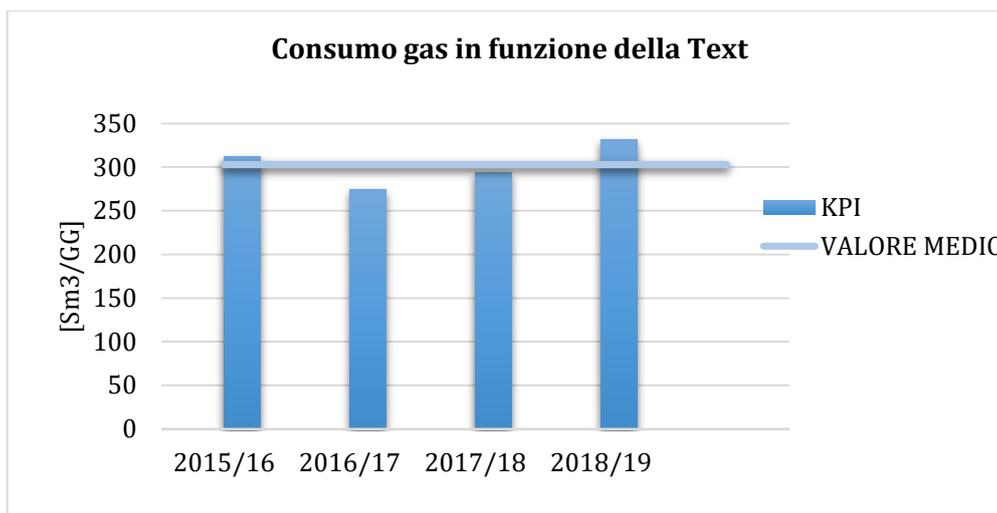


Grafico 13: KPI consumo gas in funzione della Text

In questo tipo di confronto non si è prodotto un Benchmarking ma ci si è limitati a estrapolare gli indicatori interni all'azienda per gli ultimi 4 anni, confrontandoli semplicemente con il valore medio, in quanto la dipendenza è strettamente legata a valori meteo locali.

Il KPI dell'ultimo anno, leggermente al di sopra della media, è legato non tanto ai consumi ma più a questioni climatiche in quanto il valore dei gradi giorno è risultato inferiore a quello degli anni precedenti.

#### 4.6.2 KPI Energia Elettrica

Lo stesso discorso fatto per il gas naturale si può ripetere per l'energia elettrica, partendo dai dati Istat e andando stavolta a valutare, oltre alle variazioni dei consumi, anche quelle dei costi rapportati ai ricavi aziendali.

Entrando nel dettaglio, il consumo di energia elettrica di riferimento (anno 2015) [19] è:

$$2483 \text{ GWh} = 464321 \text{ TEP}$$

Considerando per il fatturato il dato precedente, ovvero 38733.62 mln €, si ottiene un valore di riferimento pari a:

$$\text{RIF} = \frac{464321}{38733,62} = 11,98 \frac{\text{TEP}}{\text{mln €}}$$

Nella Tabella 31 vengono presentati i KPI relativi ai consumi elettrici aziendali:

| Anno | Consumo EE [TEP] | Fatturato [mln €] | KPI [TEP/mln €] |
|------|------------------|-------------------|-----------------|
| 2015 | 687              | 29,43             | 23,34           |
| 2016 | 723,37           | 25,71             | 28,5            |
| 2017 | 595,37           | 27,51             | 21,64           |
| 2018 | 556,7            | 23,18             | 24,01           |
| 2019 | 591,76           | 40,7              | 14,54           |

Tabella 31: Consumo Energia Elettrica su fatturato

Come per il gas naturale sono stati confrontati i KPI dell'azienda con quelli di riferimento del settore industriale corrispondente:

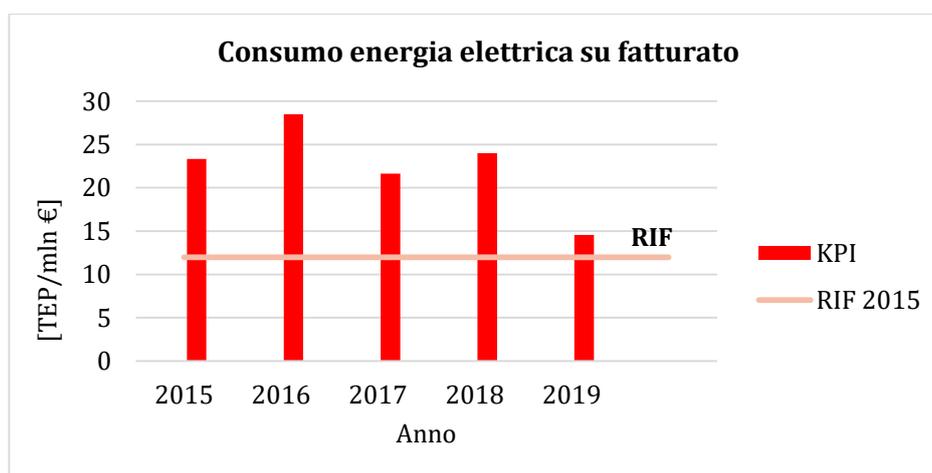


Grafico 14: KPI consumi Energia Elettrica

Il grafico 14 riguardante i consumi per unità di fatturato rivela un andamento altalenante con valori più alti nel 2016 e nel 2018 e un abbassamento deciso nel 2019, segnale di un migliore fatturato.

Successivamente è stato considerato il costo dell'elettricità rispetto al fatturato aziendale. Come dato di riferimento è stato preso il valore del prezzo di fornitura dell'energia elettrica a livello nazionale riferito al 2015, uguale a 459,75 mln €. [20]

Considerando il già noto numero relativo al fatturato si può agevolmente calcolare il dato di riferimento per il successivo confronto:

$$\text{RIF} = \frac{459,75}{38733,62} = 0,01187 \frac{\text{mln } \text{€}}{\text{mln } \text{€}} = 1,187 \%$$

I KPI interni dell'azienda sono i seguenti:

| Anno | Costo EE [€] | Fatturato [mln €] | KPI [€/€] |
|------|--------------|-------------------|-----------|
| 2015 | 562421       | 29,43             | 1,91%     |
| 2016 | 566668       | 25,71             | 2,20%     |
| 2017 | 423869       | 27,51             | 1,54%     |
| 2018 | 450298       | 23,18             | 1,94%     |
| 2019 | 500758,5     | 40,7              | 1,23%     |

Tabella 32: Costo Energia Elettrica su fatturato

Infine è stato realizzato il confronto tra i KPI appena visti e il valore di riferimento precedentemente calcolato:

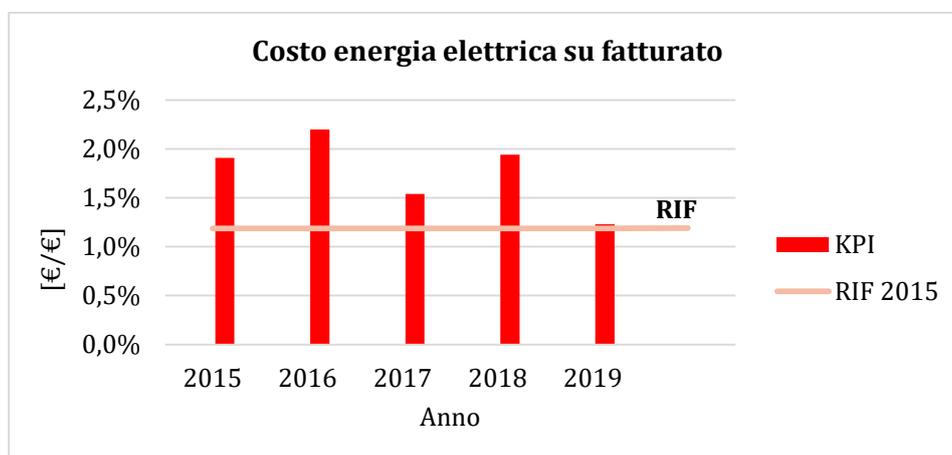


Grafico 15: KPI costi Energia Elettrica

Come in diversi grafici già visti in precedenza anche nel Grafico 15 si assiste a una lieve riduzione dei costi nel 2017, a un successivo aumento nel 2018 e a un calo più netto nell'ultimo anno. Questo trend è guidato principalmente dalle variazioni annuali di cui ha risentito il fatturato aziendale.

### 4.6.3 KPI Energia Primaria

L'ultimo studio degli indicatori di prestazione energetica riguarda l'energia primaria e considera due diversi KPI: intensità energetica e consumo per addetto.

Per quanto riguarda il primo indicatore, come nei casi descritti in precedenza, si ricerca il valore di riferimento, che consiste nel consumo di energia primaria rispetto al fatturato [21].

Come dato si ottiene un consumo pari a:

$$\text{RIF} = 38,19 \frac{\text{TEP}}{\text{mln } \text{€}}$$

I KPI aziendali selezionati sono invece riassunti in Tabella 33:

| Anno | EP [TEP] | Fatturato [mln €] | KPI [TEP/mln €] |
|------|----------|-------------------|-----------------|
| 2015 | 1222,71  | 29,43             | 41,54           |
| 2016 | 1285,49  | 25,71             | 49,99           |
| 2017 | 1095,26  | 27,51             | 39,81           |
| 2018 | 1149,07  | 23,18             | 49,57           |
| 2019 | 1139,39  | 40,7              | 27,99           |

Tabella 33: Intensità energetica

Dal confronto dei KPI aziendali con quelli di riferimento del settore si ottiene il Grafico 16:

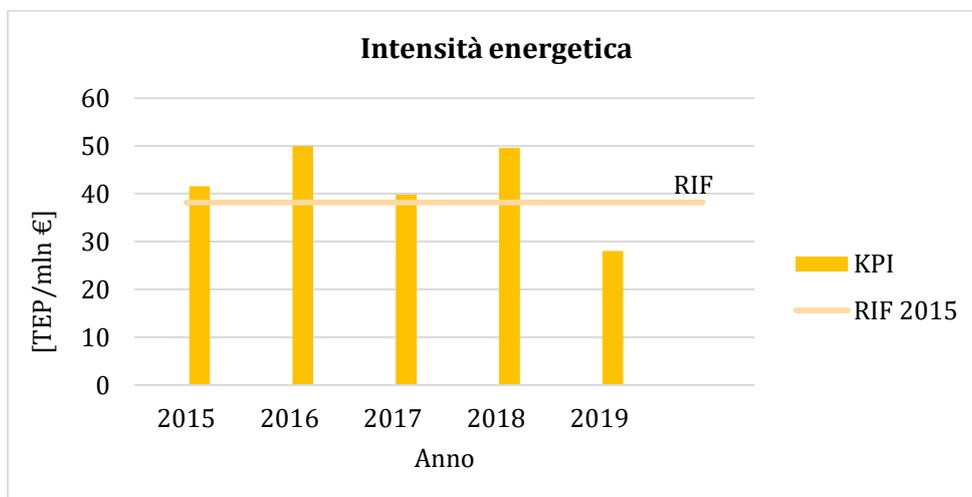


Grafico 16: KPI Intensità Energetica

Infine un'ultima valutazione è stata fatta sul consumo di energia primaria per addetto. Per fare questo si è preso il già noto valore di riferimento per il consumo di energia primaria ed è stato diviso per il numero di addetti, che, nel 2015, era pari a 424.114 nel settore trattato.

$$\text{RIF} = 3,57 \frac{\text{TEP}}{\text{addetto}}$$

| Anno | EP [TEP] | N. addetti | KPI [TEP/addetti] |
|------|----------|------------|-------------------|
| 2015 | 1222,71  | 215        | 5,69              |
| 2016 | 1285,49  | 202        | 6,36              |
| 2017 | 1095,26  | 191        | 5,73              |
| 2018 | 1149,07  | 173        | 6,64              |
| 2019 | 1139,39  | 174        | 6,55              |

Tabella 34: Consumo Energia Primaria per addetto

Paragonando i valori ottenuti per il sito con quelli generali si ottiene il Grafico 17:

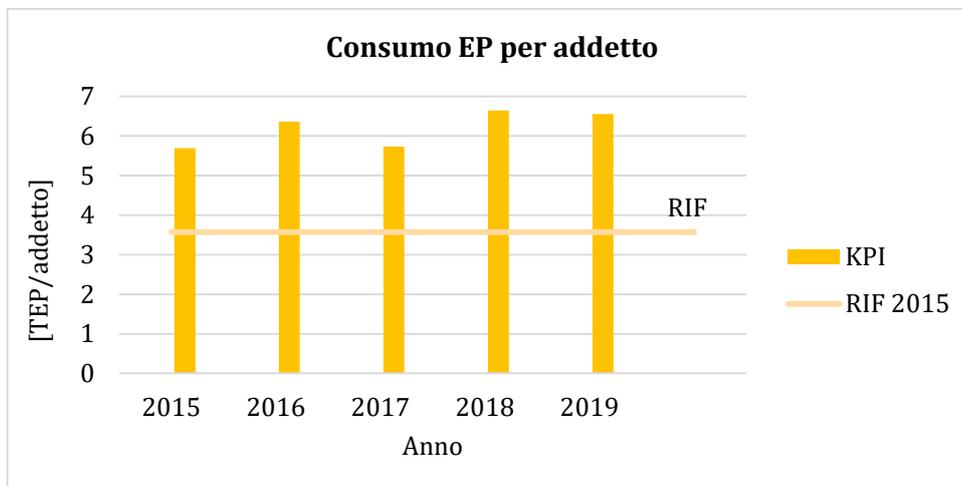


Grafico 17: KPI consumo Energia Primaria per addetto

Da questo studio si evince che il consumo pro-capite di un lavoratore della EthosEnergy è quasi il doppio rispetto a quello medio di un lavoratore appartenente allo stesso settore.

#### 4.6.4 KPI Emissioni CO<sub>2</sub>

Per concludere il discorso sugli indicatori di prestazione energetica, si fa ora un'analisi sull'impegno dell'azienda dal punto di vista ambientale, andando a ricavare dei KPI ambientali che accostano i parametri di emissione di CO<sub>2</sub> ai consumi e al numero di lavoratori.

Facendo riferimento sempre all'anno 2015, dai dati Istat le emissioni di CO<sub>2</sub> nelle attività manifatturiere erano pari a 8.745.683,87 t. Recuperando il valore dei consumi di energia primaria di quell'anno si ottiene il primo indicatore:

$$\text{RIF} = 5,912 \frac{t_{CO_2}}{TEP}$$

| Anno | t CO <sub>2</sub> | EP [TEP] | KPI [t CO <sub>2</sub> /TEP] |
|------|-------------------|----------|------------------------------|
| 2015 | 5947,9            | 1222,71  | 4,86452225                   |
| 2016 | 6038,8            | 1285,49  | 4,697663926                  |
| 2017 | 5320,8            | 1095,26  | 4,858024579                  |
| 2018 | 5464,5            | 1149,07  | 4,755584951                  |
| 2019 | 5240,2            | 1139,39  | 4,599127603                  |

Tabella 35: KPI emissioni CO<sub>2</sub>

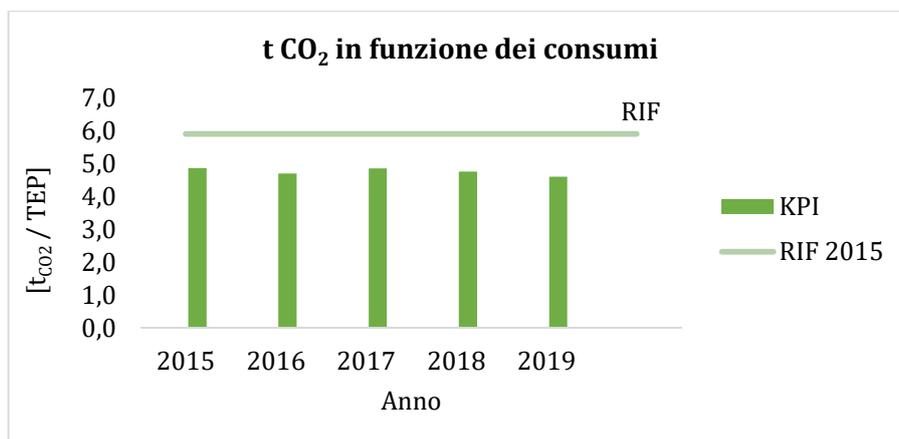


Grafico 18: KPI emissioni CO<sub>2</sub>

Anche se i dati generali fanno riferimento al 2015, quando le emissioni del settore erano sicuramente più elevate di quelle odierne, da questo grafico si evince che l'azienda considera seriamente quelle che possono essere le ripercussioni delle proprie attività sull'ambiente e persegue in maniera costante uno sviluppo sostenibile.

Come ultimo indice, si è deciso di confrontare le emissioni con il numero di lavoratori dell'azienda in modo da avere un'idea della quantità di CO<sub>2</sub> pro-capite emessa.

Considerando dati precedentemente rilevati, il riferimento è:

$$\text{RIF} = 20,62 \frac{t_{CO_2}}{\text{addetto}}$$

| Anno | t CO <sub>2</sub> | N. addetti | KPI [t CO <sub>2</sub> /addetto] |
|------|-------------------|------------|----------------------------------|
| 2015 | 5947,9            | 215        | 27,66465116                      |
| 2016 | 6038,8            | 202        | 29,8950495                       |
| 2017 | 5320,8            | 191        | 27,85759162                      |
| 2018 | 5464,5            | 173        | 31,5867052                       |
| 2019 | 5240,2            | 174        | 30,11609195                      |

Tabella 36: Tonnellate di CO<sub>2</sub> per addetto

Il confronto finale è visibile nel Grafico 19:

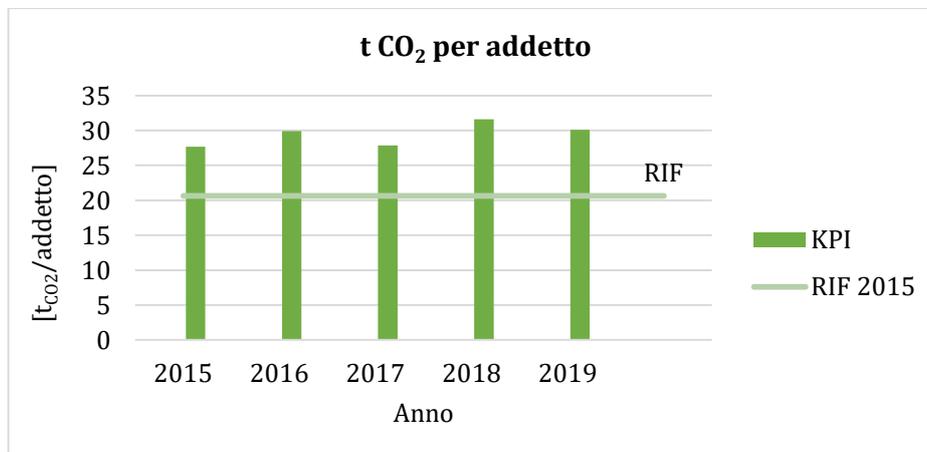


Grafico 19: Tonnellate di CO<sub>2</sub> per addetto

Questo grafico evidenzia il fatto che, sebbene l'indice dell'ultimo anno segnali un'inversione di tendenza, un lavoratore di EthosEnergy emette il 30% in più di un lavoratore dello stesso settore.

## 5 Modello energetico previsionale

Una volta identificate le aree di uso significativo dell'energia e in generale le prestazioni energetiche del sito, il percorso PDCA proposto dalla norma ISO 50001 suggerisce di passare alla seconda fase (DO), quella in cui l'organizzazione deve "utilizzare i piani d'azione e gli altri risultati derivati dal processo di pianificazione ai fini dell'attuazione e funzionamento". Tra le altre cose la norma specifica che i piani d'azione attraverso i quali l'azienda persegue i propri obiettivi e traguardi, devono includere la definizione del metodo attraverso il quale deve essere verificato il miglioramento delle prestazioni energetiche.

In questo lavoro, il piano d'azione prevede lo sviluppo e l'integrazione in ambiente Matlab/Simulink di un modello rappresentativo dei principali componenti che costituiscono la rete elettrica aziendale, composta dalle quattro cabine presenti all'interno del sito.

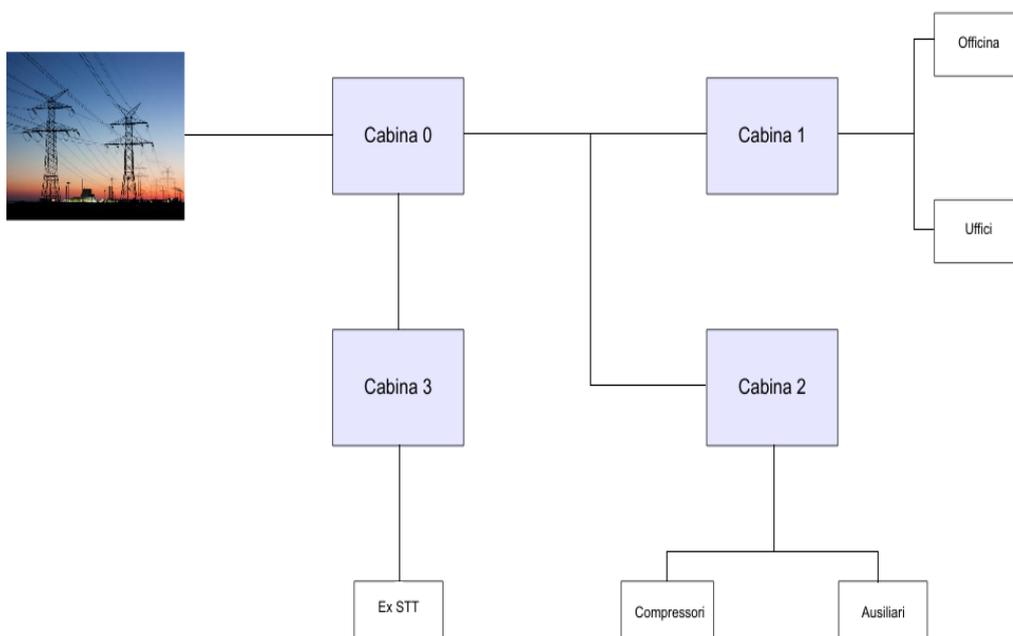


Figura 29: Schema rete elettrica [22]

La rete termica invece è composta dalla centrale termica, un forno e due caldaie situate nella mensa aziendale.

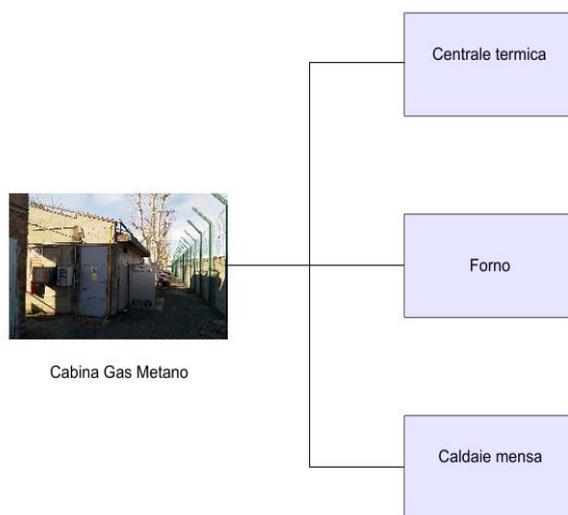


Figura 30: Schema rete termica

Poiché l'analisi energetica ha evidenziato delle criticità nella parte relativa al consumo elettrico e in più si ha a disposizione un server per il monitoraggio di questi consumi, si è preferito concentrare l'analisi sulla parte elettrica piuttosto che quella termica.

Nei seguenti paragrafi è descritto nel dettaglio come sono stati implementati i singoli elementi che costituiscono il modello per la simulazione della rete elettrica.

## 5.1 Descrizione del software utilizzato

Il lavoro è stato implementato in ambiente Matlab/Simulink, che permette di seguire in modo molto più diretto lo sviluppo di un modello grazie alla possibilità di simulare diversi blocchi separatamente.

Simulink, nello specifico, è un ambiente di diagrammi a blocchi per la simulazione multidominio e la progettazione basata su modelli. Supporta la progettazione a livello di sistema, la simulazione, la generazione automatica di codice, il test continuo e la verifica di sistemi embedded. In più fornisce un editor grafico, librerie di blocchi personalizzabili e soluzioni per la modellazione e la simulazione di sistemi dinamici. È integrato con MATLAB®, che consente di incorporare gli algoritmi nei modelli e di esportare i risultati delle simulazioni in MATLAB per ulteriori analisi. [23]

## 5.2 Ipotesi del modello dinamico

Per quanto riguarda la parte elettrica il modello implementato in ambiente Matlab/Simulink si presta a rappresentare le principali grandezze elettriche delle linee in MT e BT in cavo, adottando lo schema equivalente di seguito riportato:

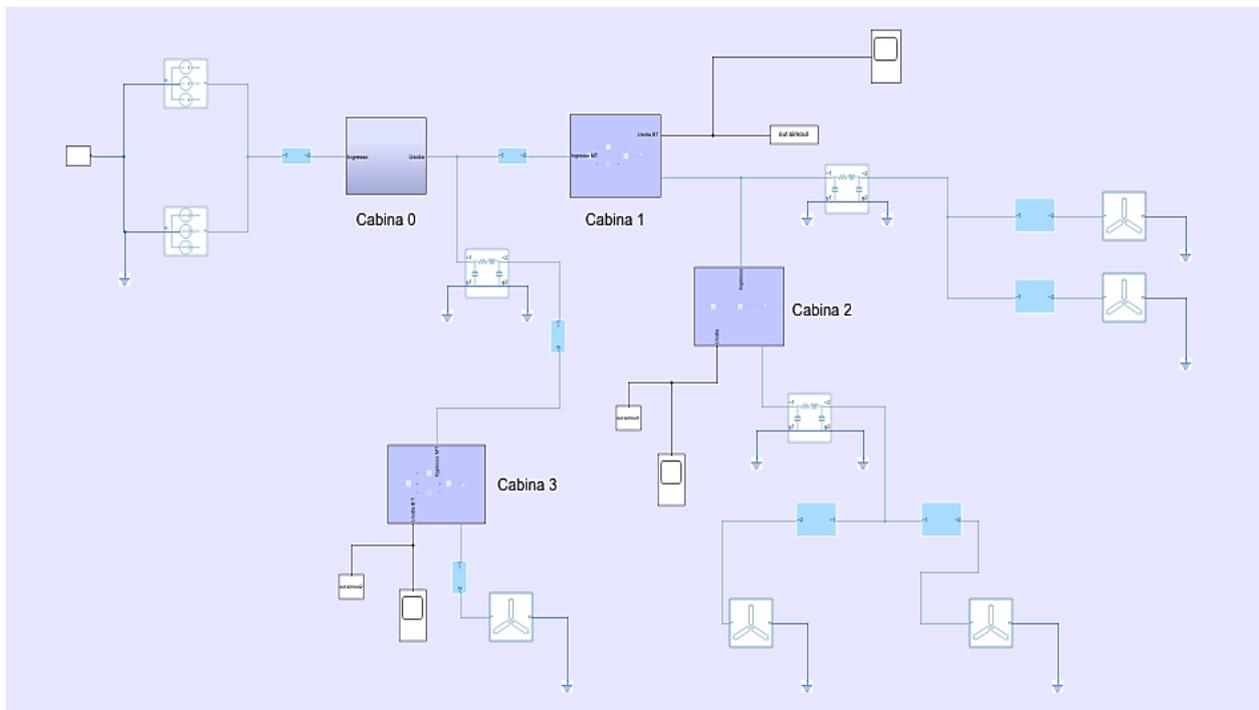


Figura 31: Modello rete elettrica

Prestando attenzione alla parte di Media Tensione ovvero il modello Cabina 0, l'ingresso è collegato direttamente alla rete elettrica, la quale è stata modellizzata come una sorgente di tensione sinusoidale trifase alternata in grado di mantenere la tensione ideale tra i suoi terminali di uscita.

Come frequenza è stato considerato il valore pari a 50 Hz, mentre la tensione in uscita è di 22kV.

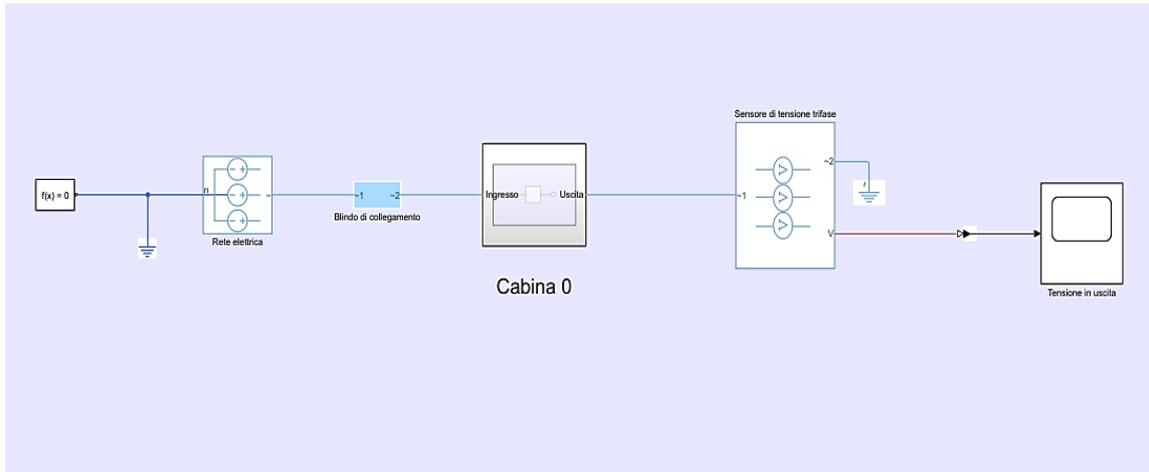


Figura 32: Modello Cabina 0

Il blocco Cabina 0 è stato idealizzato con un carico trifase RL che modella le caratteristiche resistive e induttive di una linea trifase.

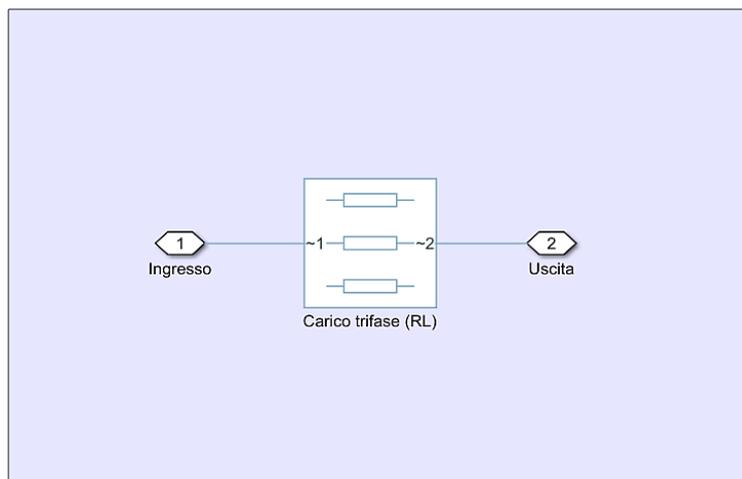


Fig. 36: Blocco Cabina 0

Passando alla Cabina 1 è stato aggiunto un blocco chiamato “Linea di trasmissione trifase” che tiene conto delle perdite dovute a resistenze e capacità parassite.

In seconda battuta si è provveduto a collegare i carichi che modellizzano la potenza assorbita dai blindo collegati agli uffici e all’officina.

Il Blindo officina è stato a sua volta ripartito in 12 blocchi, uno per ogni blindo presente in officina. Per definire i carichi sono stati scelti blocchi Simulink chiamati “Carico collegato a stella”, in quanto erano quelli che si prestavano maggiormente all’analisi.

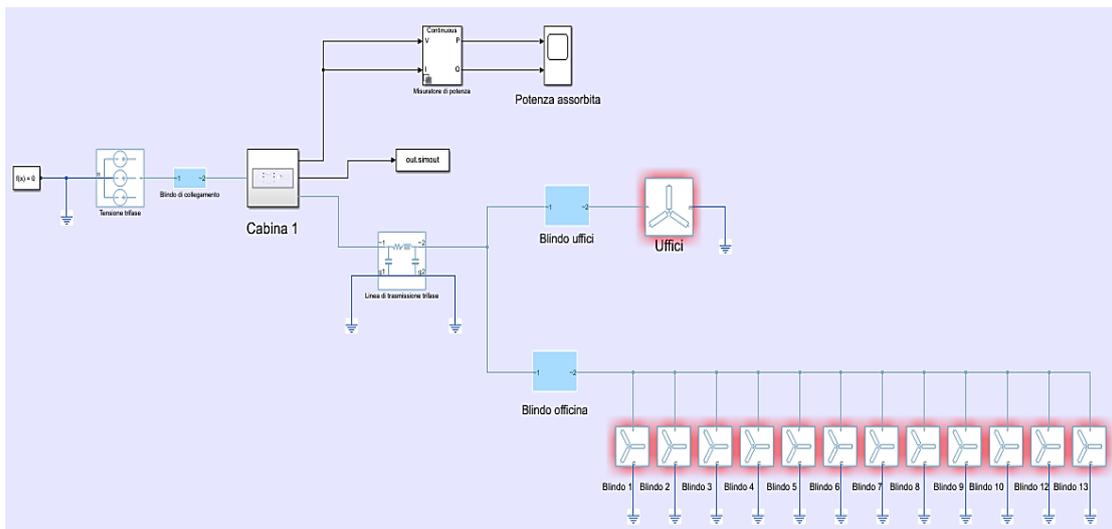


Figura 33: Modello Cabina 1

Entrando nel blocco cabina, la differenza importante è la presenza di due trasformatori (di cui solo uno in uso) che portano la tensione da valori di media (22kV) a valori di bassa (400V).

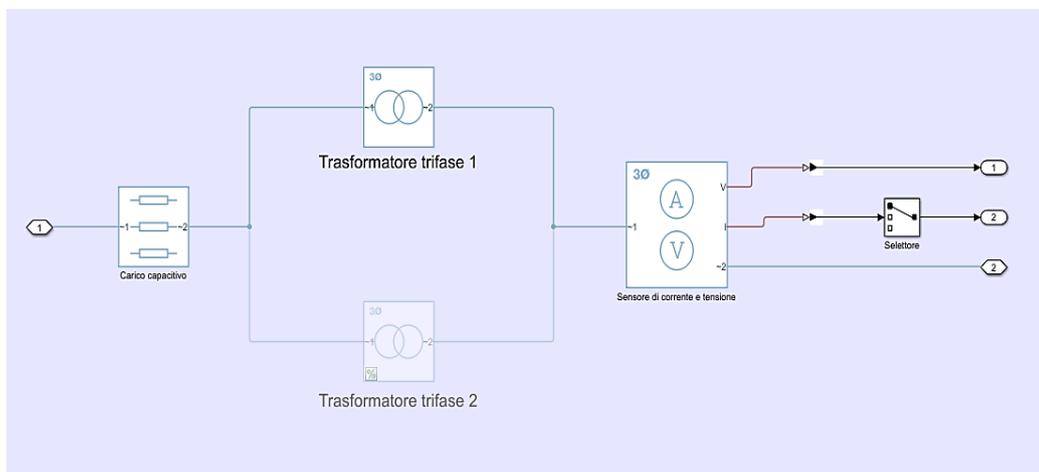


Figura 34: Blocco Cabina 1

Per quanto riguarda invece la Cabina 2, i carichi collegati sono quelli relativi al locale compressori e agli ausiliari. Il modello è analogo a quello della Cabina 1, con la differenza che qui sono presenti più perdite in quanto la parte di MT della Cabina 1 è stata migliorata di recente.

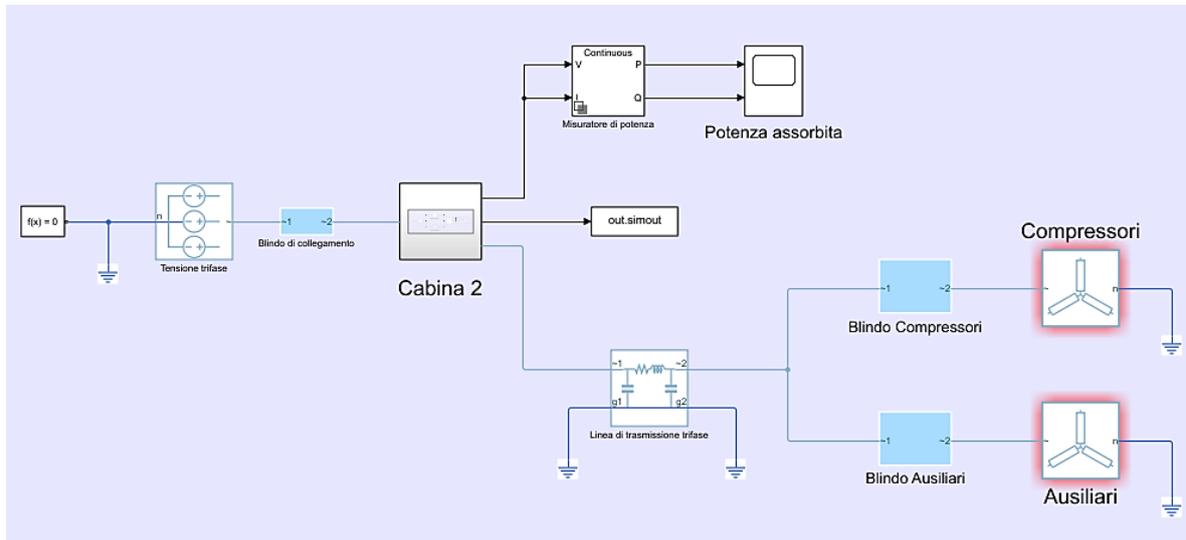


Figura 35: Modello Cabina 2

Infine, rivolgendo l'attenzione alla Cabina 3, si può osservare come l'unico carico che assorbe potenza è quello del locale denominato "ex STT". Questa cabina ha un trasformatore in più (ma solo uno attivo) e presenta meno perdite elettriche rispetto alle altre, perché è la più nuova.

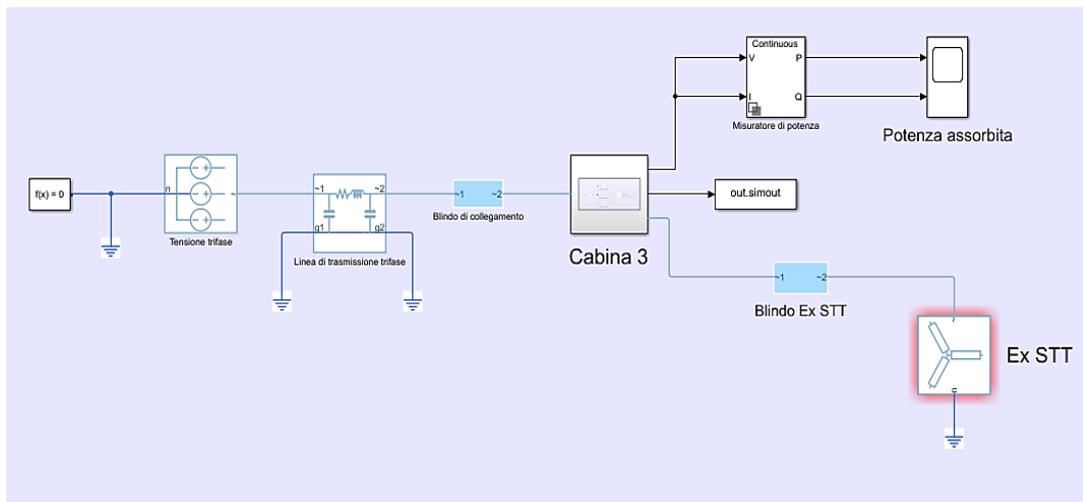


Figura 36: Modello Cabina 3

Lo studio del sottosistema elettrico viene condotto considerando esclusivamente la Cabina 1, la più rilevante ai fini energetici, e nell'ipotesi di sistema in regime permanente, simmetrico nelle tensioni, con linee identiche nelle tre fasi in presenza di soli carichi equilibrati.

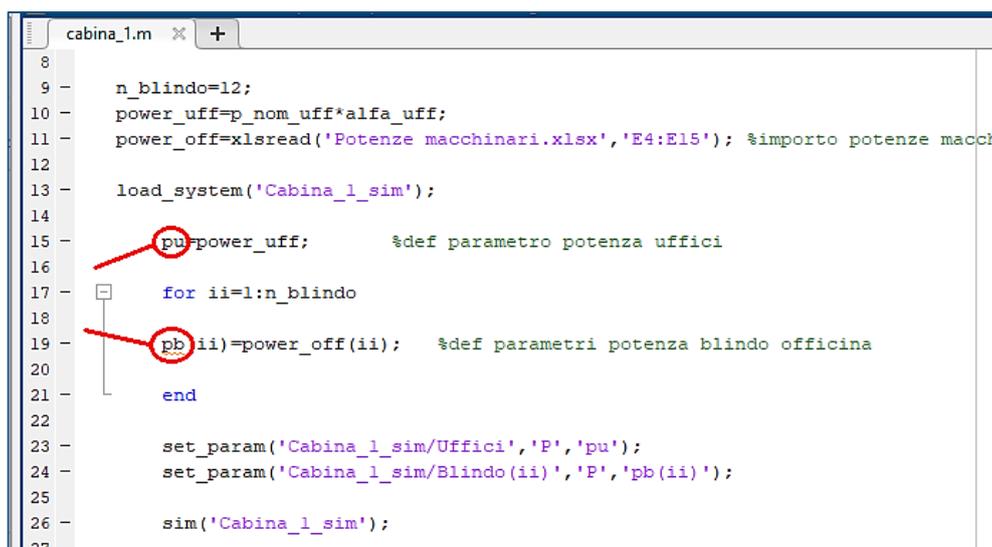
Inoltre, si ipotizzano i carichi elettrici rifasati con un fattore di potenza medio pari a 0,9.

Il modello implementato effettua ad ogni passo di simulazione un'analisi dei flussi di potenza (Load flow analysis) della rete, una volta note le richieste di carico (fornite dal relativo modello), in modo da risalire all'assorbimento totale di potenza.

### 5.3 Struttura e parametri del modello

Nel dettaglio del sottosistema elettrico Cabina 1, una volta definito lo schema della rete, l'utente, tramite l'utilizzo di Matlab inserisce i parametri elettrici della linea.

In particolare il modello riceve in input i valori di potenza assorbita dagli uffici e dai vari blindo dell'officina collegati ai macchinari e restituisce in output il profilo di consumo.



```
cabina_1.m x +
8
9 - n_blando=12;
10 - power_uff=p_nom_uff*alfa_uff;
11 - power_off=xlsread('Potenze macchinari.xlsx','E4:E15'); %importo potenze macch
12
13 - load_system('Cabina_1_sim');
14
15 - pu=power_uff; %def parametro potenza uffici
16
17 - for ii=1:n_blando
18
19 - pb(ii)=power_off(ii); %def parametri potenza blindo officina
20
21 - end
22
23 - set_param('Cabina_1_sim/Uffici','P','pu');
24 - set_param('Cabina_1_sim/Blindo(ii)','P','pb(ii)');
25
26 - sim('Cabina_1_sim');
27
```

Figura 37: Definizione dei parametri su Matlab

Una volta definiti i parametri di potenza su Matlab, questi vengono integrati nel modello Simulink, dove avverrà la simulazione.

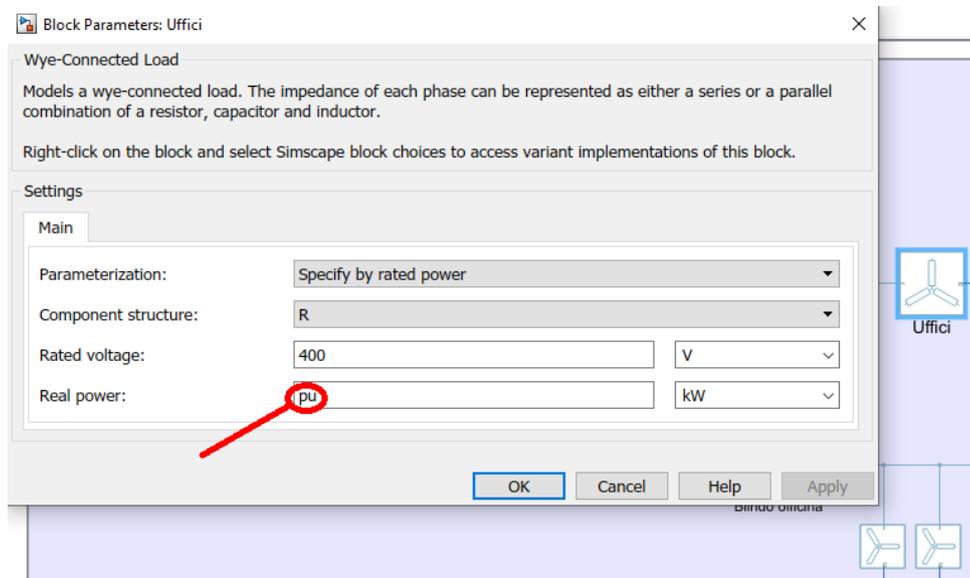


Figura 38: Implementazione dei parametri su Simulink

Definiti i vari blocchi, all'avvio della simulazione, il sottosistema di utenza fornisce al blocco loadflow gli input necessari al calcolo.

In questo caso specifico i dati in ingresso sono:

- *Potenza uffici*

La potenza degli uffici è calcolata a partire dal valore nominale, pari a 35kW, e considerando un coefficiente correttivo  $\alpha$  che tiene conto dell'effettivo consumo durante la settimana lavorativa.

$$P_{uff} = P_{nom} \times \alpha = 28 \text{ kW} \quad (\text{Per i giorni lavorativi})$$

$$P_{uff} = P_{nom} \times (1 - \alpha) = 7 \text{ kW} \quad (\text{Per i weekend})$$

- *Potenza blindo officina*

Nel caso dell'officina i dati di partenza sono le potenze nominali di ciascun blindo, consultabili in Appendice A e riportati in Tabella 37.

| <b>BLINDO OFFICINA</b> | <b>POTENZA NOMINALE (kW)</b> |
|------------------------|------------------------------|
| 1                      | 355,8                        |
| 2                      | 739                          |
| 3                      | 383,8                        |
| 4                      | 515                          |
| 5                      | 219                          |
| 6                      | 1190                         |
| 7                      | 222,3                        |
| 8                      | 261                          |
| 9                      | 107                          |
| 10                     | 31,1                         |
| 12                     | 18,5                         |
| 13                     | 477,4                        |

Tabella 37: Potenze nominali blindo officina

Per l'officina si è deciso di considerare un fattore di utilizzo ( $f_u$ ) che tenga conto del consumo effettivo dei vari blindo e quindi dei macchinari d'interesse. Questo è molto importante per avere una gestione intelligente delle attività in officina, realizzando un controllo continuo dei profili di consumo ed evitando il più possibile sprechi di energia.

## 5.4 Scenari del modello

Vista l'impossibilità di spegnere i macchinari durante la settimana per una misurazione diretta dei consumi, si è deciso di proseguire valutando due diversi scenari:

- Nel primo scenario, relativo ai giorni lavorativi, si ipotizza inizialmente un fattore di utilizzo complessivo dell'officina e si ricavano i valori di potenza dei blindo da implementare nel modello;
- Nel secondo scenario, che modella il fine settimana, si calcolano, con misurazioni dirette, gli effettivi fattori di utilizzo.

Per rendere più dettagliata l'analisi si è aggiornato il modello base aggiungendo informazioni riguardanti le ore settimanali e il numero di occupanti in modo da poter distinguere i due scenari.

Per fare questo sono stati implementati i carichi elettrici in due diversi "lookup table" di Simulink; il primo riproduce il profilo durante la settimana, il secondo invece il profilo di consumo tipico del weekend, coincidente con il "base load" del sito ad affollamento pressoché nullo e con i macchinari al minimo di potenza. Il carico elettrico è convertito al "base load" quando il profilo di occupazione del sito definito dall'utente si azzerava.

Il modello esposto è riprodotto in Figura 39.

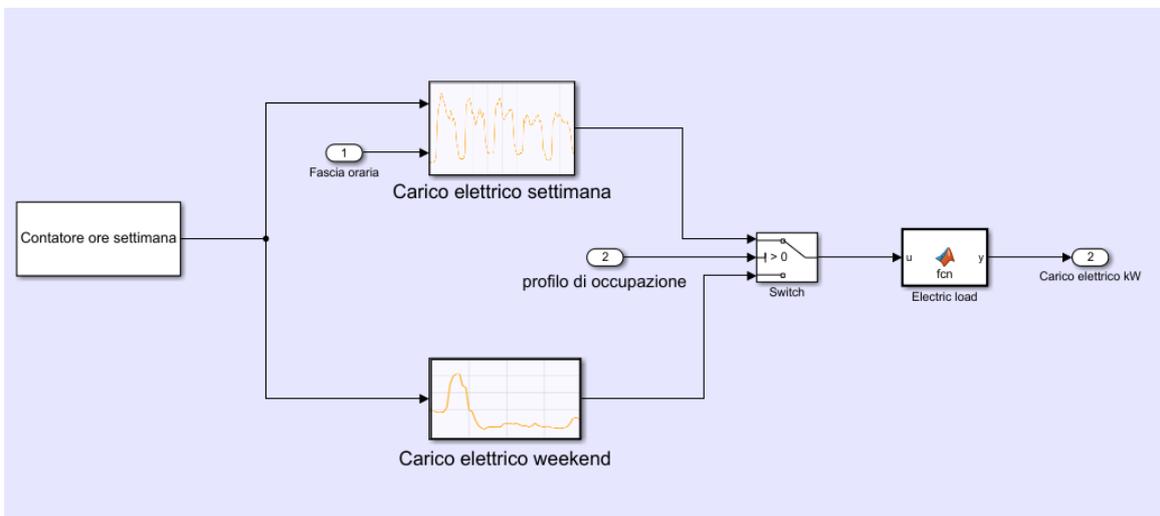


Figura 39: Scenari del modello

All'interno del blocco che fa riferimento al carico elettrico settimanale è stata realizzata un'ulteriore suddivisione in consumi diurni e consumi notturni, vista la consistente differenza tra questi due periodi dal punto di vista energetico. L'input di fascia oraria è fissato nel seguente modo:

- 06:00 - 22:00 per il carico diurno;
- 22:00 - 06:00 per il carico notturno.

Il sottosistema è riportato in Figura 40:

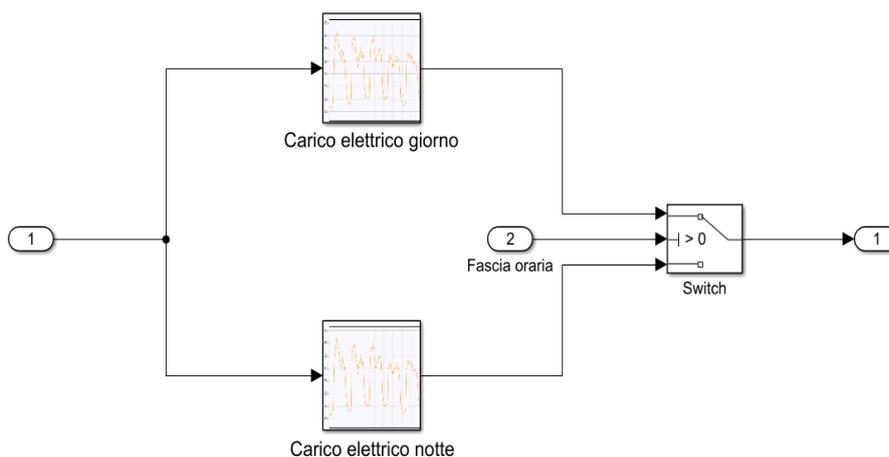


Figura 40: Sottoscenari di consumo

Si prosegue dunque con lo studio degli scenari.

### 5.4.1 Scenario giorni lavorativi

Nel primo scenario, quello che descrive i consumi nei giorni lavorativi, si sono fatte alcune ipotesi.

#### *Consumi diurni*

Considerando come giorni quelli che vanno da Lunedì 24 a Venerdì 28 Febbraio, da alcune tabelle contenenti gli storici di consumo, si estrapola un valore di potenza massima settimanale pari a: 350,25 kW

Sottraendo a questo valore il consumo settimanale dei soli uffici si ottiene il valore di potenza massima richiesta dall'officina.

$$P_M = 322,25 \text{ kW}$$

Nel caso di un insieme di carichi la potenza nominale  $P_N$  corrisponde alla potenza totale installata, cioè la somma delle potenze nominali. Questo valore è pari a 4519,9 W.

A questo punto il fattore di utilizzo si calcola con la seguente formula:

$$f_u = \frac{P_M}{P_N}$$

Il valore è uguale a 0,071 (7,1%).

Una volta ricavato il fattore di utilizzo complessivo per i blindo dell'officina, e avendo a disposizione le potenze nominali, è possibile calcolare i valori di potenza massima specifici per ogni blindo utilizzando la formula inversa rispetto a quella appena utilizzata:

| <b>BLINDO OFFICINA</b> | <b>POTENZA NOMINALE (kW)</b> | <b>POTENZA MASSIMA (kW)</b> |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 1                      | 355,8                        | 25,26                       |
| 2                      | 739                          | 52,47                       |
| 3                      | 383,8                        | 27,25                       |
| 4                      | 515                          | 36,57                       |
| 5                      | 219                          | 15,55                       |
| 6                      | 1190                         | 84,49                       |
| 7                      | 222,3                        | 15,78                       |
| 8                      | 261                          | 18,53                       |
| 9                      | 107                          | 7,6                         |
| 10                     | 31,1                         | 2,21                        |
| 12                     | 18,5                         | 1,31                        |
| 13                     | 477,4                        | 33,9                        |

Tabella 38: Potenze dei blindo (fascia diurna)

Questi valori di potenza massima saranno inseriti nei corrispettivi blocchi del modello e, insieme ai dati sulle ore settimanali, il numero di occupanti e la fascia oraria corrispondente, completeranno la simulazione.

## Consumi notturni

Ripetendo le operazioni precedenti per il caso dei profili di consumo notturni, si ottiene:

$$P_{\text{Max}} = 242,39 \text{ kW}$$

$$P_{\text{M}} = 214,39 \text{ kW}$$

$$f_u = 0,047 \text{ (4,7\%)}$$

| POTENZA MASSIMA (kW) |
|----------------------|
| 16,72                |
| 34,73                |
| 18,04                |
| 24,21                |
| 10,29                |
| 55,93                |
| 10,45                |
| 12,27                |
| 5,03                 |
| 1,46                 |
| 0,87                 |
| 22,44                |

Tabella 39: Potenze dei blindo (fascia notturna)

I risultati delle due simulazioni sono visibili nei Grafici 20 e 21, che rappresentano rispettivamente il profilo di consumo diurno e notturno della Cabina 1 in una settimana lavorativa.

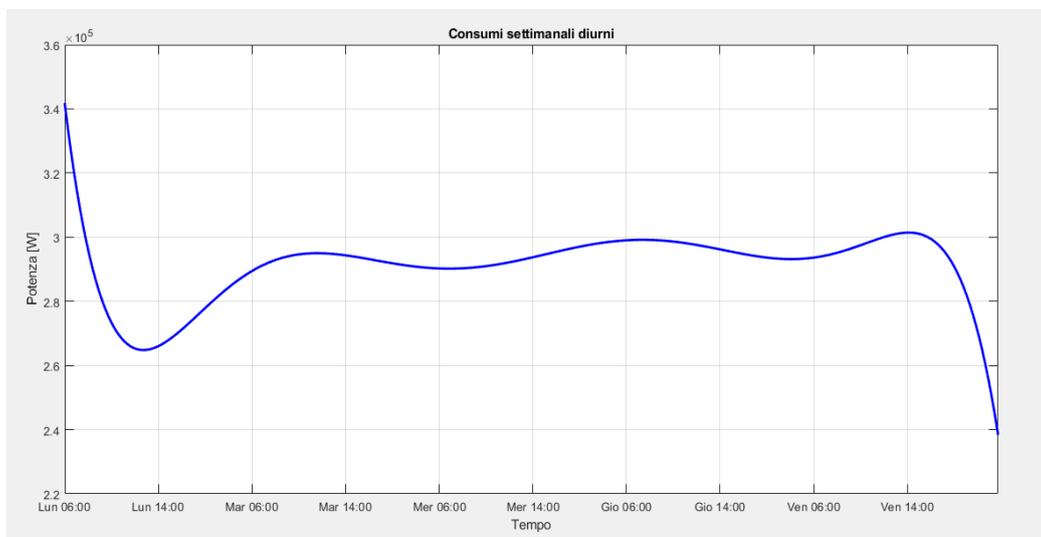


Grafico 20: Consumi settimanali diurni

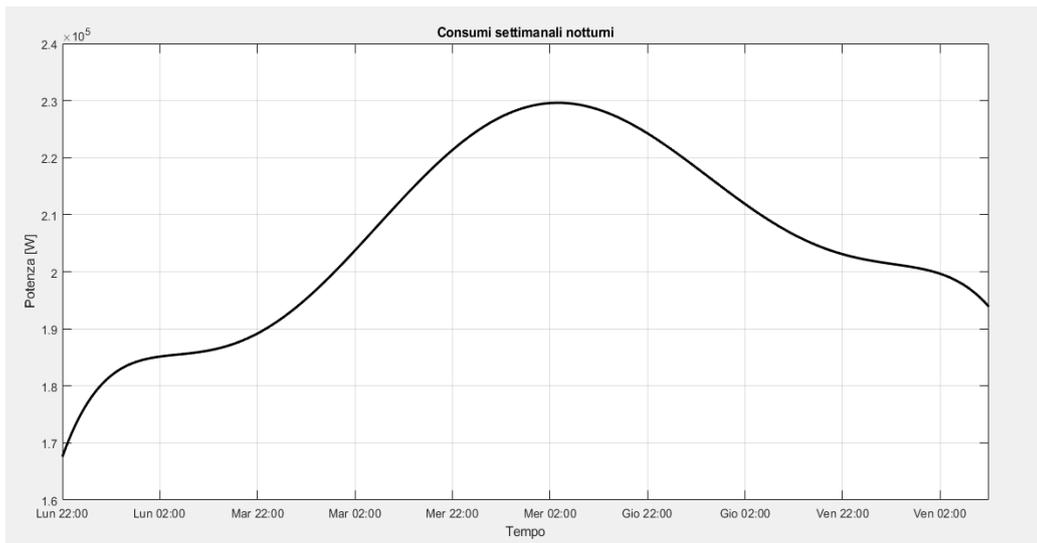


Grafico 21: Consumi settimanali notturni

## 5.4.2 Scenario weekend

Nel weekend è possibile svolgere un'indagine più accurata grazie alla possibilità di effettuare delle prove sperimentali.

Tali prove consistono nello spegnimento dei vari macchinari collegati ai blindo e nella successiva osservazione dei valori di potenza residua in cabina per ogni ramo.

Prima di procedere con le operazioni di spegnimento sono stati misurati i consumi in Cabina 1 relativi alla sola officina.

Dal dato misurato di 104,8 kW, togliendo il contributo degli uffici, che ammonta a circa 7kW, la potenza totale attiva risulta 97,8 kW.

Sottraendo le potenze residue misurate al consumo totale di partenza si ottiene, per ogni blindo, la potenza richiesta.

Da queste potenze, attraverso la formula vista in precedenza, si calcolano infine i fattori di utilizzo effettivi.

I risultati sono visibili in Tabella 40:

| <b>BLINDO OFFICINA</b> | <b>POTENZA NOMINALE (kW)</b> | <b>POTENZA RESIDUA (kW)</b> | <b>POTENZA BLINDO (kW)</b> | <b>f<sub>u</sub></b> |
|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------|
| 1                      | 355,8                        | 87,7                        | 10,1                       | <b>0,028</b>         |
| 2                      | 739                          | 83,45                       | 14,35                      | <b>0,019</b>         |
| 3                      | 383,8                        | 86,85                       | 10,95                      | <b>0,028</b>         |
| 4                      | 515                          | 84,5                        | 13,3                       | <b>0,025</b>         |
| 5                      | 219                          | 93,7                        | 4,1                        | <b>0,018</b>         |
| 6                      | 1190                         | 78,6                        | 19,2                       | <b>0,016</b>         |
| 7                      | 222,3                        | 93,7                        | 4,1                        | <b>0,018</b>         |
| 8                      | 261                          | 91,75                       | 6,05                       | <b>0,023</b>         |
| 9                      | 107                          | 95,1                        | 2,7                        | <b>0,025</b>         |
| 10                     | 31,1                         | 97,8                        | 0                          | <b>0</b>             |
| 12                     | 18,5                         | 97,8                        | 0                          | <b>0</b>             |
| 13                     | 477,4                        | 84,85                       | 12,95                      | <b>0,027</b>         |

Tabella 40: Fattori di utilizzo dei blindo

Con un fattore di utilizzo medio di 0,019 (1,9%).

I valori di potenza di ciascun blindo vengono implementati nel modello e, integrando con le informazioni sul profilo di occupazione e sulle ore settimanali, si ottiene come output il profilo dei consumi tipico del weekend:

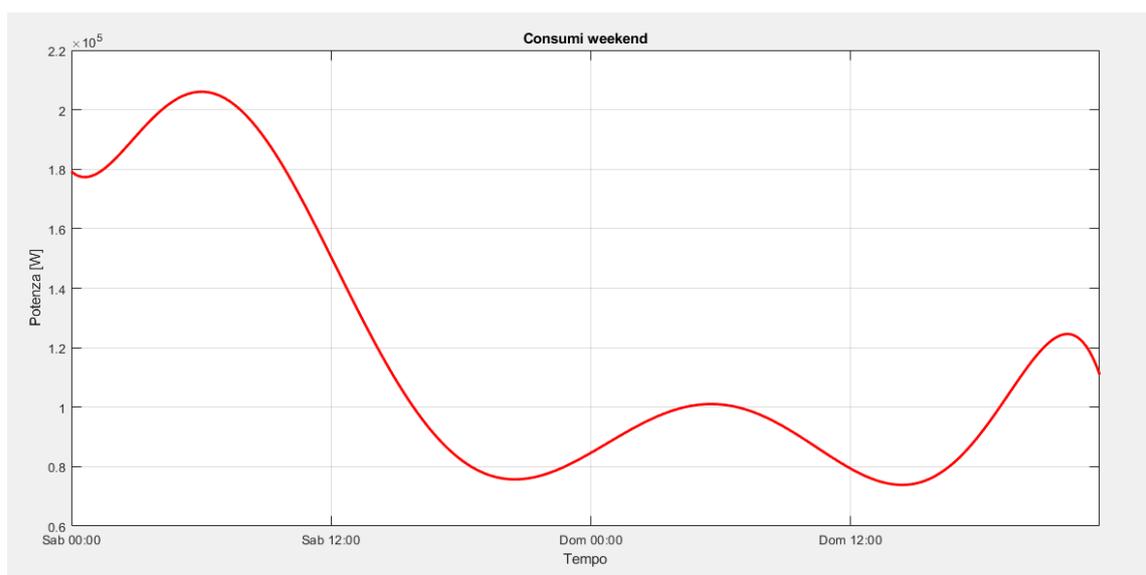


Grafico 22: Consumi weekend

## 5.5 Approfondimento degli scenari

Dopo aver descritto singolarmente i due scenari, il prossimo step è quello di metterli a confronto, in modo da avere un'idea complessiva del profilo dei carichi elettrici all'interno di una settimana.

Nel primo confronto si combinano i due scenari precedenti per ottenere un profilo completo settimanale.

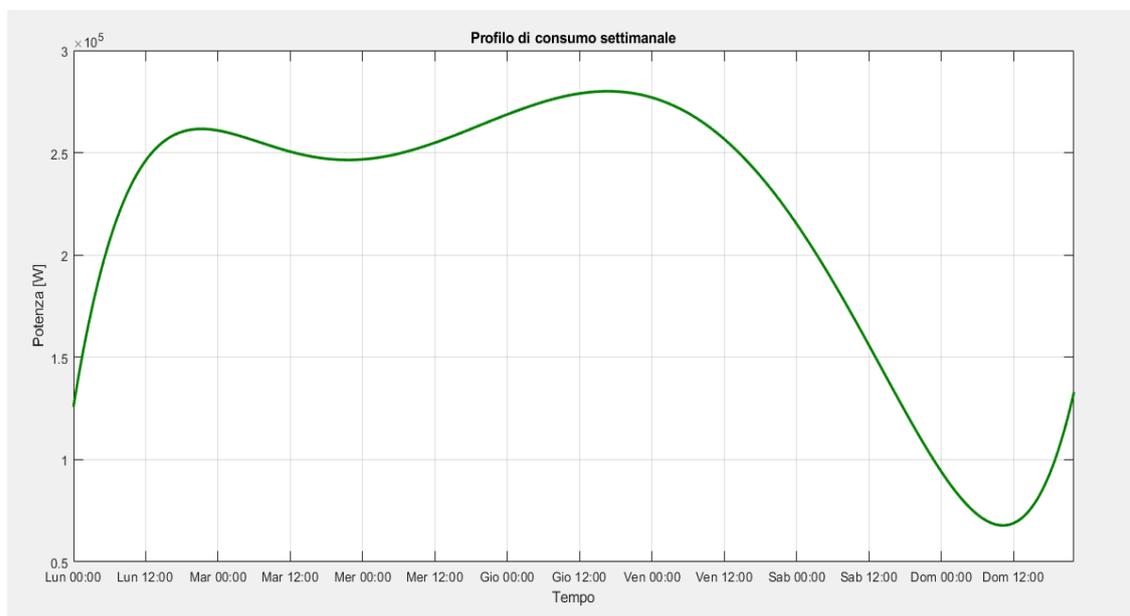


Grafico 23: Profilo di consumo settimanale

L'output delinea il trend dei consumi all'interno di una settimana tipo, evidenziando dei valori più alti nei giorni lavorativi e in particolare il Lunedì e il Giovedì e un andamento che decresce nel weekend raggiungendo il carico base.

Un ulteriore confronto è stato realizzato per i fattori di utilizzo, elaborando il loro andamento all'interno della settimana considerata.

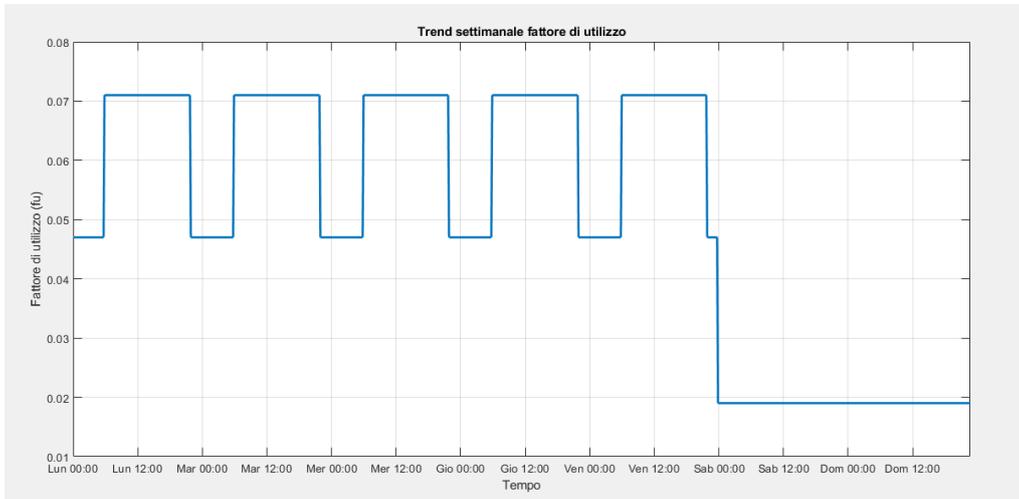


Grafico 24: Andamento settimanale fattori di utilizzo

Un discorso più dettagliato sui singoli blindo si può fare esclusivamente per lo scenario del weekend, dove le prove sperimentali hanno evidenziato quali sono i fattori di utilizzo di ciascun elemento e, di conseguenza, il contributo specifico ai consumi. Tutto questo è riportato nel Grafico 25:

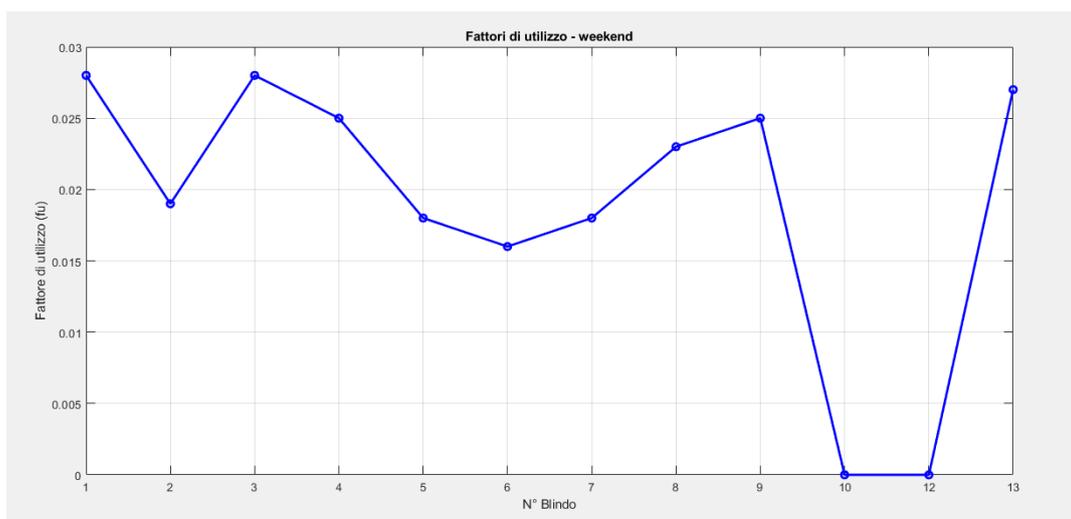


Grafico 25: Fattori di utilizzo nel weekend

## 6 Monitoraggio dei risultati

Per capire effettivamente dove poter intervenire, in un'analisi di questo tipo, è necessario passare al terzo step dell'approccio PDCA (CHECK) relativo al monitoraggio. L'organizzazione infatti deve assicurare che le caratteristiche chiave della sua operatività che determinano le prestazioni energetiche siano sorvegliate, misurate ed analizzate ad intervalli predefiniti. A questo proposito deve essere definito e implementato un piano di misurazione dell'energia, appropriato alla dimensione e alla complessità dell'organizzazione e alle sue apparecchiature di monitoraggio e misurazione. La norma ISO 50001 nella sua linea guida afferma che "le misurazioni possono spaziare dai semplici contatori per piccole organizzazioni ad un sistema completo di monitoraggio e misurazione collegato ad applicazioni software in grado di elaborare i dati e mettere a disposizione un'analisi automatica. È compito dell'organizzazione la determinazione dei mezzi e dei metodi di misurazione".

Nel caso di EthosEnergy il monitoraggio dei consumi elettrici è realizzato da un'applicazione web, descritta nel paragrafo successivo, che permette di individuare i profili di assorbimento.

Per poter monitorare questi consumi sono stati installati dei multimetri di rete in parallelo ai TV e in serie ai TA dei trasformatori, lato bassa tensione nelle tre cabine del sito industriale.

I dispositivi permettono un controllo globale dell'intero sistema elettrico con la possibilità di rilevare:

- Potenza attiva
- Potenza reattiva
- Fattore di potenza
- Armoniche

## 6.1 Caratteristiche del sistema di monitoraggio

Il sistema utilizzato per il monitoraggio è caratterizzato da un software chiamato “Energy Sentinel Web” che permette di accedere da remoto ai dati acquisiti e di compiere una successiva analisi. [24]

Il server web realizza il monitoraggio e la gestione di un impianto in cui si trovano molteplici fonti di “energia”. In pratica Energy Sentinel Web è in grado di gestire i consumi e le produzioni, stabilire il costo energetico per ogni prodotto e nel caso di consumi ritenuti non ordinari, fare ipotesi di intervento. Concludendo, questo software fornisce gli strumenti utili per svolgere analisi quantitative che permettono di ottimizzare il proprio fabbisogno energetico.

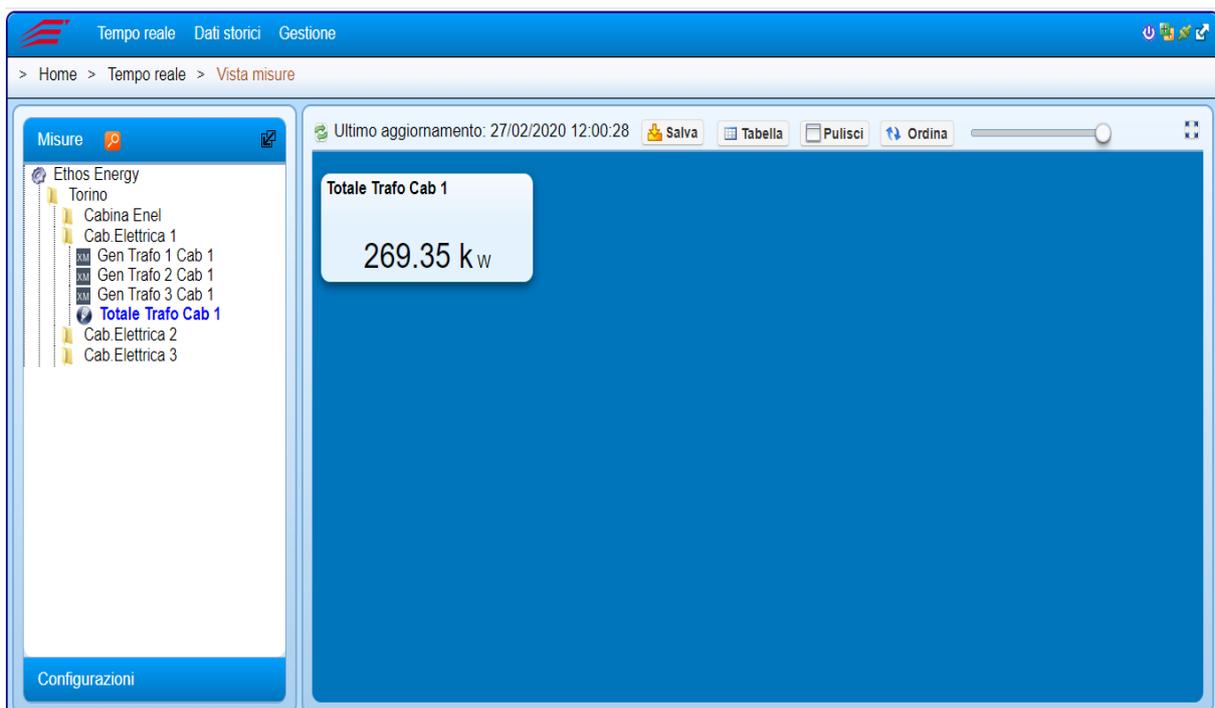


Figura 41: Schermata Energy Sentinel WEB

## 6.2 Campagna di monitoraggio

A livello fisico il monitoraggio viene effettuato grazie a dei multimetri chiamati X-Meter e a un Datalogger presente in Cabina 1, che riceve gli impulsi di energia attiva e reattiva che arrivano dal contatore dell'ente distributore.



Figura 42: Multimetro X-Meter [9]

I multimetri hanno le seguenti caratteristiche:

| Dati tecnici                 |                             |
|------------------------------|-----------------------------|
| Misure su rete 50/60 HZ      |                             |
| Tensione                     | Vac                         |
| Potenza attiva               | W                           |
| Potenza reattiva             | VAr                         |
| Potenza apparente            | VA                          |
| Potenza distorcente          | VA                          |
| Corrente equivalente trifase | A                           |
| Corrente di linea            | A                           |
| Cosφ                         |                             |
| Fattore di potenza           |                             |
| Energia attiva erogata       | Wh                          |
| Energia attiva assorbita     | Wh                          |
| Energia reattiva induttiva   | VARh                        |
| Energia reattiva capacitiva  | VARh                        |
| Frequenza                    | Hz                          |
| Precisione                   | +/- 0.25% del F.S. Val.Mis. |

| <b>Alimentazione</b>               |   |
|------------------------------------|---|
| Tensione alimentazione             | 100-250 Vac / 100-350 Vdc   |
| Frequenza                          | 50-60 Hz  |
| Consumo                            | 5 Va  |
| <b>Generali</b>                    |   |
| Ingressi tensioni N.3              | 100 o 400 Vac   |
| Ingressi correnti                  | 3 ingressi in corrente con uscita in tensione 5ARMS<br>3 ingressi in corrente specifici per sensori con uscita in tensione 1VtRMS |
| Uscite Impulsive N.2 (Att./Reatt.) |   |
| Uscite Optomos                     | 100 mA/24 Vdc   |
| Grado protezione                   | IP 20   |
| Peso                               | 400 gr  |
| Dimensioni LxHxW 9 moduli DIN      | 157,5 x 90 x 58 mm  |
| Display                            | Grafico   |
| Temperatura di esercizio           | -10°C + 55°C  |
| Umidità relativa                   | 95% senza condensa  |

Tabella 41: Caratteristiche X-Meter

In Tabella 42 invece le proprietà dei Datalogger:

| <b>Alimentazione</b>          |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Tensione alimentazione        | 100-250 Vac        |
| Frequenza                     | 50-60 Hz           |
| Consumo                       | 5 Va               |
| <b>Generali</b>               |                    |
| Ingressi digitali N.8         | 100 o 400 Vac      |
| Frequenza ingressi digitali   | 10 Hz Max.         |
| Uscite Optomos N.4            | 100 mA/24 Vdc      |
| Grado protezione              | IP 20              |
| Peso                          | 400 gr             |
| Dimensioni LxHxW 9 moduli DIN | 157,5 x 90 x 58 mm |
| Display                       | Grafico            |
| Temperatura di esercizio      | -10°C + 55°C       |
| Umidità relativa              | 95% senza condensa |

Tabella 42: Caratteristiche Datalogger

Questo sistema di monitoraggio esegue un controllo dei consumi di energia elettrica in tempo reale, offrendo la possibilità di fare confronti tra diversi periodi o di selezionare una specifica cabina del sito per un'analisi più dettagliata.

Energy Sentinel Web consente quindi di migliorare il rendimento energetico portando benefici nel breve periodo, massimizzando l'utilizzo delle fonti di energia disponibili e delle attività ad esse collegate.

### 6.3 Validazione del modello

Una volta introdotto il sistema di monitoraggio l'obiettivo è quello di sfruttare questo strumento per validare il modello e i coefficienti di utilizzo ricavati da esso. Si compie dunque un confronto per ogni scenario, osservando le sostanziali differenze numeriche e interpretando le evidenze ricavate dai grafici.

Per lo scenario lavorativo il Grafico 26 illustra il confronto tra modello e monitoraggio relativo ai consumi diurni:

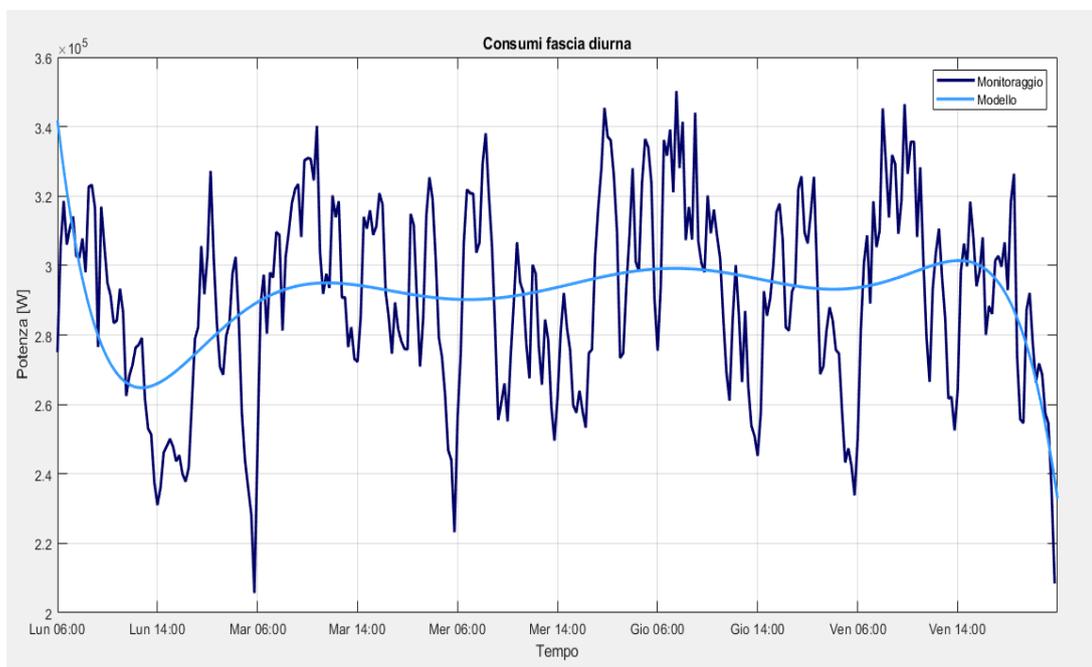


Grafico 26: Confronto fascia diurna

Sovrapponendo le curve di modello e monitoraggio si nota che quella del modello tende a sottostimare leggermente i picchi dei consumi e provando a quantificare questa differenza si trova il nuovo valore di potenza massima richiesta:

$$P_M = 347,25 \text{ kW}$$

E il fattore di utilizzo aggiornato:  $f_u = 0,077$  (7,7%)

A seguire la previsione dei consumi notturni confrontata con quelli effettivamente misurati. Questo studio permetterà di aggiornare il fattore di utilizzo della notte.

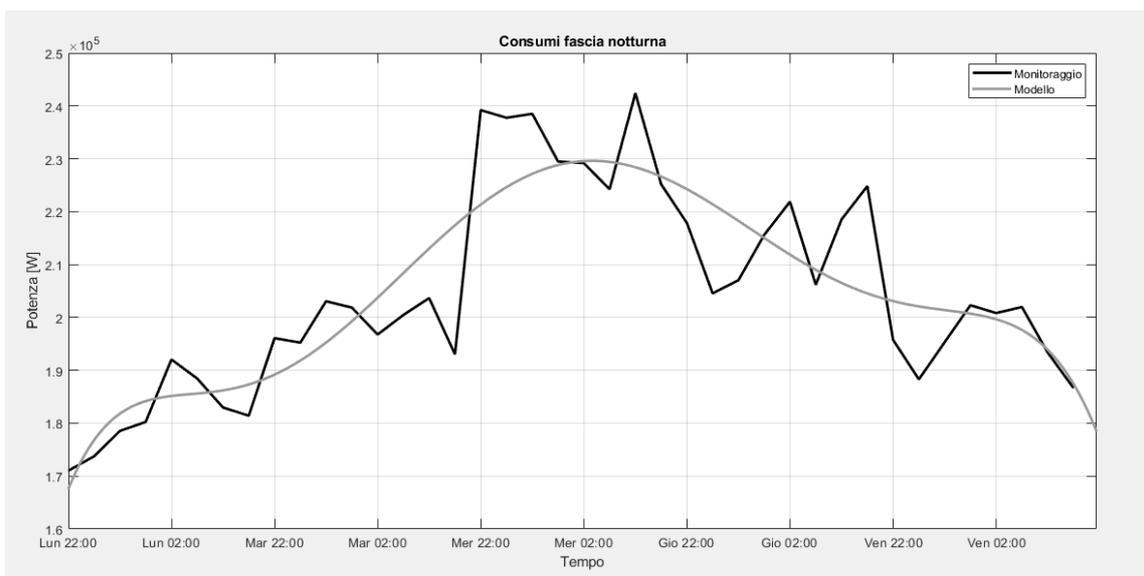


Grafico 27: Confronto fascia notturna

Utilizzando la stessa procedura di riadattamento vista prima si considerano le differenze pesate tra i valori delle due curve, visibili soprattutto nella parte centrale della settimana, e si ottiene un fattore di utilizzo  $f_u=0,054$  (5,4%).

Infine l'ultimo raffronto sui consumi del weekend:

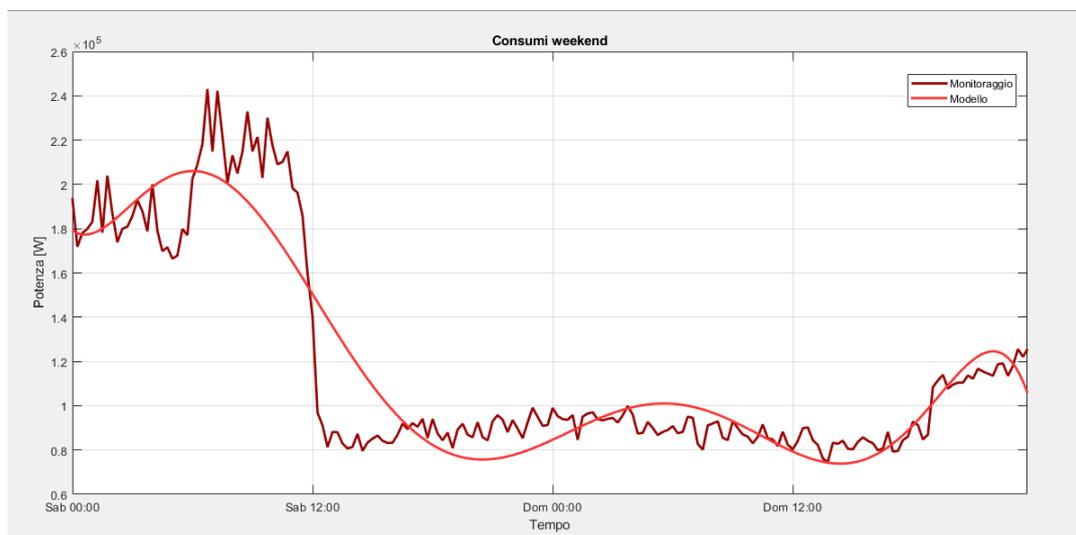


Grafico 28: Confronto weekend

Quest'ultima analisi di confronto fa vedere un andamento del modello che segue indicativamente quelle che sono le variazioni dei consumi nel weekend, ma sottovaluta il picco del sabato. Per questo motivo la validazione del modello ci restituisce un nuovo valore per il fattore di utilizzo che risulta del 2,6%.

## 6.4 Possibili aree di intervento

Dando un'occhiata agli aspetti evidenziati dall'analisi energetica e ai successivi risultati del modello, validati dal monitoraggio, si possono fare due conclusioni generali:

- Analizzando l'impianto elettrico, i consumi relativi al sistema di illuminazione sono troppo elevati e dovuti ad apparecchi ormai vecchi ed obsoleti;
- Sulla base del modello i risultati messi in luce per la Cabina 1 evidenziano consumi elevati, soprattutto per quanto riguarda il periodo diurno a causa delle numerose operazioni che avvengono nello stabilimento. Per questo motivo si deve pensare di intervenire con una soluzione che possa soddisfare questa alta richiesta, cercando di ridurre la spesa in bolletta.

## **7 Azioni di miglioramento**

Passando all'ultimo punto dell'approccio PDCA (ACT), la ISO 50001 raccomanda ad un'organizzazione di "affrontare le non conformità attuali e potenziali applicando correzioni ed intraprendendo idonee azioni correttive e preventive", tra le quali cita:

- Determinare le cause delle non conformità attuali o potenziali;
- Valutare la necessità di azione al fine di assicurarsi che le non conformità non si realizzino o non si ripetano;
- Determinare ed implementare le necessarie ed appropriate azioni.

Seguendo queste direttive, una volta determinate le aree di intervento, si procede con la descrizione dei miglioramenti proposti e a una valutazione dei risparmi ottenibili.

Le soluzioni individuate sono due:

- Intervento sulla gestione dell'impianto di illuminazione;
- Installazione di un impianto fotovoltaico.

### **7.1 Intervento sulla gestione dell'impianto d'illuminazione**

In officina è presente un impianto d'illuminazione vecchio, composto da lampade a vapori di sodio con una potenza nominale di 400 W e un consumo reale misurato di 460 W.

Queste lampade, a causa della loro scarsa resa cromatica, non sono adatte per le lavorazioni meccaniche ad alta precisione effettuate nell'officina.

Con l'obiettivo di ridurre il consumo energetico, incrementare la resa dei colori e ridurre i costi di manutenzione, queste lampade sono state rimpiazzate con dei dispositivi a LED interconnessi.

Il sistema proposto è caratterizzato da:

- 3 portali che permettono il controllo dei dispositivi fino a un numero di 300 elementi;
- 6 sensori di luminosità;
- 250 dispositivi a LED;
- 44 posizioni libere.

Questo sistema è rappresentato nelle Figure 43 e 44.



Figura 43: Dispositivi LED interconnessi

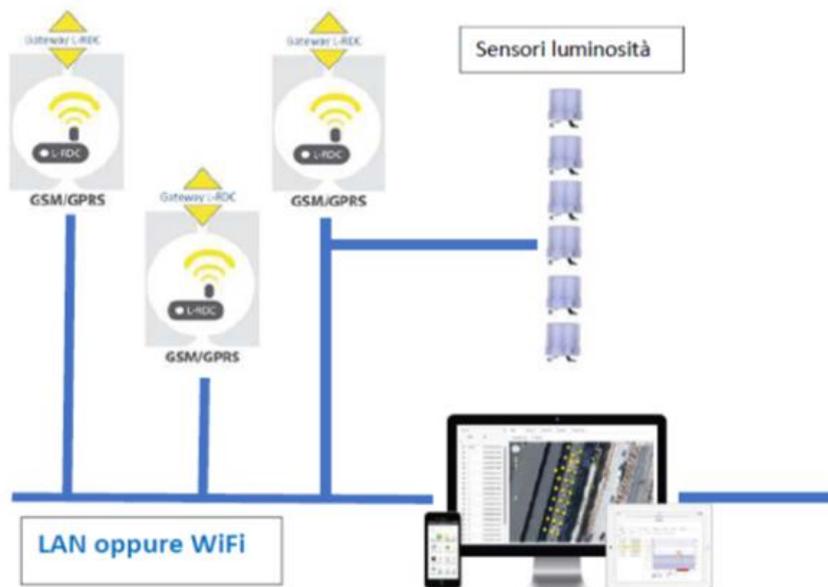


Figura 44: Sistema di controllo dei LED

Il controllo avviene in maniera smart: è realizzato da remoto mediante smartphone con la possibilità di regolare l'intensità d'illuminazione da 0 a 100 e monitorare costantemente sia i consumi che i risparmi energetici e ambientali.

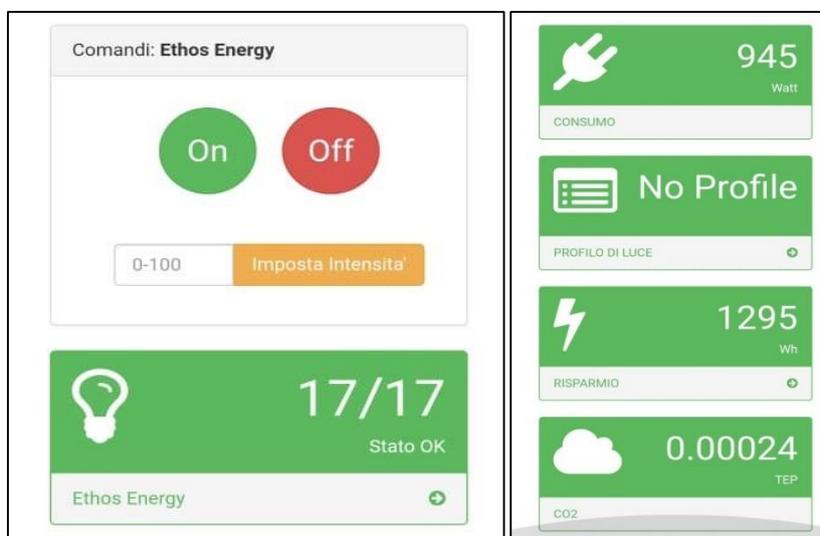


Figura 45: Monitoraggio LED

I vecchi componenti da rimpiazzare sono riportati nella Figura 46:



Figura 46: Campata con lampade a vapori di sodio

I nuovi dispositivi installati sono raffigurati nelle foto scattate in officina e riportate in Figura 47.

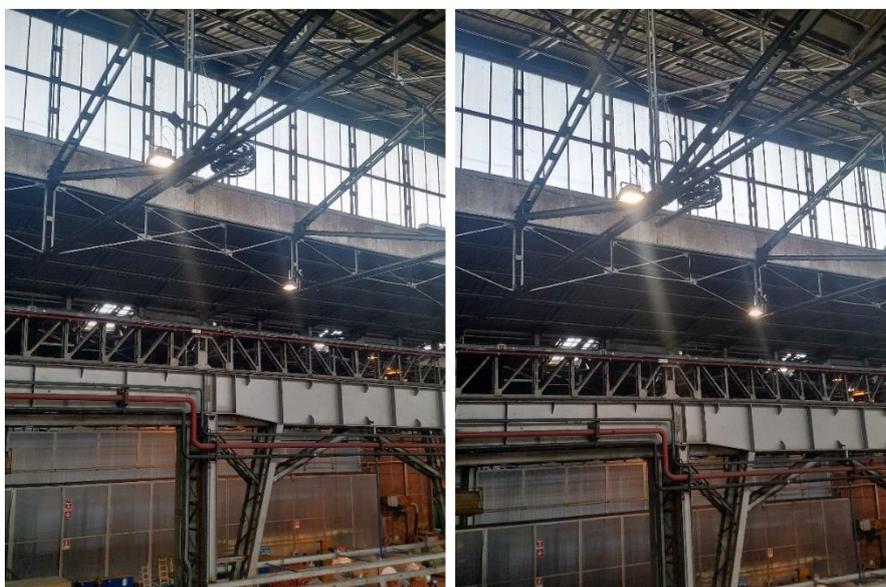


Figura 47: LED a potenza intermedia / potenza massima

|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| <b>Tipologia</b>             | <b>GL-HBdsn_s48</b> |
| <b>Temperatura di colore</b> | <b>5700 K</b>       |
| <b>Ottica</b>                | <b>Nativa 120°</b>  |
| <b>Flusso nominale</b>       | <b>22.342 lm</b>    |
| <b>Potenza nominale</b>      | <b>173 W</b>        |

Tabella 43: Caratteristiche tecniche LED

Il prodotto GL-HB può essere customizzato in base alle esigenze del cliente grazie all'uso di ottiche dedicate, dimensionamento ad hoc del numero di Led e delle correnti di alimentazione.



Figura 48: Dispositivi a LED

### 7.1.1 Analisi dei risparmi

Dopo aver descritto nel dettaglio la soluzione proposta come intervento nella gestione dell'impianto di illuminazione ci si occupa adesso della valutazione dell'investimento dal punto di vista economico e ambientale.

La prima indagine mette a confronto i consumi delle vecchie lampade a vapori di sodio con quelli dei dispositivi a LED installati.

Le ipotesi fatte per i consumi sono:

- Ore operative: 12 ore al giorno;
- Giorni operativi: 313 giorni all'anno

| Tipologia        | Lampada a vapori di sodio | LED             |
|------------------|---------------------------|-----------------|
| Unità            | 250                       | 250             |
| Potenza nominale | 400 W                     | 173 W           |
| Potenza reale    | 460 W                     | 173 W           |
| Consumo totale   | 115 kW                    | 43,3 kW         |
|                  | 1380 kWh/giorno           | 519 kWh/giorno  |
|                  | 431940 kWh/anno           | 162447 kWh/anno |

Tabella 44: Confronto consumi lampade-LED

Dal punto di vista dei consumi si ottiene un risparmio di circa 270 MWh annui.

Analizzando invece la parte economica, considerando un costo dell'energia elettrica pari a 0,17 €/kWh, si ottengono i seguenti valori di costo

| Tipologia        | Lampada a vapori di sodio | LED               |
|------------------|---------------------------|-------------------|
| Costi energetici | 73429,80 (€/anno)         | 27615,99 (€/anno) |

Tabella 45: Confronto economico lampade-LED

Si ricava in questo modo un guadagno pari a 45813,81 euro all'anno, ovvero un risparmio del 62,4%.

Un parametro importante in un'analisi economica è quello che viene definito "Pay Back Time" (PBT), ovvero il tempo necessario per recuperare i fondi spesi in un investimento.

Nel caso studio la spesa iniziale dovuta al sistema d'illuminazione e alla progettazione ammonta a 97000 €.

Considerando il guadagno calcolato in precedenza e aggiungendo quello derivante dai costi di manutenzione coperti dalla garanzia, si ottiene un risparmio complessivo di 54313,81 €.

Il Pay Back Time è calcolato nel seguente modo:

$$\text{PBT} = \frac{\text{Investimento iniziale}}{\text{Guadagno ottenuto}} = 1,8$$

Questo valore conferma la qualità dell'investimento.

La durata della lampada è infatti di 15,97 anni, quella dopo l'ammortamento risulta essere di 14,19 anni.

Per quanto riguarda infine il risparmio totale annuo di CO<sub>2</sub>, questo è stato calcolato a partire dai kWh annui risparmiati, moltiplicando questo valore per la quantità di CO<sub>2</sub> emessa al kilowattora:

$$\text{Risparmio CO}_2 = 269493 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} \times 0,6 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kWh}} = 161696 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{anno}}$$

## 7.2 Installazione di un impianto fotovoltaico

Al giorno d'oggi sempre più aziende decidono di investire nella produzione di energia elettrica dal sole attraverso un impianto fotovoltaico. L'energia solare è infatti una scelta sicura e vantaggiosa, sotto diversi punti di vista, per le attività.

Installare i pannelli fotovoltaici per un'azienda vuol dire ridurre, se non eliminare del tutto, i consumi di energia elettrica, che per la maggior parte delle imprese italiane rappresenta una voce importante del bilancio aziendale.

Grazie al fotovoltaico, poi, è indirettamente possibile migliorare l'immagine aziendale: trasformando l'energia solare in energia elettrica senza l'uso di combustibile si abbate notevolmente la produzione di anidride carbonica, un passo importante verso la sostenibilità e il rispetto delle tematiche ambientali.

L'installazione di un impianto fotovoltaico può anche essere un buon motivo per riqualificare aree dismesse delle aziende o dare nuova vita a tetti che necessitano di manutenzione, quindi con un unico investimento è possibile produrre energia elettrica e abbellire edifici e aree aziendali.

I componenti che costituiscono un impianto fotovoltaico connesso alla rete sono:

- Il campo o generatore fotovoltaico che intercetta la luce del sole e genera energia elettrica;
- Un quadro elettrico di campo e di manovra che permette di effettuare le eventuali connessioni di parallelo delle stringhe e in cui alloggiato i dispositivi di sezionamento e protezione del campo fotovoltaico e dell'inverter a valle;
- Un inverter che trasforma l'energia elettrica generata dal campo fotovoltaico (corrente DC o corrente continua) in corrente alternata (corrente AC) pronta all'uso;
- Un quadro elettrico di interfaccia con i comandi e i sistemi di protezione relativi alla rete locale;
- Un contatore di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, ovvero un contatore bidirezionale che misura la quantità di energia elettrica ceduta dall'impianto fotovoltaico alla rete locale e la quantità prelevata e consumata dalla rete locale;
- I cavi di connessione tra il campo, l'inverter e i quadri elettrici. [25]

Un aspetto sicuramente da non sottovalutare è la valutazione economica dell'investimento che comprende la spesa relativa all'acquisto dei componenti (moduli e inverter), le spese di progettazione e manodopera, e la quantificazione dei ricavi nel corso degli anni (contributo in conto scambio, vendita dell'energia, risparmio in bolletta) sino al fine vita dell'impianto.

Per rendere al massimo della sua efficienza, un impianto fotovoltaico deve essere opportunamente posizionato.

Solitamente, la presenza di un tetto a falde rappresenta la scelta ideale per la sua installazione. In questa ipotesi i pannelli vengono posizionati parallelamente alla copertura, sfruttandone l'inclinazione.

Nel caso analizzato le falde a disposizione sono sei, e sono posizionate sul tetto del Fabbricato A (magazzino e officina).

Il tetto è fatto di cemento armato sul quale sono disposti il manto, la coibentazione e la guaina.



Figura 49: Tetto del Fabbricato A

Partendo da considerazioni geometriche che fanno riferimento allo spazio a disposizione, sarà possibile installare un massimo di 150 pannelli per ogni falda e, se consideriamo che ogni pannello sarà composto da 3 moduli, avremo un totale di 450 moduli a falda. Le falde come detto sono 6, dunque l'impianto usufruirà complessivamente di 2700 moduli da 300Wp ciascuno, per una potenza totale di 810kWp.

Grazie al sistema PVGIS, messo a disposizione dall'Unione Europea per la valutazione di prima approssimazione del potenziale solare fotovoltaico, si sono effettuati i calcoli per eseguire l'installazione migliore dell'impianto.

La piattaforma PVGIS e i valori di input inseriti sono descritti nelle Figure 50 e 51:

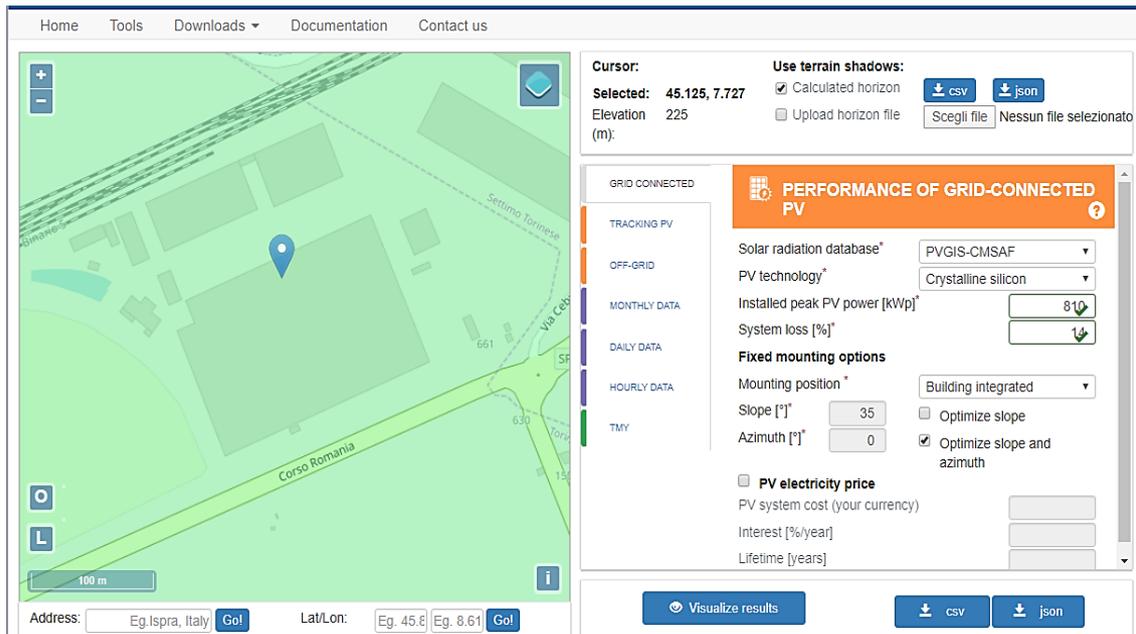


Figura 50: Piattaforma PVGIS

### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 45.125, 7.727

Horizon: Calculated

Database used: PVGIS-CMSAF

PV technology: Crystalline silicon

PV installed: 810 kWp

System loss: 14 %

Figura 51: Dati di input

Con l'esposizione ottimale del pannello si ottengono i seguenti valori in output:

### Simulation outputs

|                                 |                            |
|---------------------------------|----------------------------|
| Slope angle:                    | 38 (opt) °                 |
| Azimuth angle:                  | -4 (opt) °                 |
| Yearly PV energy production:    | 1023981.77 kWh             |
| Yearly in-plane irradiation:    | 1683.42 kWh/m <sup>2</sup> |
| Year to year variability:       | 49926.80 kWh               |
| Changes in output due to:       |                            |
| Angle of incidence:             | -2.75 %                    |
| Spectral effects:               | 0.98 %                     |
| Temperature and low irradiance: | -11.09 %                   |
| Total loss:                     | -24.9 %                    |

Figura 52: Dati di output

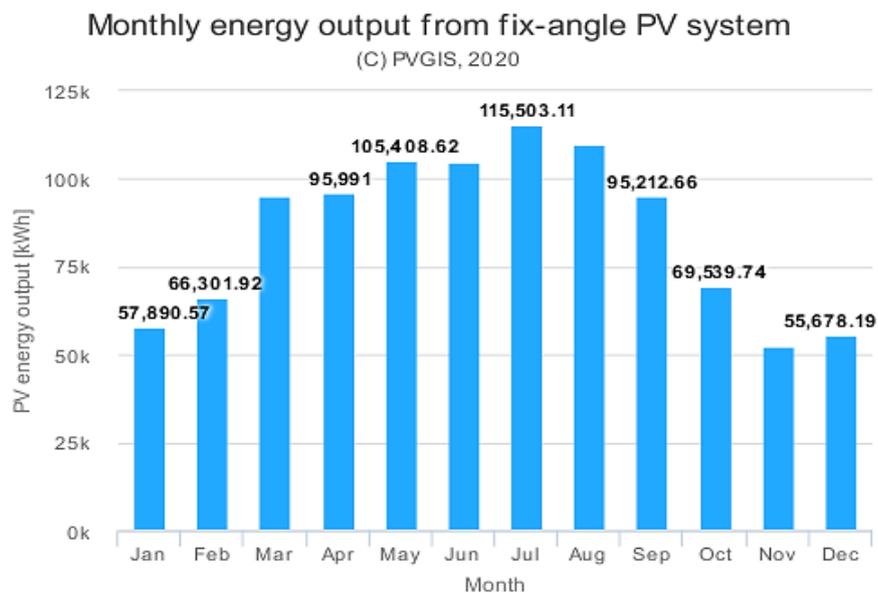


Figura 53: Dati sull'energia mensile producibile

Il valore di produzione annua, dunque, è pari a 1023,982 MWh. Considerando che la richiesta è di 3164,509 MWh, si otterrebbe una copertura del fabbisogno pari al 32%.

Intorno al sito non vi sono ombre causate da edifici vicini e quindi si può ritenere affidabile la stima della piattaforma PVGIS.

L'assenza di ostacoli particolari si può notare dalla Figura 53:



Figura 54: Falde del tetto

Quando si installano i moduli, nel caso particolare di installazione su tetti, è consigliato mantenere una distanza dai bordi di 0,5-1 m.

Inoltre, non si deve trascurare un certo margine per le strutture di sostegno e le guide.



Figura 55: Strutture di sostegno e guide

I moduli sono realizzati in silicio monocristallino, con la tecnologia PERC ("Passivated Emitter and Rear Cell"), un tipo di struttura dotata di uno strato aggiuntivo sul retro, capace di riflettere e recuperare la luce non assorbita dal wafer incrementandone le performance. L'efficienza raggiunge il 18,37% e il coefficiente di temperatura della potenza massima è abbastanza ridotto (-0,389%/°C).

I pannelli sono stati disposti cercando di sfruttare il più possibile lo spazio a disposizione, considerando le zone di passaggio necessarie per le attività di installazione e manutenzione.

Nella Tabella 46 sono raccolte le caratteristiche tecniche dei moduli scelti.

Un parametro importante è la certificazione IEC 61730, che riguarda la sicurezza delle persone e l'affidabilità dei moduli agli stress meccanici esterni.

Lo standard consiste di due parti:

1. Requisiti costruttivi: nella quale vengono definiti i requisiti minimi per materiali, componenti e aspetti progettuali.
2. Requisiti dei test: nella quale si descrivono i requisiti dei test.

| <b>CARATTERISTICHE TECNICHE</b> |  |
|---------------------------------|--|
| Dimensioni                      | 1650 x 990 x 35 mm   |
| Peso                            | 17,7 kg  |
| Vetro                           | Temperato trasparente da 3,2 mm                                |
| Incapsulante                    | EVA (etilvinilacetato)   |
| Celle                           | 60 celle PERC in silicio monocristallino da 156,75 x 156,75 mm |
| Backsheet                       | Multistrato in poliestere                                      |
| Cornice                         | Profilo in alluminio anodizzato con fori di drenaggio          |
| Scatola di giunzione            | Certificato secondo IEC 62790, omologato IP 68                 |
| Cavi e connettori               | Lunghezza 900 mm con connettori MC4 compatibili                |
| Massima corrente inversa (Ir)   | 20 A   |
| Tensione massima di sistema     | 1000 V (1500 V su richiesta)                                   |
| Carico massimo (vento/neve)     | 5400 Pa (incluso fattore id sicurezza 1,5)                     |
| Protection Class                | II – conforme a IEC 61730                                      |

Tabella 46: Caratteristiche dei moduli fotovoltaici

Il sistema installato sarà direttamente collegato ad uno dei 2 trasformatori presenti nella Cabina 1.

Passando al modello Simulink, questo verrà aggiornato con l'inserimento del blocco relativo al fotovoltaico, e con la possibilità di inserire i dati tecnici specifici dei pannelli.

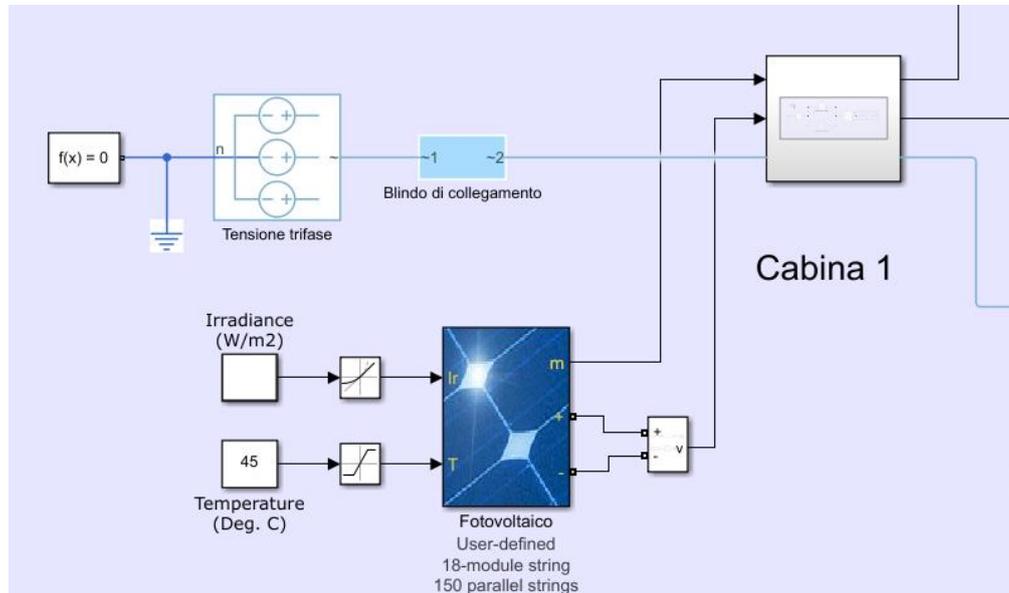


Figura 56: Modello Simulink con PV

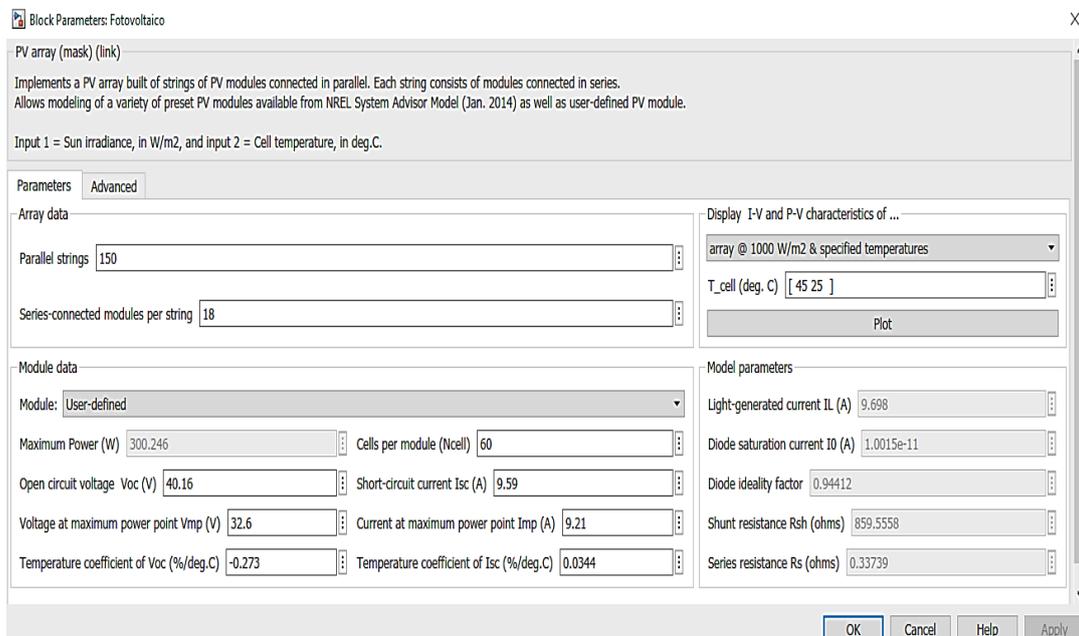


Figura 57: Blocco PV - Dati tecnici del pannello

## 7.2.1 Valutazione economica dell'investimento

I costi per un impianto fotovoltaico sono progressivamente scesi negli anni, fino a renderlo un investimento molto conveniente.

Oggi il prezzo varia dai 1.500 ai 2.500 euro per kWp di potenza e i tempi di azzeramento per quanto riguarda l'investimento in genere vanno dai 5 agli 8 anni.

Il primo costo da mettere in conto, quindi, è quello relativo ai materiali principali, cioè i pannelli solari. Oltre al numero complessivo degli stessi, il costo sarà influenzato anche dalla loro qualità: infatti, le differenze di prezzo tra le varie marche possono essere anche importanti. [26]

In aggiunta al costo dei moduli va considerato anche il costo dell'inverter, degli accessori di collegamento e interfaccia (quadri elettrici, protezione di interfaccia con la rete), delle pratiche burocratiche e dell'allaccio alla rete (funzione della distanza dalla cabina). A questi costi si sommeranno nel tempo quelli a impianto attivo, ovvero per la pulizia dei pannelli e per la sostituzione dell'inverter (dopo 10 anni).

Un ulteriore elemento che può contribuire alla migliore efficienza dell'impianto e di cui si valuterà la possibilità di acquisto, è rappresentato dagli ottimizzatori, dei piccoli apparecchi da installare su ciascun pannello, che aumentano la produttività dell'intero impianto e permettono di monitorarne costantemente il funzionamento attraverso semplici dispositivi portatili, quali smartphone o tablet.

I costi sono riassunti in Tabella 47, per una potenza installata unitaria di un 1 kWp.

| <b>Elemento</b>                            | <b>Importo [€]</b> |
|--|--------------------|
| Moduli fotovoltaici<br>FuturaSun FU 300 M  | 600                |
| Accessori di collegamento e<br>interfaccia | 150                |
| Inverter                                   | 200                |
| Manodopera                                 | 150                |
| <b>TOTALE</b>                              | <b>1100</b>        |

Tabella 47: Costi fotovoltaico

Considerando che in questo caso la potenza totale installata è pari a 810 kWp, il costo iniziale ammonta a 891.000 €.

L'obbiettivo di questo tipo di impianti è massimizzare l'autoconsumo abbattendo la spesa dovuta all'energia prelevata dalla rete e i costi in bolletta.

Da un confronto con i consumi annuali derivanti dall'analisi energetica si è ricavato il valore di questo parametro, che risulta essere il 75%.

In più, l'energia prodotta dall'impianto viene immediatamente utilizzata, nello stesso momento in cui viene erogata. I consumi di energia elettrica infatti, come visto nel modello, sono quasi esclusivamente attribuibili al periodo diurno, cioè proprio quando avviene la produzione di energia. Questo rende non necessari eventuali sistemi di accumulo.

La quota di energia che non fa parte dell'auto-consumo, ovvero il restante 25%, viene immessa in rete con conseguenti benefici economici derivanti dalla vendita.

Per concludere, sono riportati i dati economici che comprendono il flusso di cassa annuale, quello cumulato e il Valore Attuale Netto (VAN).

|                     | Anno | Utile netto [€]       | Flusso di cassa [€]                 | Flusso di cassa cumulato [€] |
|---------------------|------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Costo installazione | 0    |                       | -891000                             | -891000                      |
| Ricavi              | 1    | 227938,342            | -629884,6487                        | -629884,6487                 |
|                     | 2    | 230692,9554           | 263670,9027                         | -366213,746                  |
|                     | 3    | 233529,2329           | 266309,3125                         | -99904,43351                 |
|                     | 4    | 236449,0235           | 269032,4226                         | 169127,9891                  |
|                     | 5    | 239454,2208           | 271842,1195                         | 440970,1086                  |
|                     | 6    | 242546,764            | 274740,3353                         | 715710,444                   |
|                     | 7    | 245728,6391           | 277729,049                          | 993439,493                   |
|                     | 8    | 249001,88             | 280810,2875                         | 1274249,78                   |
|                     | 9    | 252368,5696           | 283986,1266                         | 1558235,907                  |
|                     | 10   | 255830,841            | 287258,6926                         | 1845494,6                    |
|                     | 11   | 259390,8785           | 290630,1631                         | 2136124,763                  |
|                     | 12   | 263050,9193           | 294102,7681                         | 2430227,531                  |
|                     | 13   | 266813,2541           | 297678,7919                         | 2727906,323                  |
|                     | 14   | 270680,229            | 301360,5735                         | 3029266,896                  |
|                     | 15   | 274654,2463           | 305150,5088                         | 3334417,405                  |
|                     | 16   | 278737,7662           | 309051,0511                         | 3643468,456                  |
|                     | 17   | 282933,3081           | 313064,7133                         | 3956533,17                   |
|                     | 18   | 287243,4517           | 317194,0684                         | 4273727,238                  |
|                     | 19   | 291670,8389           | 321441,7519                         | 4595168,99                   |
|                     | 20   | 296218,1749           | 325810,4625                         | 4920979,452                  |
| <b>VAN</b>          |      | <b>3.214.868,32 €</b> | Guadagno totale/costo installazione |                              |

Tabella 48: Valutazione dell'investimento

Il flusso di cassa diventa positivo dopo poco più di 3 anni, evidenziando la convenienza dell'investimento iniziale e il VAN finale, calcolato con un WACC (costo medio ponderato del capitale) pari a 0,035, è di 3.214.868,32 €.

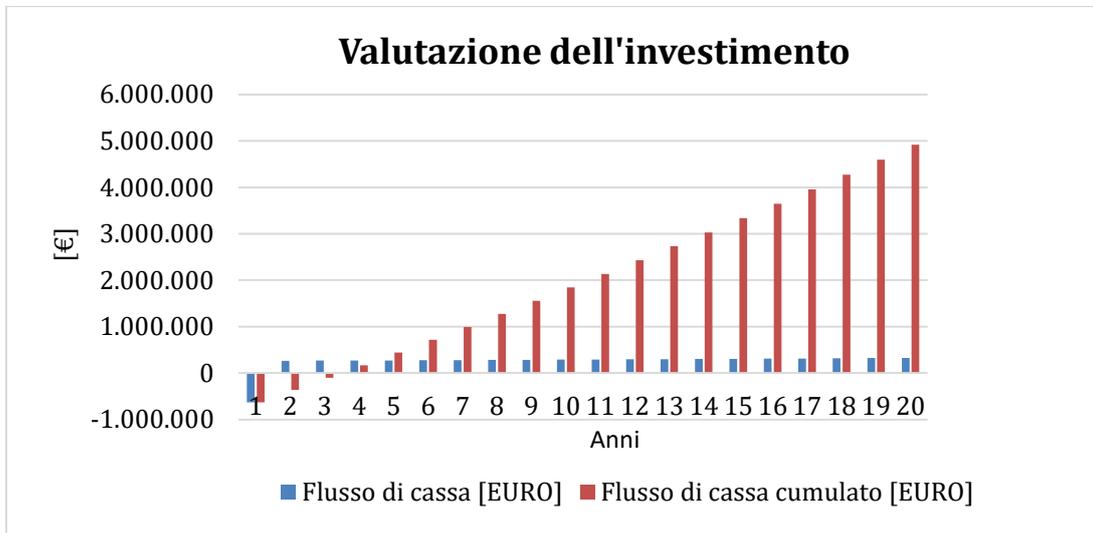


Grafico 29: Valutazione dell'investimento

Un ultimo importante beneficio portato dall'impianto fotovoltaico è individuabile nel risparmio di CO<sub>2</sub> ottenibile.

Se si considera infatti per il 2019 che la produzione a "emissione zero" del fotovoltaico ammonta a 1023,98 MWh e la richiesta complessiva è pari a 3164 MWh resta da considerare una quota di 2140,02 MWh che arriva dalla rete.

Partendo da questo dato si ricalcolano i consumi totali di energia primaria, e, utilizzando nuovamente la piattaforma MyClimate, la quantità di CO<sub>2</sub> emessa risulta 4642,2 tonnellate, che rispetto al valore iniziale di 5428,7 tonnellate rappresenta un risparmio non indifferente del 14,5%.

|             | Consumi totali [MWh] | Energia [t] | Mobilità [t] | Mensa [t] | Materiali e rifiuti [t] | t CO <sub>2</sub> |
|-------------|----------------------|-------------|--------------|-----------|-------------------------|-------------------|
| Ante operam | 6092,5               | 4679,1      | 596          | 50,1      | 103,5                   | 5428,7            |
| Post operam | 5068,6               | 3892,7      | 596          | 50,1      | 103,5                   | 4642,2            |

Tabella 49: Risparmio CO<sub>2</sub> con fotovoltaico

## 8 Conclusioni

Per quanto riguarda la prima fase del lavoro, ovvero l'analisi energetica, una scelta importante è stata quella di introdurre un modello di ottimizzazione Bottom up. Questo ha permesso di valutare in maniera dettagliata i vettori energetici presenti nello stabilimento, stabilendo le fonti dalle quali provengono questi vettori e gli usi e i consumi che da questi derivano.

In questo modo si sono individuati i due "protagonisti" principali della successiva analisi, ovvero il gas naturale e l'energia elettrica.

Per quanto riguarda il gas naturale il diagramma di Sankey ha evidenziato che la maggior parte dei consumi sono attribuibili alle due caldaie collegate all'impianto di riscaldamento. Nel 2019 tali consumi sono diminuiti del 7,6% rispetto al 2018, dato messo in luce anche dall'indice di prestazione relativo ai consumi in funzione del fatturato, che, per la prima volta dal 2015, scende al di sotto del valore di riferimento. Dall'analisi dei costi invece si osserva un lieve aumento rispetto allo scorso anno, pari all' 1,6%, segno che, anche se si consuma di meno, si continua a spendere più o meno lo stesso.

Passando al secondo vettore, l'energia elettrica, si è evidenziato in primis come i consumi siano legati principalmente ai macchinari aziendali e ai compressori (circa l'82%). A fronte di ciò sono stati di recente acquistati dei nuovi compressori che hanno permesso grazie alla loro efficienza e alla possibilità di un monitoraggio continuo, di ottimizzare buona parte dei consumi. Per quanto riguarda invece i macchinari, un'analisi accurata blindo per blindo ha permesso di ricavare i fattori di utilizzo, che potranno essere d'aiuto in futuro per alcune decisioni come la sostituzione di determinati macchinari o un tipo di gestione "intelligente" che tenga conto degli effettivi profili di consumo e possa evitare sprechi di energia.

L'impianto di illuminazione, sebbene copra una fetta decisamente minore nei consumi, è stato considerato vecchio e poco efficiente, e ha richiesto un intervento di miglioramento.

In generale i consumi di energia elettrica hanno evidenziato un aumento consistente (+6,3%) nel 2019, al pari dei costi (+11,2%), dati confermati dallo studio dei KPI che hanno messo in luce trend sopra i livelli standard, attenuati soltanto dal valore di fatturato che è cresciuto nell'ultimo anno.

Quest'analisi ha dunque evidenziato la necessità di intervenire per ridurre i consumi e i costi legati all'energia elettrica.

Un altro step importante è stato quello di stimare le emissioni totali di CO<sub>2</sub> dello stabilimento, per avere un'idea della situazione attuale dal punto di vista ambientale. Questo è stato fatto mediante l'utilizzo della piattaforma MyClimate che ha permesso, inserendo come input dati energetici dell'azienda, di calcolare le quantità di anidride carbonica emesse negli ultimi 5 anni. Queste informazioni sono state rielaborate nel successivo studio dei KPI ambientali, che hanno calcolato prima le tonnellate di CO<sub>2</sub> emesse per ogni TEP di energia primaria consumata, mettendo in luce un quadro abbastanza positivo, e poi le emissioni pro-capite (per addetto), dove invece si osservano valori sopra la media, segnale che anche se i consumi non sono elevati, l'azienda potrebbe fare alcuni accorgimenti per migliorare la sostenibilità dei processi.

L'implementazione del modello Simulink ha permesso di entrare nel dettaglio dei consumi relativi all'energia elettrica e in particolare quelli identificabili con la Cabina 1, che serve gli uffici e l'officina.

Nella configurazione del modello si è deciso di considerare due diversi scenari.

Il primo, quello che rappresenta i giorni lavorativi, è stato suddiviso a sua volta in due fasce orarie per esaminare in maniera distinta i consumi diurni e quelli notturni. Focalizzando l'attenzione sui consumi dell'officina, sono stati ricavati sia per la fascia diurna che per quella notturna i relativi fattori di utilizzo dell'officina, calcolati come potenza massima richiesta su potenza nominale complessiva.

Il secondo scenario, che modella il comportamento nel weekend, ha permesso di eseguire uno studio più accurato, trovando, con prove sperimentali, i fattori di utilizzo specifici di ogni blindo per avere un'informazione più dettagliata sui consumi dei macchinari

Dopo aver visto singolarmente i diversi scenari, ci si è affidati a un sistema di monitoraggio aziendale chiamato "Energy Sentinel Web", per la validazione del modello e in particolare dei coefficienti ottenuti in precedenza. Dal lavoro di confronto dei profili di assorbimento sono stati ricavati i seguenti fattori:

- 7,7% per il periodo diurno;
- 5,4% per il periodo notturno;
- 2,6% per il weekend.

I dati ottenuti hanno rimarcato il bisogno di ridurre i consumi di energia elettrica in particolare durante il giorno, per sopperire alla richiesta di energia da parte dei macchinari attivi in officina.

Una volta individuate le aree di intervento sono state descritte le azioni proposte.

La prima soluzione, ideata per migliorare il sistema d'illuminazione, ha previsto l'acquisto di dispositivi a LED con i seguenti benefici:

- Miglior illuminazione in generale, con un impatto positivo sulla sicurezza dell'ambiente di lavoro;
- Riduzione immediata dei consumi, da 115 kW a 43 kW (-63%);
- Controllo e monitoraggio costante dell'efficienza di ogni singolo apparecchio;
- Regolazione automatica dell'intensità della luce, che permette un'ottimizzazione dei consumi.

Oltre a questi importanti risultati è stato stimato un guadagno economico quantificabile in 45813,81€ annui, con un risparmio del 62,4%, e una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> di 161696 kg<sub>CO2</sub> all'anno.

Per finire, la seconda proposta, riguardante l'installazione di un impianto fotovoltaico, porterà una serie di vantaggi riassumibili in:

- Una copertura del fabbisogno di energia elettrica del 32%;
- Ricavi annuali dovuti all'autoconsumo, alla vendita di energia elettrica in rete e ai risparmi in bolletta che portano a un rientro dall'investimento iniziale in poco più di 3 anni e a un VAN di 3,2 milioni di euro;
- Una riduzione della quantità di anidride carbonica emessa pari a 786,5 tonnellate all'anno con un risparmio di CO<sub>2</sub> del 14,5%

## Appendice A: Lista dei macchinari

| BLINDO   | TAG                                   | MACCHINA                            | POTENZA [kW] |
|----------|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| <b>1</b> | I00003                                | Liquidi penetranti verdi            | 0,4          |
|          | TG008                                 | Lapointe - Brocciatrice Orizzontale | 166          |
|          | TG195                                 | Saldatrice                          | 1            |
|          | TG208                                 | POSIZIONATORE GIREVOLE              | 1            |
|          | TG212                                 | POSIZIONATORE GIREVOLE              | 1            |
|          | TG214                                 | POSIZIONATORE GIREVOLE              | 1            |
|          | TG218                                 | POSIZIONATORE GIREVOLE              | 1            |
|          | TG221                                 | POSIZIONATORE GIREVOLE              | 1            |
|          | TG311                                 | ELETTROER. TUFFO EXERON 314         | 14           |
|          | TG318                                 | Segatrice basculante SCORPIO        | 3,4          |
|          | TG320                                 | DEA GLOBAL                          | 5            |
|          | TG345                                 | MAGERLE MGC-L 260.50.45 - Rettifica | 38           |
|          | TG349                                 | CENTRO FRESATURA 5AX HEDELIUS       | 25           |
|          | TG350                                 | ELETTROER. TUFFO EXERON 316         | 18           |
| TG390    | Centro di fresatura DMU 90 P duoBLOCK | 80                                  |              |
| <b>2</b> | TG080                                 | Morando VH25 - Tornio Verticale CN  | 120          |
|          | TG084                                 | Morando KN25 - Tornio Verticale     | 70           |

|           |                               |   |      |
|-----------|-------------------------------|---|------|
|           | TG106                         | Tornio KN20                                       | 110  |
|           | TG115                         | Varinelli -<br>Brocciatrice<br>Verticale          | 200  |
|           | TG352                         | CENTRO RETTIFICA<br>MAKINO A99                    | 225  |
|           | TG357                         | Magazzino<br>automatico ICAM                      | 14   |
| <b>3</b>  | TG034                         | Favretto - Lapidello                              | 50   |
|           | TG040                         | Herbert - Rettifica<br>esterni                    | 23   |
|           | TG087                         | Morando Cramen<br>KL14 - Tornio<br>Verticale      | 80   |
|           | TG089                         | Morando VLN14 -<br>Tornio Verticale               | 50   |
|           | TG260                         | Rullatrice IMCAR                                  | 11   |
|           | TG319                         | RETTIFICA BLOHM                                   | 60   |
|           | TG322                         | ELETTROEROSIONE<br>CDM                            | 16,5 |
|           | TG323                         | ELETTROEROSIONE<br>AGIE Classic                   | 9    |
|           | TG324                         | LIQUIDI<br>PENETRANTI<br>UESSETTI                 | 15   |
|           | TG342                         | ELETTROEROSIONE<br>AGIE                           | 9    |
|           | TG358                         | CENTRO DI<br>TORNITURA /<br>FRESATURA TAI<br>TECH | 52   |
| TG389     | Toshulin Powerturn<br>1600 C1 | 8,32  |      |
| <b>4A</b> | TG006                         | Castel Center -<br>Alesatrice Fresatrice          | 91   |
|           | TG027                         | Rambaudi -<br>Fresatrice manuale -<br>MS3 -       | 80   |
|           | TG029                         | Saimp Forest -<br>Fresatrice Verticale            | 50   |

|           |        |   |     |
|-----------|--------|---|-----|
|           | TG069  | Morando - Tornio Parallelo                | 200 |
| <b>4B</b> | TG076  | Padovani - Tornio Parallelo               | 80  |
|           | TG105  | DEA EPSILON 2304                          | 5   |
|           | TG290  | Priettore profili                         | 4   |
|           | TG370  | DEA GLOBAL                                | 5   |
| <b>5A</b> | TG095  | Raboma Drill - Trapano Radiale            | 8   |
| <b>5B</b> | TG077  | Innse - Tornio Parallelo                  | 211 |
| <b>6</b>  | TG002  | Alesatrice PAMA                           | 100 |
|           | TG048  | Sciaky - Puntatrice                       | 170 |
|           | TG090  | Carnaghi Avio AP40 - Tornio Verticale     | 160 |
|           | TG246  | Forest - Alesatrice Orizzontale           | 170 |
|           | TG247  | Caser Spazio GPC80 - Fresatrice Verticale | 200 |
|           | TG248  | Morando KSM 50 - Tornio                   | 150 |
|           | TG348  | CARPANETO - Puntatrice                    | 240 |
| <b>7</b>  | I00001 | Forno TT Distensione BIOTECO              | 65  |
|           | I00002 | Progressive - Sabbiatrice                 | 4   |
|           | I00005 | Forno TT Austenizzazione BIOTECO          | 60  |
|           | TG035  | Smerigliatrice a nastro                   | 0,5 |
|           | TG116  | TG116 - Pressa OMCN                       | 5   |
|           | TG133  | Prima Industrie - Taglio Laser NEW        | 75  |
|           | TG187  | Saldatrice                                | 5   |
|           | TG222  | POSIZIONATORE GIREVOLE                    | 1   |

|           |       |   |      |
|-----------|-------|---|------|
|           | TG304 | Cabina molatura<br>(insonorizzata)            | 3    |
|           | TG325 | Sabbiatrice<br>NORBLAST grande                | 3,8  |
| <b>8A</b> | TG109 | Schenk -<br>Equilibratrice                    | 150  |
|           | TG298 | Sabbiatrice<br>NORBLAST piccola               | 1    |
|           | TG299 | FORNO<br>CALETTAMENTO<br>DISCHI               | 30   |
|           | TG327 | PIATTAFORMA DI<br>CALETTAMENTI<br>DISCHI      | 10   |
|           | TG353 | Equilibratrice<br>verticale CEMB<br>VUBN3000  | 42   |
| <b>8B</b> | TG294 | Postazione pacco<br>turbina                   | 20   |
|           | TG296 | BARILATRICE                                   | 8    |
| <b>9</b>  | TG064 | Ansaldo - Tornio<br>Parallelo                 | 90   |
|           | TG297 | MAGNETOSCOPIO<br>CGM                          | 16   |
|           | TG330 | Posizionatore a rulli<br>PASSERINI            | 1    |
| <b>10</b> | ST005 | Sabbiatrice - Silco<br>Press 3/F              | 4    |
|           | ST007 | Liquidi Penetranti -<br>UESSETTI LP-<br>300/M | 0,4  |
|           | ST010 | Saldatrice laser -<br>Huffman HP-115CL        | 0,66 |
|           | ST011 | Sald manuale- EWM<br>triton 220AC/DC          | 6    |
|           | ST012 | Sald manuale- EWM<br>triton 220AC/DC          | 6    |
|           | ST013 | Sald manuale- EWM<br>triton 220AC/DC          | 6    |
|           | ST014 | Sald manuale- EWM<br>triton 220AC/DC          | 6    |

|           |            |  |      |
|-----------|------------|--|------|
|           | ST015      | Sald manuale- EWM triton 220AC/DC          | 6    |
| <b>12</b> | ST002      | Sabbiatrice - Norblast S11                 | 3,5  |
|           | ST003      | Sabbiatrice - Norblast S11                 | 4    |
|           | ST004      | Sabbiatrice - Norblast S11                 | 4    |
|           | ST016      | Pallinatrice - Norblast S14                | 7    |
|           | ST024      | SABBIATRICE - silco Press 3/F              | 4    |
| <b>13</b> | ST001      | Rivestimento Sulzer multicoat              | 47,4 |
|           | ST017      | Forno per TT - TAV TPH 120/120/160-S/N 299 | 430  |
| -         | TG050      | SALDATRICE TIG PLASMA HOBART               | 10   |
|           | TG052      | SALDATRICE MILLER                          | 5    |
|           | TG053      | Saldatrice Portatile                       | 5    |
|           | TG054      | Saldatrice TIG Manuale                     | 5    |
|           | TG055      | Saldatrice TIG Manuale                     | 5    |
|           | TG056      | BOX 4 SALDATRICE MILLER                    | 5    |
|           | TG057      | Saldatrice TIG Manuale                     | 5    |
|           | TG099      | Segatrice FMB                              | 1,5  |
|           | TG107      | Postazione foratura dischi compressore     | 3    |
|           | TG108      | Ribaltatore dischi                         | 10   |
|           | TG122      | Aspiratore banco di aggiustaggio           | 2    |
|           | TG125      | Aspiratore banco di aggiustaggio           | 2    |
|           | TG127      | TRAPANO KAUKAUNA                           | 3    |
| TG134     | Saldatrice | 5  |      |

|       |                                     |     |
|-------|-------------------------------------|-----|
| TG137 | AFFILATRICE<br>BROCCIE LAPOINTE     | 10  |
| TG155 | Mola affilatrice                    | 1   |
| TG156 | Mola affilatrice                    | 1   |
| TG180 | SALDATRICE<br>MILLER                | 5   |
| TG186 | Saldatrice                          | 5   |
| TG219 | TAVOLA GIREVOLE<br>NIKKEN           | 0,5 |
| TG226 | Presetting Generale                 | 0,5 |
| TG231 | Taglio plasma                       | -   |
| TG240 | Schenk - Peso<br>Momento            | 0,5 |
| TG242 | Torsionatrice                       | 1   |
| TG255 | LAVATRICE                           | 3   |
| TG257 | BARILATRICE                         | 5   |
| TG291 | Metro campione -<br>TRIMOS HPD1500  | 1   |
| TG292 | Misuratore<br>filettature ULM 600   | 1   |
| TG295 | Segatrice FMB                       | 1,5 |
| TG301 | CALIBRATORE<br>BLOCCETTI<br>JONHSON | 2   |
| TG302 | Banco Molatura                      | 5   |
| TG303 | DISINTEGRATORE<br>TIPO CIBAS K500   | 3   |
| TG307 | AFFILATRICE AFU<br>550 (5406)       | 1   |
| TG321 | PRESETTING<br>EROWA                 | 0,5 |
| TG354 | SALDATRICE TIG<br>EWM 1             | 6   |
| TG355 | SALDATRICE TIG<br>EWM 2             | 6   |
| TG356 | PRESETTING ELBO                     | 2   |
| TG359 | SALDATRICE TIG<br>EWM 3             | 6   |
| TG360 | SALDATRICE MIG<br>SELCO NEOMIG 322  | 6   |



| CARATTERISTICHE ELETTRICHE   |   |          |          |          |          |
|--|---|----------|----------|----------|----------|
| MODULO   |   | FU 300 M | FU 305 M | FU 310 M | FU 315 M |
| Standard Test Conditions STC: 1000 W/sqm - AM 1,5 - 25 °C - tolleranze: Pmax (±3%), Voc (±4%), Isc (±5%) |   |          |          |          |          |
| Potenza del modulo (Pmax)  | W | 300      | 305      | 310      | 315      |
| Tensione di circuito aperto (Voc)  | V | 40,16    | 40,5     | 40,78    | 41,02    |
| Corrente di corto circuito (Isc)   | A | 9,59     | 9,67     | 9,72     | 9,8      |
| Tensione di massima potenza (Vmpp)   | V | 32,6     | 32,87    | 33,15    | 33,42    |
| Corrente di massima potenza (Impp)   | A | 9,21     | 9,28     | 9,36     | 9,43     |
| Efficienza a modulo  | % | 18,37    | 18,60    | 18,98    | 19,28    |
| Nominal Module Operating Temperature NMOT: 800 W/mq - T=45 °C - AM 1,5                                   |   |          |          |          |          |
| Massima Potenza (Pmax)   | W | 220,36   | 224      | 227,71   | 231,33   |
| Tensione di circuito aperto (Voc)  | V | 37,04    | 37,36    | 37,67    | 37,83    |
| Corrente di corto circuito (Isc)   | A | 7,89     | 7,96     | 8,03     | 8,06     |
| Tensione di massima potenza (Vmpp)   | V | 29,50    | 29,75    | 30       | 30,25    |
| Corrente di massima potenza (Impp)   | A | 7,47     | 7,53     | 7,59     | 7,65     |

| CARATTERISTICHE OPERATIVE        |      |              |
|----------------------------------|------|--------------|
| Coefficiente di temperatura Isc  | %/°C | 0,0344       |
| Coefficiente di temperatura Voc  | %/°C | -0,273       |
| Coefficiente di temperatura Pmax | %/°C | -0,389       |
| NMOT *                           | °C   | 45           |
| Temperatura di esercizio         | °C   | da -40 a +85 |

\* Nominal Module Operating Temperature

| CARATTERISTICHE TECNICHE      |  |
|-------------------------------|--|
| Dimensioni                    | 1650 x 990 x 35 mm   |
| Peso                          | 7,7 kg   |
| Vetro                         | Temperato trasparente da 3,2 mm                              |
| Incapsulante                  | EVA (etilvinilacetato)                                       |
| Celle                         | 60 celle PERC in silicio monocristallino da 156,75x156,75 mm |
| Backsheet                     | Multistrato in poliestere                                    |
| Cornice                       | Profilo in alluminio anodizzato con fori di drenaggio        |
| Scatola di giunzione          | Certificato secondo IEC 62790, omologato IP 68               |
| Cavi e connettori             | Lunghezza 900 mm con connettori MC4 compatibili              |
| Massima corrente inversa (Ir) | 20 A   |
| Tensione massima di sistema   | 1000 V (1500 V su richiesta)                                 |
| Carico massimo (vento/neve)   | 5400 Pa (incluso fattore di sicurezza 1,5)                   |
| Protection Class              | II - conforme a IEC 61730                                    |

Informazioni del rivenditore

2020\_0606\_300-315\_IT



**FuturaSun srl**  
Riva del Pasubio, 14 - 35013 Cittadella - Italy  
Tel + 39 049 5879802 Fax + 39 049 0963081  
[www.futurasun.com](http://www.futurasun.com) - [info@futurasun.it](mailto:info@futurasun.it)

## Bibliografia

- [1] «Treccani,» [Online]. Available: <http://www.treccani.it/enciclopedia/sostenibilita/>.
- [2] «Enea - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile,» 2019. [Online]. Available: <https://www.energiaenergetica.enea.it/servizi-per/cittadini.html>.
- [3] «Wikipedia,» [Online]. Available: [https://it.wikipedia.org/wiki/Efficienza\\_energetica](https://it.wikipedia.org/wiki/Efficienza_energetica) / [https://it.wikipedia.org/wiki/UNI\\_CEI\\_EN\\_ISO\\_50001](https://it.wikipedia.org/wiki/UNI_CEI_EN_ISO_50001).
- [4] «ISO 50001 - Energy Management Systems,» [Online]. Available: <https://www.iso.org/home.html>.
- [5] I. M. Cerri, «Introduzione alla norma UNI EN CEI ISO 50001:2011,» Roma, 2016.
- [6] P. Zilio, «fire-italia,» 2017. [Online]. Available: <http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2017/02/08-Hitachi-Zilio.pdf>.
- [7] «Approccio globale ABB per l'efficienza energetica,» 2012. [Online]. Available: [http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/Saba\\_ABB.pdf](http://www.fire-italia.org/prova/wp-content/uploads/2015/04/Saba_ABB.pdf).
- [8] Dexma Energy Management, «Dexma.com,» [Online]. Available: [https://get.dexmatech.com/hubfs/Whitepapers/ISO\\_50001\\_IT.pdf?t=1493215368967](https://get.dexmatech.com/hubfs/Whitepapers/ISO_50001_IT.pdf?t=1493215368967).
- [9] Documenti aziendali, «Efficienza energetica e uso delle fonti rinnovabili locali: caso dello stabilimento EthosEnergy,» 2017. [Online].
- [10] EthosEnergy, Storia aziendale ed attività, [Online]. Available: <https://www.ethosenergygroup.com/>.
- [11] Stazione Meteorologica di Torino Caselle, Dati climatici, [Online]. Available: [www.ilmeteo.it](http://www.ilmeteo.it).
- [12] Classificazione climatica, [Online]. Available: <http://www.arpa.piemonte.it/>.

- [13] Documentazione EthosEnergy Italia S.P.A., «Schede compressori Ingersoll Rand,» [Online].
- [14] UNI\_50001\_EN\_IT, «UNI CEI EN ISO 50001:2011,» [Online].
- [15] Ministero dello sviluppo economico, [Online]. Available: <https://www.mise.gov.it/index.php/it/>.
- [16] Company's yearly CO2 footprint, [Online]. Available: [www.co2.myclimate.org](http://www.co2.myclimate.org).
- [17] Scelta dei KPI aziendali, [Online]. Available: [www.smartbusinesslab.com](http://www.smartbusinesslab.com).
- [18] Consumi e costi energetici dell'industria manifatturiera, [Online]. Available: [www.istat.it](http://www.istat.it).
- [19] Consumi di energia elettrica, anno 2015, [Online]. Available: [www.terna.it](http://www.terna.it).
- [20] Analisi sistema energetico italiano, [Online]. Available: [www.enea.it](http://www.enea.it).
- [21] Pubblicazione stato ambiente: Energia, [Online]. Available: [www.isprambiente.gov.it](http://www.isprambiente.gov.it).
- [22] iu8cri. [Online]. Available: <https://iu8cri.altervista.org/approfondimento-categorie-sovratensioni-presenti-sulla-rete-elettrica-effetti-sugli-apparati-elettronici/>.
- [23] Matlab e Simulink per i sistemi di controllo, [Online]. Available: [www.it.mathworks.com](http://www.it.mathworks.com).
- [24] Server Web monitoraggio, «Energy Team,» [Online]. Available: [www.energysentinelweb.energyteam.it](http://www.energysentinelweb.energyteam.it).
- [25] Gli elementi di un impianto fotovoltaico, [Online]. Available: <http://www.fotovoltaicopiemonte.it/impianti.html>.
- [26] Costo impianto fotovoltaico, «Sorgenia,» [Online]. Available: <https://www.sorgenia.it/guida-energia/mercato-libero/impianto-fotovoltaico-quanto-costa>.