

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria energetica e nucleare

## TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Risparmio ed efficienza energetica negli impianti termo-idraulici ed elettrici di  
uno stabilimento produttivo;  
uso ottimale delle fonti rinnovabili locali



### RELATORI

Prof. Filippo SPERTINO

### CORRELATORE

Prof. Pierluigi LEONE

### RELATORE AZIENDALE

Ing. Domenico APPENDINO

### CANDIDATO

Alessandro GAGLIARDI

s243148

ANNO ACCADEMICO 2020/2021

# Ringraziamenti

A seguito di un percorso di studi ricco di momenti positivi ma anche di numerose difficoltà, voglio porre i miei ringraziamenti alle persone che mi hanno affiancato e accompagnato durante tutto questo periodo.

In primis vorrei ringraziare l'azienda che mi ha ospitato per svolgere l'attività di tirocinio e di tesi. Ringrazio quindi Prima Industrie e tutte le persone che mi hanno assistito per tutta la durata del progetto. In particolare i ringraziamenti sono rivolti al presidente Gianfranco Carbonato, che mi ha accolto piacevolmente all'interno dell'azienda, permettendomi di essere coinvolto in un'attività lavorativa di grande importanza; al mio tutor aziendale, nonché Vicepresidente esecutivo della capogruppo, Domenico Appendino, che mi ha aperto la mente in numerose situazioni lavorative, coinvolgendomi in attività preziose dal punto di vista formativo, come le riunioni di cantiere, e che mi ha seguito passo dopo passo nel lavoro di tesi; il manutentore Gianluca Alberti, il quale possiede piene conoscenze di tutti gli impianti presenti nello stabilimento e con il quale ho avuto il piacere di lavorare. Ringrazio inoltre Ana Gomez e Simona Operto per la loro accoglienza e organizzazione, Francesca Lombardo, la quale mi ha aiutato ogni volta che ho avuto problemi con le faccende burocratiche, Arianna, e tutto il personale che ho avuto il piacere di conoscere. Ringrazio Gabriele Zappalà dello studio della Sertec, che mi ha aiutato nella realizzazione del progetto e con il quale ho avuto il piacere di condividere la maggior parte del mio lavoro. Stando a contatto con queste persone, ho appreso qual è il significato del lavoro all'interno di una grande azienda.

Ringrazio i miei relatori Filippo Spertino e Pierluigi Leone che hanno accettato di seguire il progetto e hanno seguito la stesura della mia tesi.

Ringrazio con tutto me stesso i miei genitori, che sono sempre stati al mio fianco in ogni situazione senza mai mollarmi. Ringrazio Franca, mia cugina Giorgia e tutto il resto della mia famiglia.

Ringrazio tutti i miei amici, gli amici di una vita: Marco, Flavio, Claudio, Andrea, Manuel, Ludovico, Shervin, Alex, Lorenzo, Stefania, tutti gli amici che mi hanno sostenuto in questo percorso e tutti i colleghi universitari, tra cui Flaviano e Gianluca.

Grazie a tutti.

# Indice

<b>INTRODUZIONE</b> .....	4
<b>1. Il Gruppo PRIMA INDUSTRIE</b> .....	5
1.1 Presentazione e descrizione dell'azienda "Prima Industrie" .....	5
1.2 Rilocalizzazione dell'impresa .....	12
1.3 Progetto "Cruscotto Energetico" .....	15
<b>2. Riferimenti teorici</b> .....	16
2.1 Termofisica dell'edificio e proprietà termofisiche dei materiali .....	16
2.2 Inerzia termica dell'involucro edilizio.....	20
2.3 Materiali isolanti e metodi di isolamento dell'edificio.....	21
2.4 Bilanci di massa e di energia.....	24
<b>3. Soluzioni implementate dall'azienda</b> .....	29
3.1 Soluzioni edili.....	29
3.2 Soluzioni impiantistiche.....	34
3.2.1 Sistema di generazione.....	35
3.2.1.1 Impianto geotermico .....	35
3.2.1.2 Pompa di calore acqua-acqua .....	36
3.2.1.3 Impianto Solare termico .....	42
3.2.1.4 Impianto HVAC .....	50
3.2.1.5 Impianto Fotovoltaico .....	59
3.2.2 Sistema di distribuzione .....	76
3.2.3 Sistema di emissione .....	77
3.2.4 Impianti elettrici e speciali .....	83
3.2.5 Sistema di regolazione - BEMS (Building and Energy Management System).....	88
<b>4. Analisi energetica ed ambientale</b> .....	92
4.1 Consumi dell'edificio .....	92
4.2 Confronto edificio attuale ed edificio tradizionale.....	104
4.3 Energia prodotta dell'impianto FTV .....	114
4.4 Analisi Economica .....	117
4.5 Analisi ambientale .....	118
<b>5. Progettazione</b> .....	119
5.1 Ampliamento del sistema BEMS per una corretta diagnosi energetica.....	119
5.2 Cruscotto Energetico .....	126
<b>6. Conclusioni</b> .....	133
<b>7. Bibliografia e sitografia</b> .....	134

# INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi anni, il concetto chiave ai fini della riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra è l'attenzione nei confronti dell'efficienza energetica degli edifici. Sfruttare l'energia in modo razionale vuol dire essere efficienti energeticamente, eliminando sprechi e perdite dovuti al funzionamento e alla gestione non ottimale dei sistemi. Nel momento in cui si aumenta l'efficienza energetica di un edificio, è conseguente in primo luogo la riduzione dei fabbisogni di energia primaria. La strategia migliore ai fini di tale riduzione è l'impiego di energia derivante da fonti rinnovabili. L'accordo di Parigi è stato il primo accordo universale e giuridicamente vincolante sui cambiamenti climatici, adottato alla conferenza di Parigi sul clima (COP21) nel dicembre 2015. L'UE e i suoi Stati membri sono tra le 190 parti dell'accordo di Parigi. Affinché l'accordo entrasse in vigore, almeno 55 paesi che rappresentano almeno il 55% delle emissioni globali hanno dovuto depositare i loro strumenti di ratifica. L'obiettivo era la riduzione del 20% dei consumi di energia primaria entro il 2020 e l'aumento del 20% del consumo di energie rinnovabili sempre entro il 2020. L'accordo di Parigi stabilisce un quadro globale per evitare pericolosi cambiamenti climatici limitando il riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C e proseguendo con gli sforzi per limitarlo a 1,5°C. Inoltre punta a rafforzare la capacità dei paesi di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici e a sostenerli nei loro sforzi.

La direttiva 2010/31 del parlamento europeo stima che il 40% dei consumi di energia dell'intera Unione è dovuta agli edifici, così come il 36% di emissione di gas serra. Da tutte queste considerazioni sono nati degli accorgimenti per gli edifici, specialmente per quelli di stampo industriale che sono molto energivori, che puntano sempre di più ad essere poco impattanti. Questi stabilimenti adottano soluzioni impiantistiche ecosostenibili (pompe di calore, fotovoltaico, solare termico...) e sono realizzati con materiali dalle elevate prestazioni energetiche e, grazie ad un'adeguata coibentazione con appositi materiali isolanti, tali prestazioni sono possibili anche nei climi più rigidi. È un ambito di studio multidisciplinare che coinvolge l'ambito energetico, architettonico ma anche informatico, in quanto la raccolta dati riveste un ruolo centrale per poter monitorare le condizioni di efficienza e di comfort.

L'obiettivo di questa tesi è di occuparsi dell'analisi energetica ed ambientale di un edificio ad uso industriale ad alta efficienza energetica (classe energetica A).

Il lavoro di tesi è stato svolto all'interno di Prima Industrie S.p.A. e ha visto anche il supporto/coinvolgimento dello studio professionale di ingegneria Sertec S.r.l. che ha assistito l'azienda nella progettazione e nella costruzione dell'edificio. L'obiettivo finale è stato la progettazione di una *dashboard* o cruscotto che monitori l'andamento giornaliero, mensile e annuale di tutti i risparmi energetici dell'edificio e i risparmi derivanti dalle rispettive fonti rinnovabili locali. Tali pannelli di controllo saranno collocati su schermi in punti strategici e favorevoli, saranno controllabili da remoto tramite un sistema di domotica intelligente e potranno anche essere visibili e accessibili dai dipendenti e dai visitatori, i quali potranno notare e leggere le prestazioni energetiche su questi cruscotti.

Per procedere alla progettazione occorre quindi monitorare e raccogliere tutti i consumi energetici dell'edificio e confrontarli con quelli di un edificio tradizionale di classe energetica inferiore.

Il Gruppo Prima Industrie mi ha accolto all'interno di questo progetto inserendomi in un valido team composto da 5 ingegneri oltre me. Il direttore tecnico del progetto – nonché mio tutor aziendale – Domenico Appendino mi ha fornito i riferimenti necessari per poter procedere col mio lavoro, insieme ai riferimenti che mi fornisce il resto del team, essendo composto da ingegneri di stampo civile, elettrico e meccanico.

# 1. Il Gruppo PRIMA INDUSTRIE

## 1.1 Presentazione e descrizione dell'azienda "Prima Industrie"

Prima Industrie S.p.A. è una Società costituita in Italia in forma di società per azioni ed ha sede legale in Collegno (Torino). Fondata nel 1977, Prima Industrie guida un Gruppo leader nello sviluppo, produzione e commercializzazione di sistemi laser per applicazioni industriali e macchine per la lavorazione della lamiera, oltre ad elettronica industriale e tecnologie laser. Con 43 anni di esperienza il Gruppo produce in 8 diverse sedi, tra cui Italia, Finlandia, USA e Cina, e vanta oltre 12.000 macchine installate in più di 80 Paesi ed è fra i primi costruttori mondiali nel proprio mercato di riferimento.



Figura 1.1: La presenza di Prima Industrie nel mondo

Il Gruppo Prima Industrie è strutturato in tre Divisioni:

- Prima Power: macchine laser e macchine per la lavorazione della lamiera
- Prima Electro: elettronica industriale e tecnologie laser
- Prima Additive: produzione di sistemi industriali per applicazioni metalliche di Additive Manufacturing



Figura 1.2: Logo della capogruppo Prima Industrie

Tutte le società sono guidate dalla capogruppo Prima Industrie.



Figura 1.3: Logo di Prima Power

Macchine laser. Il Gruppo progetta, realizza e commercializza macchine laser per tagliare e saldare la lamiera in processi produttivi o di prototipazione. Le macchine si distinguono in macchine laser 2D e 3D, a seconda che il raggio laser sia applicato a lamiera piana o a lamiera curva.

Le macchine 2D sono destinate ad applicazioni di taglio e saldatura per la produzione di componenti in lamiera per applicazioni in diversi settori, quali quello dei macchinari elettrici ed idraulici, di macchinari agricoli e veicoli industriali e di altri macchinari. Tali macchine sono funzionanti tipicamente su 3 assi.



THE LASER | 2D LASER  
**Laser Genius+**

La nuova, produttiva e flessibile macchina taglio laser 2D fibra per un'elevata qualità di taglio, con un layout reversibile per adattarsi ad ogni esigenza del cliente.



THE LASER | 2D LASER  
**Laser Genius**

Macchina taglio laser fibra ad alta produttività, precisione ed efficienza, per tutti gli spessori e i materiali.



THE LASER | 2D LASER  
**Platino Fiber Evo**

Macchina taglio laser fibra sempre più flessibile e produttiva: prestazioni superiori su un più ampio range di spessori e materiali.



THE LASER | 2D LASER

### Laser Sharp

Produttività per le lamiere di taglia media e grande.



THE LASER | 2D LASER

### Platino

Macchina taglio laser CO2 piana flessibile, semplice e compatta con un eccellente rapporto prezzo/prestazioni. Alta qualità in tutti gli spessori.

Figura 1.4: Macchine laser 2D

Le macchine 3D sono utilizzate per la produzione di componenti tridimensionali ovvero per la lavorazione di materiali modellati e sagomati con applicazioni maggiormente diffuse nel settore automobilistico, aerospaziale ed energetico. Caratterizzate da una maggiore complessità rispetto alle macchine laser 2D, esse lavorano su 5 assi.



THE LASER | 3D LASER

### Laser Next

Next is now: the new 3D laser system for automotive production is born at Prima Power.



THE LASER | 3D LASER

### Rapido

Three-dimensional cutting and welding. The fully tried-and-tested "workhorse" for every applications with fiber laser.



THE LASER | 3D LASER

### Optimo

The higher class three-dimensional machine for the cutting and welding of large workpieces with superior quality and accuracy.



THE LASER | 3D LASER

### Laserdyne 430

The flexible laser machining platform for a wide range of high-precision applications



THE LASER | 3D LASER

### Laserdyne 795

The premier multi-axis laser processing system for drilling, welding and cutting precision components



THE LASER | 3D LASER

### Laserdyne 811

Sistema di lavorazione laser ad alta precisione per saldatura, taglio 2D e 3D, foratura, taglio e manifattura additiva a Direct Energy Deposition (DED)

Figura 1.5: Macchine laser 3D

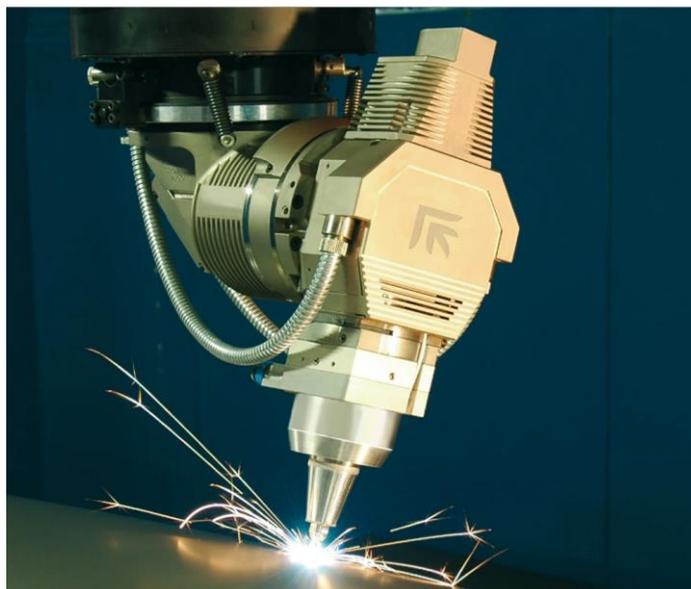


Figura 1.6: Testa macchina laser 3D

Macchine per la lavorazione della lamiera. Questa categoria comprende quelle macchine (complementari al taglio laser) per la lavorazione della lamiera mediante l'utilizzo di utensili meccanici.

Il Gruppo dispone di un'ampia gamma di macchine per il taglio e la piegatura di lamiera piana quali:

- Macchine punzonatrici
- Sistemi integrati di punzonatura e cesoiatura
- Sistemi integrati di punzonatura e taglio laser
- Pannellatrici
- Presse piegatrici
- Sistemi di automazione

Le principali applicazioni sono nei seguenti mercati: telecomunicazioni, HVAC (Heating, Ventilation, Air-Conditioning), apparecchiature elettriche, impianti di illuminazione, macchine agricole, elettrodomestici, arredi metallici e altri.

## The PUNCH



### THE PUNCH Punch Sharp™

Punch Sharp offers state-of-the art in servo-electric punching technology, based on pioneering experience, in an eminently flexible and affordable package.



### THE PUNCH Punch Genius™

Punch Genius™ – la nuova generazione di punzonatrici a torretta. Una maggiore produttività ed un design industriale completamente nuovo, sono completamente integrati.

## The COMBI



### THE COMBI Combi Genius

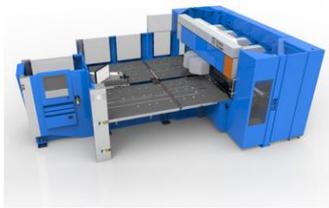
Combi Genius è una cella di punzonatura/taglio laser che introduce una nuova generazione di tecnologia di punzonatura servo-elettrica. Una maggiore produttività ed un design industriale completamente nuovo, sono completamente integrati.



### THE COMBI Combi Sharp

Combi Sharp è una cella compatta per la punzonatura e il taglio laser a fibra ad elevata accessibilità. Due alternative di risonatore e un'ampia capacità di utensili offrono una produttività superiore ad un prezzo vantaggioso.

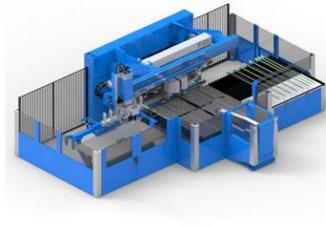
## The BEND



THE BEND | SERVO-ELECTRIC  
PANEL BENDER

### BCe Smart

Cella di piegatura intelligente ma a prezzi accessibili per una produzione semi automatica, efficiente e sicura.



THE BEND | SERVO-ELECTRIC  
PANEL BENDER

### EBe

Tecnologia servo-elettrica ad altissima efficienza per una migliore qualità di piegatura.



THE BEND | SERVO-ELECTRIC  
PANEL BENDER

### Fast Bend - FBe

Una soluzione di piegatura servo-elettrica altamente adattabile, efficiente, produttiva e semplice da usare.

## The SHEAR



THE SHEAR

### Shear Genius® EVO

Un'unica combinazione di punzonatura e cesoiatura integrate che solo Prima Power può offrire... con oltre 30 anni di esperienza!



THE SHEAR

### Shear Brilliance SBe

La cella SBe combina punzonatura e cesoiatura integrate, concetto ideato da Prima Power fin dal 1987, conta oggi oltre 2000 celle installate nel mondo. Materiali compositi, tecnologia servo-elettrica e motori lineari per raggiungere impressionanti livelli di performance che si traducono in un livello di produttività superiore, con lavorazioni versatili e flessibili.

Figura 1.7: Macchine laser per la lavorazione della lamiera

## The PRESS



THE PRESS | SERVO-ELECTRIC  
PRESS BRAKE

### Serie eP

Una soluzione di piegatura servo-elettrica veloce, precisa ed efficiente.



THE PRESS | SERVO-ELECTRIC  
PRESS BRAKE

### eP Genius

Soluzione di piegatura servo-elettrica efficiente con un magazzino di cambio utensili rapido ed automatico



THE PRESS | HYDRAULIC PRESS  
BRAKE

### Serie hP

Soluzione di piegatura "ECO" idraulica per il mercato di alto tonnellaggio

Elettronica industriale e tecnologie laser. Questa divisione comprende l'elettronica industriale e le sorgenti laser ed include lo sviluppo e la progettazione di elettronica di potenza e di controllo, con il relativo software. Il Gruppo progetta e realizza internamente le sorgenti laser e i controlli numerici, che vengono poi integrati nelle macchine laser prodotte.

Alla produzione e realizzazione delle sorgenti laser con tecnologia CO<sub>2</sub>, il Gruppo ha affiancato più di recente, ed in linea con la più recente evoluzione del mercato, la realizzazione di sorgenti laser con tecnologia Fibra, giungendo ad essere oggi il solo produttore di macchine laser a disporre anche della propria sorgente laser con tecnologia Fibra.

Questa scelta tecnologica ha permesso la riduzione dei rifiuti e l'assenza di utilizzo di gas, una maggiore efficienza produttiva e minore capacità di raffreddamento, quindi minor produzione di calore.



*Figura 1.9: Sorgente laser con tecnologia CO<sub>2</sub>*

Soluzioni di Additive Manufacturing. La Divisione di più recente costituzione, Prima Additive, sviluppa ed offre sistemi laser innovativi per i principali processi di Additive Manufacturing per la stampa del metallo: Powder Bed Fusion (PBF) e Laser Metal Deposition (LMD).

Il processo Powder Bed Fusion utilizza l'energia termica per fondere punti specifici su uno strato di polvere metallica. L'energia termica – prodotta da una sorgente laser – fonde la polvere, che raffreddandosi si solidifica e in questo modo viene realizzata ogni parte del prodotto. Il pezzo viene realizzato partendo da un design a strati, con un processo che viene ripetuto strato dopo strato per andare a comporre la forma finale.

Il processo Laser Metal Deposition utilizza energia termica generata da una sorgente laser, focalizzata per fondere la polvere metallica che viene irrorata nel punto focale del raggio laser. Questo raggio laser fonde la polvere con il componente su cui viene depositata. Il laser è coassiale alla testa di deposizione, che si muove su un numero di assi tra i 3 e i 5. È inoltre possibile installare una tavola rotante e inclinabile per mantenere l'area di fusione su un piano orizzontale.

Questa potenzialità rende il processo idoneo per aggiungere parti a pezzi già esistenti, così come per riparazioni e rivestimenti.



*Figura 1.11: Macchina per le applicazioni di additive manufacturing*



*Figura 1.12: Prototipo di una staffa. Esempio di prodotto realizzato in titanio con Print Sharp 250.*

Al di là degli aspetti economici, il Gruppo Prima Industrie ha da sempre prestato grande attenzione alle tematiche ambientali durante la fase di ricerca e sviluppo dei suoi prodotti. Su questo concetto si basa la scelta di unire produttività e sostenibilità ambientale.

Sotto il banner Green Means®, questo si traduce in tecnologia e competenza che soddisfano i requisiti sia di produttività che di produzione più sostenibile.



*Figura 1.13: Banner Green Means*

## 1.2 Rilocalizzazione dell'impresa

Il progetto di rilocalizzazione della sede di Prima Industrie ha visto la realizzazione di nuovi fabbricati siti in Via Pianezza 36 a Collegno (TO), nell'area prospiciente strada Torino-Pianezza – Statale 24 – e delle relative opere di urbanizzazione, effettuati con passi successivi sia per necessità economiche che operative.

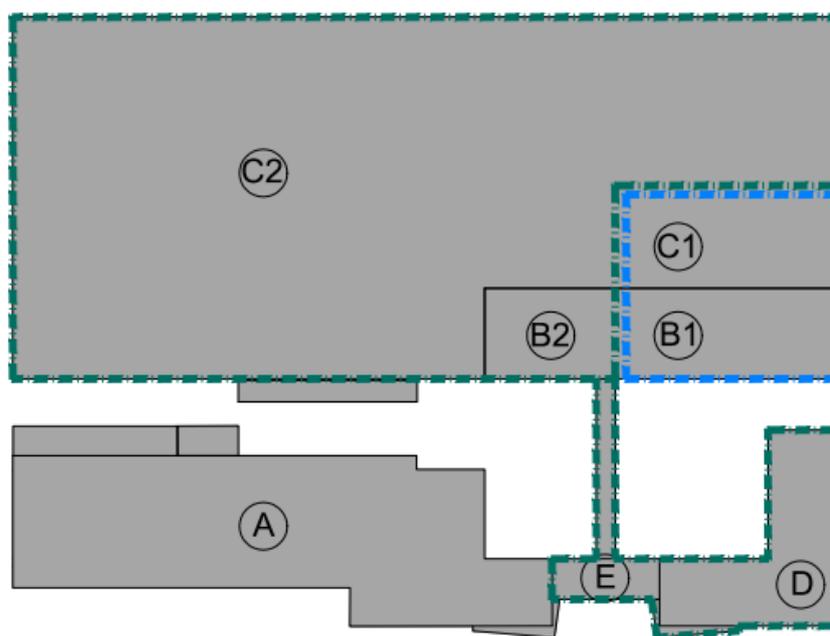
Nell'ambito del progetto, lo studio ha seguito inizialmente l'iter per la variante al piano regolatore e il relativo progetto preliminare del nuovo stabilimento. Dopodiché, lo studio ha redatto il progetto definitivo ed esecutivo delle opere di urbanizzazione e ha prestato la sua consulenza al committente tramite studi di fattibilità, stime e perizie e assistenza per commissioning durante la fase di realizzazione e collaudi.



*Figura 1.14: sede di Prima Industrie a Collegno (TO). Edificio HQTC – HeadQuarters and Tech Center*

Il sito su cui è in costruzione lo stabilimento confina a Sud con la strada provinciale, dove è presente un ingresso pedonale e uno carraio, collocati sulla metà del lato Sud. L'accesso degli autocarri avviene ad Ovest, cosicché i camion possano percorrere il lato Ovest, dove è presente l'ingresso allo showroom e all'edificio produttivo. Sul lato Est vi sono le uscite per gli autocarri, che avranno in questo modo facile accesso al ritorno sulla strada provinciale. Su ogni lato il confine è delimitato da una recinzione esistente illustrata nella tavola grafica.

L'intero stabilimento è il risultato della costruzione di più unità che è stata progettata e realizzata in modo sequenziale come precedentemente indicato in tre Fasi e al fine di avere un chiaro quadro della situazione, di seguito vi sono riportate le fasi di costruzione con i relativi edifici annessi.



*Figura 1.15: pianta della struttura degli edifici di Prima Industrie*

#### **Fase 1 (2014 – 2017)**

- Building A: palazzina uffici costituita da tre piani fuori terra e da un piano interrato,
- Showroom: porzione di capannone industriale adiacente agli uffici del Building A.

#### **Fase 2 (maggio 2018 – dicembre 2019)**

- Building B1: porzione di palazzina uffici, costituita da tre piani fuori terra e da piano interrato che tramite un corridoio è collegato direttamente alla sottocentrale di Fase 2 che a sua volta si collega alla sottocentrale di Fase 1,
- Building C1 detto anche Laboratorio ALC (Advanced Laser Center) o Additive: porzione di capannone industriale adiacente al Building B1, dedicato a ricerca e sviluppo nel settore laser.

**Fase 3** (luglio 2019 – oggi → in costruzione)

- Building B2: porzione di palazzina uffici, costituita da tre piani fuori terra e da un piano interrato che completa quello di Fase 2,
- Building C2: stabilimento produttivo per Prima Power, adiacente e complementare del piccolo volume del Laboratorio ALC.

Sono previsti degli ampliamenti per il futuro che vedranno la costruzione della palazzina D e di un collegamento tra gli edifici, ovvero la struttura E.

I disegni dello stabilimento completo espressi con le tavole sono riportati in allegato.

Per quanto riguarda la dimensione degli edifici di seguito le seguenti aree misurate al netto delle murature perimetrali e altezze:

<b>Edificio</b>	<b>Area [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Altezza media [m]</b>
A (3 piani)	2300	3,00
ShowRoom	1800	6,00
B1+B2 (3 piani)	3760	3,00
Interrato	1300	3,00
Corridoio interrato	150	4,00
Additive (C1)	760	13,00
Capannone Produttivo C2	9730	13,00
C2 (uffici – 3 piani)	500	3,00

*Tabella 1.1: Aree e altezze degli edifici dello stabilimento*

Le elevate metrature dello stabilimento produttivo e degli uffici rendono particolarmente importanti le scelte impiantistiche dal punto di vista energetico, che saranno presentate nel corso di questo lavoro.

### 1.3 Progetto “Cruscotto Energetico”

Come annunciato nell'introduzione, l'obiettivo del Gruppo Prima Industrie è stato quello di realizzare un edificio con caratteristiche energetiche avanzate ispirate a concetti di sostenibilità e di risparmio; infine di calcolare il risparmio energetico e l'impatto ambientale dello stabile al fine di progettare un relativo cruscotto di monitoraggio, in modo tale da mostrarne i valori numerici e i risultati in modo semplice e immediato.

Viene presentata inoltre un'analisi economico ambientale dell'intero insediamento per avere dei dati certi dei risparmi energetici e dei ritorni economici ed ambientali che si avranno nell'insediamento globale e di cui abbiamo già un documento per la sola Fase 1, ora verificabile in modo definitivo avendo i consumi di qualche anno di esercizio.

Dopo aver raccolto numerose informazioni dal punto di vista architettonico e da un punto di vista energetico riguardante l'impiantistica dello stabile, sono state effettuate le seguenti attività:

- raccolta di tutti i consumi energetici necessari per le varie funzioni dell'insediamento
- calcolo dei consumi energetici dell'insediamento per tutti gli impianti nel caso fossero di tipo non convenzionale
- calcolo dei risparmi di tutti gli impianti presenti rispetto a quelli tradizionali e del loro ritorno economico ed ambientale
- progettazione “Cruscotto Energetico” che evidenzia nei termini temporali richiesti (giornaliero, mensile, annuale, per periodi richiesti, ecc.) il bilancio energetico globale e per ogni impianto
- implementazione dello stesso nella domotica prevista, in modo che chi ne ha accesso possa avere a distanza, ovvero in remoto, tutte le informazioni del cruscotto e che si possano evidenziare quelle ritenute opportune su schermi appositi nelle aree definite di raccolta di tutti i consumi energetici necessari per le varie funzioni dell'insediamento.

## 2. Riferimenti teorici

### 2.1 Termofisica dell'edificio e proprietà termofisiche dei materiali

La termofisica è la disciplina che studia gli scambi di energia termica in relazione alle proprietà fisiche dei materiali. Quando l'applicazione concerne in particolare gli scambi di energia termica tra un edificio e l'ambiente circostante, si è soliti parlare di termofisica dell'involucro edilizio. La superficie di controllo è delimitata dall'involucro edilizio e identifica il sistema termodinamico "edificio" e influisce sull'entità e sulla qualità dei flussi di energia scambiati tra edificio ed ambiente esterno.

L'involucro si divide in involucro opaco e trasparente.

Nel bilancio termico rivestono un ruolo fondamentale i componenti dell'involucro opaco: si parla di trasmissione del calore quando il flusso termico li attraversa e di accumulo di calore perché vi è immagazzinamento e rilascio di calore. Il fenomeno di trasmissione è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno mentre l'accumulo di calore è dovuto alla variazione della sollecitazione termica nel tempo. La funzione principale dell'involucro opaco è fondamentalmente il controllo dei flussi termici ai fini della loro riduzione, in termini di isolamento termico e del conseguente calcolo della trasmittanza termica, secondo la normativa **UNI EN ISO 10077-1**.

Un'altra funzione consiste nel controllo dei flussi termici ai fini della riduzione dei carichi di picco, evidenziando quindi l'importanza del concetto dell'inerzia termica, descritta da parametri quali la massa frontale e la capacità termica frontale.

Le principali caratteristiche termofisiche dei materiali da costruzione sono:

- la conducibilità termica o conduttività, indicata spesso con  $\lambda$ , è la potenza termica che attraversa una parete di spessore unitario, a causa di un gradiente di temperatura unitario tra due facce, in condizioni di regime stazionario. La conduttività rappresenta l'attitudine di una sostanza a farsi attraversare da un flusso termico conduttivo. Si misura in  $W/(m \cdot K)$ .
- La densità o massa volumica, spesso indicata con  $\rho$ , è il rapporto tra massa e volume ed è pertanto una grandezza derivata. All'aumentare della densità, la conducibilità termica aumenta. Essa viene misurata in  $kg/m^3$ .
- Il calore specifico  $c$  di una sostanza è quantità di calore necessaria per aumentare di un grado la temperatura del materiale per unità di massa. Il calore specifico influisce fortemente sulla capacità termica delle strutture, intesa come attitudine ad accumulare energia termica. La sua unità di misura è  $kJ/(kg \cdot K)$ .

La trasmittanza termica (o la resistenza termica che è il suo inverso) è quindi il parametro più importante per descrivere il comportamento di una parete ed è definibile come il flusso termico che, in condizioni stazionarie, attraversa una superficie di area unitaria per differenza di temperatura unitaria tra ambiente interno ed esterno. Viene espressa in  $W/(m^2K)$  ed è funzione della composizione dell'involucro, quindi della sua stratigrafia ed è calcolabile considerando sia i contributi convettivi interni ed esterni che quelli conduttivi relativi ai differenti materiali che compongono lo strato del divisorio, attraverso la seguente relazione:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum_{j=1}^{n_2} \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_{j=1}^{n_2} R_j + \frac{1}{h_i}}$$

Dove:

- $h_e$  e  $h_i$  sono rispettivamente i coefficienti convettivi esterno ed interno misurati in  $W/(m^2K)$  definiti dalla **UNI EN ISO 6946**;
- $R_j$  è la resistenza termica dell'eventuale j-esimo intercapedine, distinta in relazione al tipo di ventilazione dell'aria (o del gas) all'interno dello stesso, misurata in  $(m^2K)/W$  definita dalle normative **UNI 10355** e **UNI EN ISO 6946**;
- $d_j$  è lo spessore del j-esimo componente in m;
- $\lambda_j$  è la conducibilità termica del j-esimo componente misurata in  $W/(m \cdot K)$  definita dalla normativa **UNI 10351**.

Più basso è il valore della trasmittanza, migliore è l'isolamento dell'edificio in considerazione. La capacità del componente di opporsi al passaggio di calore viene definita resistenza termica, che è l'inverso della trasmittanza. Al diminuire dello spessore ed all'aumentare della conducibilità termica aumenta la trasmittanza. Strutture con trasmittanza molto bassa consentono un buon isolamento termico. Intervenendo sulla geometria, variando quindi lo spessore, e variando materiali differenti, è possibile aumentare la resistenza termica. Minimizzare il valore della trasmittanza termica significa quindi isolare al meglio un edificio.

Invece, i componenti dell'involucro trasparente sono le finestre e le vetrate, e vengono intesi come strumenti multifunzione, dal momento che influiscono sull'illuminazione degli ambienti interni, consentono una vista dell'ambiente esterno, permettono un ricambio d'aria volontario, ed infine aggiungono un valore estetico all'edificio. Tali elementi dell'involucro edilizio presentano un comportamento particolare negli scambi termici con l'esterno:

- isolano da scambio termico per conduzione e convezione mediamente meno di una struttura opaca,
- consentono la trasmissione di energia termica per irraggiamento.

Il bilancio energetico per un involucro trasparente è valutato tramite un controllo sui flussi termici, attraverso il calcolo della trasmittanza termica, e un controllo della radiazione solare, sulla base della valutazione del coefficiente di trasmissione solare totale (o fattore solare).

La trasmittanza termica è quindi definita anche per i componenti vetrati di un edificio, e tiene conto di parametri come l'area del componente trasparente ma anche della superficie del telaio, oltre che della trasmittanza termica lineica e della resistenza termica dell'intercapedine.

$$U_w = \frac{\sum A_g * U_g + \sum A_f * U_f + \sum l_g * \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

Dove:

- $A_g$  rappresenta l'area del componente trasparente;
- $U_g$  rappresenta la trasmittanza termica dell'elemento trasparente, calcolata come:

$$U_g = \frac{1}{R_{SE} + \sum_{j=1}^{n_2} \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_{j=1}^{n_2} R_{sj} + R_{SI}}$$

- $R_{sj}$  rappresenta la resistenza termica della j-esima intercapedine misurata in (m<sup>2</sup>K)/W;
- $R_{SE}$  rappresenta la resistenza termica superficiale esterna misurata in (m<sup>2</sup>K)/W;
- $R_{SI}$  rappresenta la resistenza termica superficiale interna misurata in (m<sup>2</sup>K)/W;
- $A_f$  rappresenta la superficie del telaio misurata in m<sup>2</sup>;
- $U_f$  rappresenta la trasmittanza totale visibile del componente vetrato;
- $\psi_g$  rappresenta la trasmittanza termica lineica dovuta all'effetto combinato di un elemento trasparente, distanziatore e telaio, misurata in W/(mK). In genere, essa è fornita dal venditore o può essere ricavata empiricamente dalla normativa **UNI EN ISO 10077-1**;
- $l_g$  rappresenta il perimetro totale visibile dell'elemento vetrato.

Generalmente i componenti vetrati posso essere oscurati con apposite coperture (tipicamente mobili), come ad esempio le persiane. Per correggere la trasmittanza termica in questi casi è necessario correggere la  $U_w$  come segue:

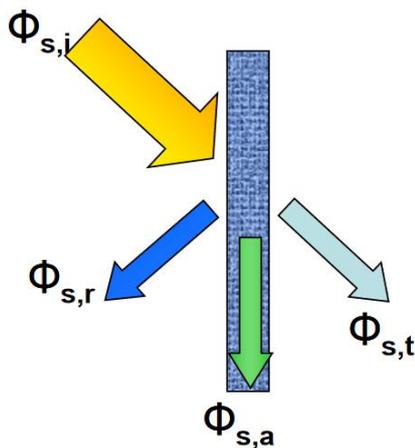
$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Dove  $\Delta R$  è la resistenza termica addizionale, dovuta sia all'intercapedine d'aria tra la chiusura e la finestra, sia alla chiusura chiusa stessa.

Il coefficiente di trasmissione solare totale, indicato anche come  $g$  o TSET, è definito come il rapporto fra il flusso dovuto alla radiazione solare complessivamente entrante in ambiente (dato dalla somma fra il flusso trasmesso direttamente più quello assorbito e riemesso in ambiente per convezione ed irraggiamento) e la radiazione solare incidente.

L'energia solare che incide su una superficie trasparente viene in parte assorbita, in parte riflessa, in parte trasmessa, secondo i seguenti rapporti:

$$\alpha = \frac{\Phi_{s,a}}{\Phi_{s,i}} \quad \rho = \frac{\Phi_{s,r}}{\Phi_{s,i}} \quad \tau = \frac{\Phi_{s,t}}{\Phi_{s,i}}$$



dove  $\Phi_{s,i}$  è la radiazione solare totale incidente sul piano vetrato, mentre  $\Phi_{s,a}$ ,  $\Phi_{s,r}$ ,  $\Phi_{s,t}$  sono rispettivamente le energie solari assorbite, riflesse e trasmesse dalla parete trasparente. La somma di tali coefficienti è sempre pari a 1.

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Figura 2.1: Ripartizione dell'energia solare su una superficie trasparente

Essendo note queste relazioni, TSET sarà calcolabile come il rapporto tra il flusso dovuto alla radiazione solare complessivamente entrante nell'ambiente interno e l'energia solare incidente sull'elemento vetrato, secondo la seguente formula:

$$g = \frac{(\tau + N * \alpha) * I}{I} = (\tau + N * \alpha)$$

## 2.2 Inerzia termica dell'involucro edilizio

L'inerzia termica è una grandezza descritta mediante legami funzionali tra calore specifico  $c$ , densità  $\rho$  e conduttività  $\lambda$  dei vari strati che costituiscono un componente opaco interessato da flussi di calore. Tale grandezza descrive l'attitudine ad accumulare calore da parte di un elemento edilizio, sfasandone il rilascio nel tempo. L'inerzia termica agisce riducendo la quantità di calore che si trasmette all'interno e ritardandone la trasmissione.

I principali effetti di un'elevata inerzia termica sono lo sfasamento temporale nella trasmissione del calore e l'attenuazione dell'onda termica.

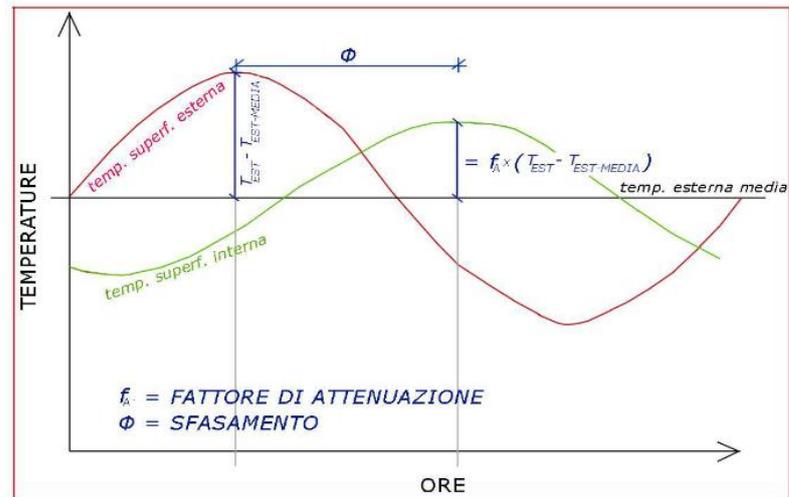


Figura 2.2: Grafico Temperatura – Ore che evidenzia il fattore di attenuazione e lo sfasamento

I parametri chiave per descrivere il fenomeno dell'inerzia termica sono la massa frontale termica e la capacità termica frontale. In entrambi sono descritte grandezze come la conducibilità termica, il calore specifico e la densità dei materiali che compongono le pareti dell'edificio.

Il primo parametro è la massa frontale MF, ovvero la massa della parete per unità di superficie frontale e rappresenta la capacità di un materiale di trasmettere calore per conduzione ed è calcolabile come:

$$MF = \sum_{i=1}^N \rho_i * s_i \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Il secondo parametro è la capacità termica frontale CF, ovvero l'energia termica immagazzinata nella parete per ogni grado di aumento della sua temperatura media e riferita alla superficie frontale. È calcolabile secondo la seguente formula:

$$CF = \sum_{i=1}^N \rho_i * cp_i \left[ \frac{J}{m^2K} \right]$$

Dove:

- $\rho_i$  rappresenta la densità dell'i-esimo materiale;
- $cp_i$  rappresenta il calore specifico dell'i-esimo materiale;
- $s_i$  rappresenta lo spessore dell'i-esimo strato.

Gli ulteriori parametri dinamici dipendono dal tipo di materiali che costituiscono la parete e sono descritti nella normativa **UNI EN ISO 13786**, in cui si considera una sollecitazione termica sinusoidale per le pareti nell'arco delle 24 ore di una giornata. Le grandezze in esame sono:

1.  $Y_{IE} = \frac{L_{IE}}{A}$  definita come trasmittanza termica periodica, ovvero l'ampiezza complessa della densità di flusso termico attraverso la superficie del componente adiacente all'ambiente interno, diviso per l'ampiezza complessa della temperatura all'esterno.  $A$  è l'area frontale della superficie attraversata dal flusso termico, in  $m^2$ , e  $L_{IE}$  è la conduttanza termica periodica, ovvero il numero complesso che correla il flusso termico periodico su un lato del componente con la temperatura periodica sul lato opposto dello stesso, considerando condizioni sinusoidali. Questa grandezza indica la densità di flusso termico ceduto all'interno per unità di superficie frontale per una variazione della temperatura esterna, considerando costante la temperatura interna;
2. Il fattore di attenuazione  $f$ , che è definito come il rapporto fra la trasmittanza termica periodica (dinamica)  $Y_{IE}$  del componente e quella stazionaria  $U$ . Essendo un fattore adimensionale, questo rapporto è sempre compreso tra 0 e 1 e sta ad indicare il decremento percentuale di flusso termico entrante nell'ambiente interno rispetto a quello che entrerebbe con una parete avente capacità termica nulla;
3. Lo sfasamento  $\varphi$ , che rappresenta la differenza tra l'istante in cui la sollecitazione è massima sul componente esterno e massima su quello interno;
4. La capacità termica areale interna,  $k_i$ , che esprime l'attitudine del componente opaco in esame ad accumulare calore quando sottoposto ad una sollecitazione termica dinamica sulla superficie interna.

## 2.3 Materiali isolanti e metodi di isolamento dell'edificio

Per isolante termico si intende un materiale capace di opporre buona resistenza al passaggio dell'energia termica. Questa proprietà è tanto più importante quanto più elevata è la differenza media tra temperatura interna e temperatura esterna, ovvero nella stagione invernale e in presenza di climi rigidi. In relazione al valore di conducibilità termica ( $\lambda$ ), i materiali possono essere classificati in:

- materiali isolanti con  $\lambda < 0,065 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- materiali debolmente isolanti con  $\lambda = 0,065 - 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- materiali non isolanti con  $\lambda > 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Tra le principali proprietà dei materiali isolanti va ricordata la notevole resistenza alle variazioni termiche determinate dalla temperatura dell'aria esterna e della radiazione solare, il basso assorbimento di acqua, l'elevata resistenza agli agenti atmosferici, l'adeguata permeabilità al vapore acqueo, l'elevata resistenza al fuoco, la facilità di lavorazione e messa in opera, la capacità di non danneggiare i materiali a contatto e la buona resistenza meccanica.

I materiali isolanti si suddividono principalmente in tre categorie: isolanti tradizionali, eco-compatibili e innovativi. Tra gli isolanti tradizionali troviamo quelli fibrosi come la fibra di vetro e la lana di roccia, tutti i tipi di calcestruzzi, e gli isolanti sintetici come il polietilene, il poliuretano, il polistirene e il PVC. Nella categoria degli isolanti eco-compatibili si trovano quelli di origine vegetale, come la fibra di legno, di canapa, di cocco, di lino o altri ancora, quelli di origine animale come la lana di pecora, e quelli di origine minerale come l'argilla espansa o la vermiculite. Gli isolanti di tipo innovativo sono quelli che garantiscono un'alta prestazione e tra di essi figurano gli isolanti termoriflettenti multistrato, i pannelli con aerogel e i pannelli isolanti sottovuoto.

Per pareti con media o elevata massa frontale sono meno importanti la massa volumica e il calore specifico del materiale isolante, più importante è invece la conducibilità. Per pareti leggere, sono molto importanti la massa volumica e il calore specifico: materiali con maggiore massa volumica e calore specifico, a parità di conducibilità termica, presentano migliore comportamento estivo (quindi sono preferibili isolanti di origine vegetale). La scelta dell'isolante più adatto dipende da molte variabili, è quindi necessario un'analisi attenta della distribuzione dei carichi termici in ambiente per ottimizzare il risultato.

In generale, l'isolamento termico di un edificio è legato alla presenza di un'adeguata coibentazione che consente di abbassare la trasmittanza termica delle pareti, sfruttando materiali che abbiano una bassa conducibilità termica, cioè una bassa propensione a trasportare calore per conduzione. A seconda che le pareti siano verticali o orizzontali, il tipo di isolante ed il modo in cui esso può essere usato, sono differenti.

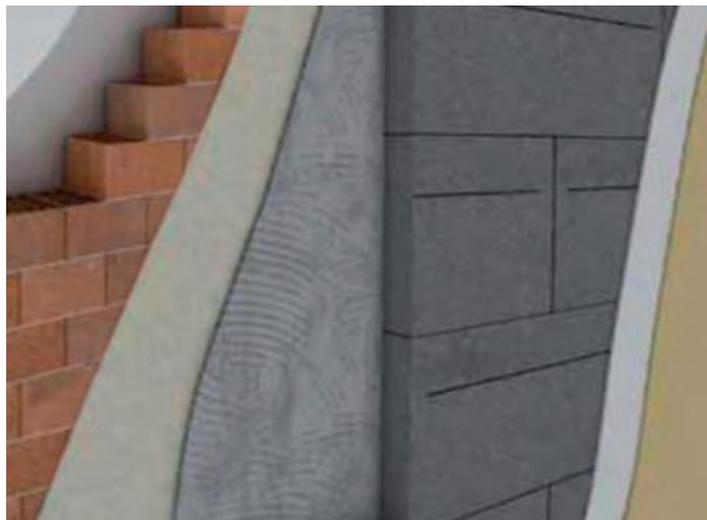
Tra le tecniche di isolamento, per una parete verticale si parla di isolamento dall'interno quando sulle superfici interne delle pareti perimetrali viene applicato direttamente lo strato di isolante termico. È usato principalmente per riqualificazioni in cui non si può intervenire dall'esterno. Ha il vantaggio di permettere un raggiungimento rapido della temperatura ambientale voluta, in quanto esclude l'inerzia termica della parete di supporto. Consente una rapida e facile messa in opera che si traduce in economie di mezzi e risorse. Riduce però la superficie calpestabile degli ambienti interni riscaldati e determina la formazione di ponti termici. Dal punto di vista termigrometrico l'isolamento dall'interno risulta essere problematico dal momento che vi è il rischio di condensa superficiale se il materiale della parete non ha elevata resistenza al vapore.

Un secondo metodo di isolamento per una parete verticale è l'isolamento in intercapedine. Viene realizzato tramite il posizionamento di due pareti in laterizi o in calcestruzzo tra le quali viene inserito il materiale isolante. Il riempimento delle intercapedini può avvenire mediante:

- l'inserimento di lastre rigide di materiale isolante (poliuretano, polistirene, fibra minerale, ecc.) tra le due facce dell'intercapedine e una delle due pareti deve però essere nuova,
- insufflaggio di materiale sfuso (vermiculite, sughero, polistirene, argilla espansa, ecc.) all'interno dell'intercapedine che deve presentare uno spessore minimo di circa 5 cm,
- iniezione di materiale inizialmente liquido (schiume, resina), all'interno dell'intercapedine, che deve presentare uno spessore minimo di circa 3 cm.

Questa tecnica è usata principalmente per dare elevata inerzia termica grazie alla parete massiva interna, evitare i ponti termici, permettere la scelta tra diversi isolanti, aumentare la massa frontale esterna e isolare acusticamente l'ambiente. Tra i principali vantaggi emerge la semplicità e il basso costo di posa in opera, la non necessità di finiture per esigenze estetiche, il fatto che l'isolante è al riparo da eventuali agenti atmosferici, e soprattutto vi è la garanzia di un miglior comfort termico degli occupanti, dal momento che si innalza la temperatura media radiante. Uno degli svantaggi principali è il rischio di formazione di condensa tra le intercapedini e l'impossibilità di riduzione degli effetti dei ponti termici.

Un'altra metodologia utilizzata è quella di isolamento dall'esterno, definito anche "a cappotto". Sulle superfici esterne delle pareti perimetrali viene applicato direttamente lo strato isolante per mezzo di collanti e ancoraggi meccanici. L'isolamento a cappotto riduce il rischio di condensazione interstiziale, elimina i ponti termici, migliora il comportamento estivo della parete e attenua i fenomeni di degrado dovuto alle dilatazioni termiche delle pareti esterne. È usato principalmente per ambiente riscaldati in continuo con interruzione notturna, per interventi di riqualificazione energetica e per proteggere gli ambienti interni dagli agenti esterni. Uno svantaggio è che con questa tecnica, quando si vuole raggiungere un'adeguata temperatura interna la fatica è maggiore, poiché l'inerzia termica delle pareti deve anch'essa raggiungere la temperatura opportuna, rallentando il processo di riscaldamento/raffrescamento.



*Figura2.3: Isolamento a cappotto: esempio di stratigrafia*

Una ulteriore soluzione per un isolamento dall'esterno, è quella che prevede una parete ventilata. Essa determina un miglior controllo della condensazione interstiziale, l'eliminazione dei ponti termici e un miglior comportamento estivo grazie alla ventilazione della parete. Ai fini dell'isolamento, oltre al coibente si sfrutta la ventilazione di una camera d'aria creata fra l'isolante ed il rivestimento esterno.

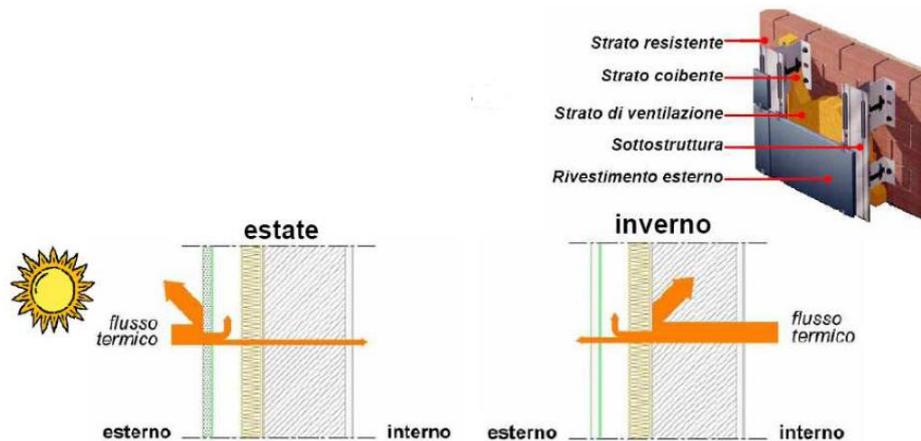


Figura 2.4: Isolamento parete ventilata: esempio di stratigrafia

## 2.4 Bilanci di massa e di energia

Per determinare i bilanci di massa ed energetico di un edificio inserito, bisogna tenere conto delle sollecitazioni termiche fornite dall'ambiente esterno che risultano quindi le forzanti dei flussi entranti o uscenti dall'edificio stesso. Per comprendere quale sia il fabbisogno termo-energetico di un locale è fondamentale considerare tre tipi di bilanci:

- Bilancio di massa (Aria);
- Bilancio di massa (Vapore acqueo)
- Bilancio di energia;

### Bilancio di massa (Aria)

I fenomeni che contraddistinguono il bilancio della massa d'aria sono i fenomeni di infiltrazione/esfiltrazione e ventilazione. Mentre la ventilazione è un fenomeno che può essere controllato mediante il ricambio d'aria, il primo fenomeno non può essere controllato, dal momento che è legato alla presenza di infissi come porta, finestre, e varie fessure. I ricambi d'aria  $n$  ( $h^{-1}$ ), sono calcolati ogni ora tenendo conto della seguente formula:

$$n = \frac{q_v}{V}$$

Dove  $q_v$  è la portata volumetrica d'aria [ $m^3/s$ ] e  $V$  è il volume di controllo scelto [ $m^3$ ] che può essere una singola stanza o tutto l'edificio. Si può definire un bilancio in termini di portate massiche:

$$\sum_i G_{a,in} - \sum_j G_{a,out} = \frac{dm}{dt} = 0$$

Dove  $G_{in}$  e  $G_{out}$  [ $kg/s$ ] sono rispettivamente le portate d'aria in ingresso e in uscita dal volume di controllo e dal momento che non vi è variazione rispetto al tempo la loro somma algebrica risulterà nulla.

#### Bilancio di massa (Vapore acqueo)

La presenza di vapore acqueo in una stanza dipende dalla presenza di piante, persone e animali, che determinano così la quantità di vapore acqueo in ambiente. Maggiore è la quantità di lavoro svolto dagli occupanti, maggiore sarà la produzione di vapore acqueo. Se si conoscono il titolo dei flussi in ingresso e in uscita, si può ottenere un bilancio secondo la seguente formula:

$$G_{vap,imp} + G_{vap,int} + \sum_i (G_{a,in} * x_{in}) - \sum_j (G_{a,out} * x_{out}) = \frac{dm_{vap}}{dt} = 0$$

Dove:

- $G_{vap,imp}$  è la portata di vapore generata dall'impianto di climatizzazione in  $kg/s$ ;
- $G_{vap,int}$  è la portata di vapore generata dalle fonti interne in  $kg/s$ ;
- $G_{a,in}$  e  $G_{a,out}$  sono le portate d'aria secca;
- $x_{in}$  e  $x_{out}$  i rispettivi titoli in  $kg_v/kg_a$ ;
- le portate di vapore entranti e uscenti in  $kg/s$  sono indicati dai termini in sommatoria.

Il caso semplificato vede  $G_{a,in}=G_{a,out}$ .

## Bilancio energetico

Il bilancio energetico risulta come bilancio principale al fine di una corretta analisi energetica. Partendo dal primo principio della termodinamica per sistemi aperti è possibile ottenere un bilancio di potenza per un edificio. In forma generale il primo principio risulta:

$$\sum_i Q_i - \sum_j L_j = \sum_k G_k * \left( h + g * z + \frac{v^2}{2} \right)_k * \Delta t + \Delta E_{tot}$$

Dal momento che si ipotizza di essere in condizioni stazionarie, vengono trascurati i termini potenziale e cinetico e viene considerato nullo il lavoro interno  $L_j$ . Inoltre possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- $Q_i$  è il calore  $i$ -esimo in kJ positivo o negativo a seconda che sia in ingresso o in uscita dal sistema;
- $G_k$  è la portata massica in kg/s di aria in ingresso o in uscita dal sistema;
- $h$  è l'entalpia specifica massica in kJ/kg;
- $g$  è l'accelerazione gravitazionale pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;
- $z$  è la quota in m;
- $v$  è la velocità del fluido in m/s;
- $\Delta t$  è l'intervallo di tempo considerato e misurato in s.

Considerando la portata in ingresso uguale alla portata in uscita, l'espressione può essere semplificata. Viene inoltre ipotizzato che nel volume di controllo il gas in esame abbia un comportamento ideale. La formula diventa:

$$\sum_i Q_i = G_a * c_p * (\Delta T) * \Delta t$$

Considerando i fabbisogni e gli apporti termici, l'espressione può essere riscritta in due modi, distinguendo tra caso di riscaldamento o caso invernale, e caso di raffrescamento o caso estivo.

$$Q_{int} + Q_{sol} + Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$$

Dove:

- $Q_{int}$  rappresenta gli apporti dovuti ad oggetti interni (apparecchiature elettriche/elettroniche, illuminazione, ecc.);
- $Q_{H,nd}$  rappresenta gli apporti dovuti all'impianto di riscaldamento;
- $Q_{sol}$  rappresenta gli apporti dovuti all'energia irradiata dal sole;
- $Q_{H,tr}$  rappresenta le dispersioni per trasmissione attraverso l'involucro causate dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno;
- $Q_{H,ve}$  rappresenta le dispersioni per ventilazione causate dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno.

### Caso estivo (raffrescamento)

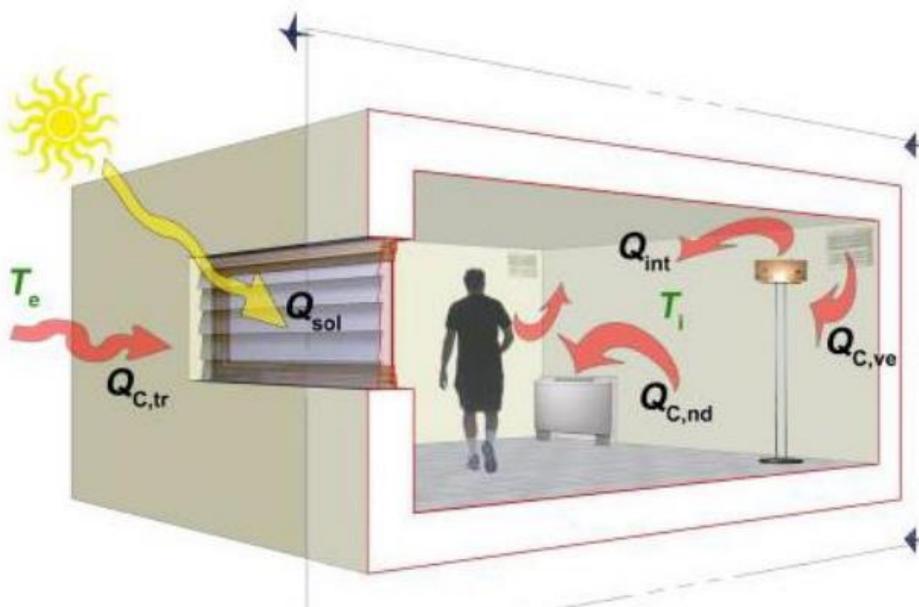


Figura 2.5: Bilancio flussi termici per il caso estivo

Per il fabbisogno di raffrescamento nel caso estivo la formula diventa:

$$Q_{C,nd} = -Q_{C,tr} - Q_{C,ve} + Q_{int} + Q_{sol}$$

### Caso invernale (riscaldamento)

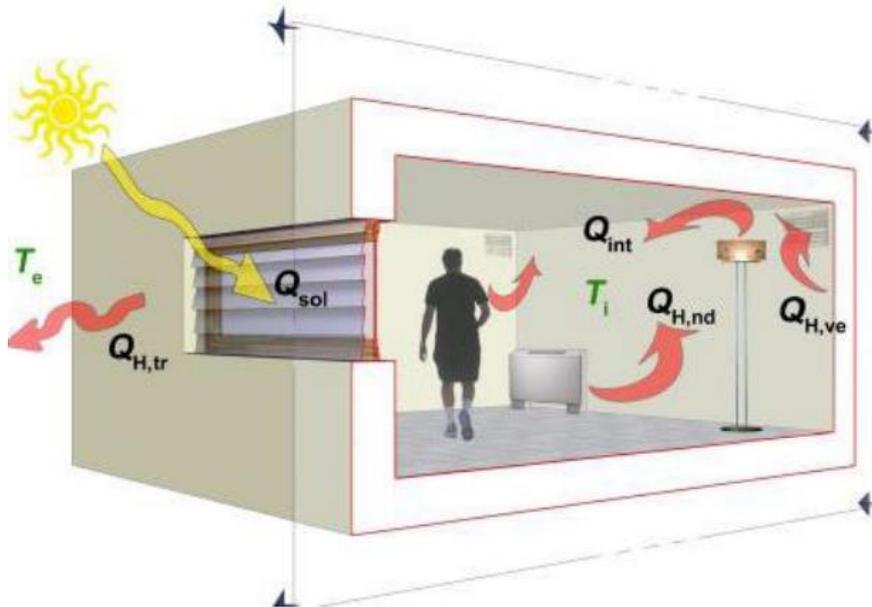


Figura 2.6: Bilancio flussi termici per il caso invernale

Nel caso invernale per il fabbisogno di riscaldamento la formula diventa:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - Q_{int} - Q_{sol}$$

Questi bilanci possono ancora essere perfezionati attraverso dei fattori di utilizzazione che quantificano i flussi energetici utili alla riduzione del fabbisogno termico (in funzione del caso in esame). Ne consegue allora, per il caso estivo:

$$Q_{C,nd} = -\eta_C * (Q_{C,tr} + Q_{C,v}) + Q_{int} + Q_{sol}$$

Mentre per il caso invernale:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} - \eta_H * (Q_{int} + Q_{sol})$$

Come si nota in entrambi i casi lo scopo del fattore di utilizzazione è quello di diminuire la quota dei flussi che hanno stesso segno del fabbisogno, in questo modo si diminuisce il valore assoluto del fabbisogno stesso, che sia esso di raffrescamento o di riscaldamento.

## 3. Soluzioni implementate dall'azienda

### 3.1 Soluzioni edili

#### Impermeabilizzazione

Per quanto questo aspetto non sia determinante per un'analisi energetica è stato inserito per completezza descrittiva dell'edificio.

La soluzione adottata dall'azienda al fine di impermeabilizzare e proteggere il calcestruzzo per cristallizzazione è quella dell'impiego di materiale fornito da PENETRON®. Tra i vari componenti della fornitura vi è una particolare malta cementizia che resiste ad elevate pressioni (positive e/o negative) idrostatiche e che possiede un'ottima impermeabilità all'acqua e resistenza al contatto con agenti aggressivi quali cloruri e solfati. Essa è in forma "integrale", ovvero forma un corpo unico con la struttura in calcestruzzo e non deve essere confusa con un rivestimento superficiale. Grazie a questo additivo si aumenta la durabilità della struttura, riducendo in modo considerevole la permeabilità e le microfessurazioni del calcestruzzo.

Un altro componente della fornitura sono i giunti waterstop sigillanti, che a contatto con l'acqua aumentano il proprio volume attraverso la formazione di un sistema colloidale stabile che garantisce la permanente tenuta ermetica della connessione dei giunti del calcestruzzo.



*Figura 3.1: Giunto waterstop sigillante idroespansivo di colore nero*

Infine, sono presenti bande coprigiunto installate per arrestare la penetrazione dell'acqua attraverso i giunti del calcestruzzo: l'effetto è quello di un arresto immediato dell'infiltrazione d'acqua in pressione dell'edificio.

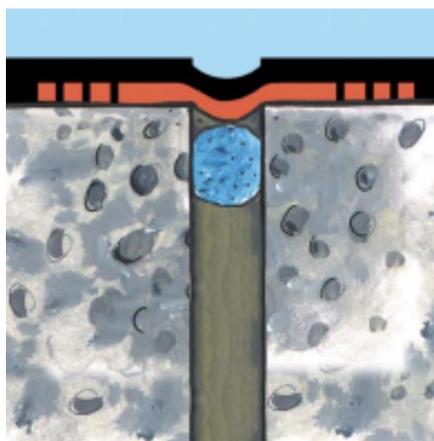


Figura 3.2: Banda impermeabilizzante coprigiunto per giunti di dilatazione.

È inoltre presente una membrana impermeabilizzante per i locali tecnici, ovvero l'involucro sopra la soletta di copertura della centrale tecnologica.

#### Partizioni del pre-fabbricato

- Pannelli piani in polistirene espanso per isolamento a cappotto.

PANNELLI ISOGEN® Por 100 RF CE ETICS – materia prima NEOPOR DATI TECNICI SECONDO UNI EN 13163 e UNI EN 13499				
Parametro	Normativa di riferim.	Unità di misura	Cod.	ISOGEN® Por 100 RF CE ETICS
Cond. termica	EN 12167	W/mK	$\lambda_D$	0,031
Resist. a compressione	EN 826	kPa	Cs(10)	$\geq 100$
Resist. a flessione	EN 12089	kPa	BS()	$\geq 150$
Resistenza a trazione	EN 1607	kPa	TR	$\geq 150$
Stabilità dimensionale in condizioni di laboratorio (23°C – 50% U.R.)	EN 1603	%	DS(N) 2	+/- 0,2%
Coeff. dilataz. termica lineare		1/K		$6 \times 10^{-5}$
Permeabilità al vapore acqueo	EN 12086	Mg/Pahm		da 0,010 a 0,024
Resistenza alla diffusione del vap.	EN 12086	ad	$\mu$	30 / 70
Ass. acqua per immersione 28 gg	EN 12087	%	WL(T)3	$\leq 3 \%$
Calore specifico	EN 12524	J/kg K		1210

Figura 3.3: Scheda tecnica dei pannelli piani in polistirene espanso

- Copertura in vetroresina per gli ingressi

- Pannello curvo coibentato, utilizzato per il Capannone produttivo e lo showroom. È costituito da strati di lamiera grecata, ovvero alluminio e acciaio, e da una lamiera inferiore in acciaio. È isolato termicamente da uno strato di poliuretano espanso con  $\lambda=0,023$  a  $T=10^{\circ}\text{C}$ .



Figura 3.4: Pannello curvo coibentato utilizzato per la copertura del capannone produttivo e dello showroom

- Sigillante elastico antifuoco, idoneo per una perfetta tenuta contro il passaggio di fumo, gas tossici, fiamme e calore.
- Sigillante interno ed esterno tissotropico, ovvero capace di variare la sua viscosità col variare delle sollecitazioni di taglio.
- Membrana impermeabilizzante sintetica.

### Serramenti esterni e portoni

- Infissi esterni in alluminio. Grazie all'uso di materiali e tecnologie a bassa emissività, sono garantiti ottimi standard termici ed acustici.



Figura 3.5: Infissi esterni in alluminio e specifiche

- Lucernari terrazzo: vetro isolante in vetro. È duraturo, antigraffio ed ermetico al vapore, consente un buon isolamento acustico e termico. È provvisto di sistemi di ombreggiamento, dispositivi di aerazione, e di un dispositivo di apertura a passo d'uomo.



Lucernario chiuso

Lucernario in posizione di aerazione

Figura 3.6: Lucernario terrazzo

- Vetri per pareti esterne colorati in pasta  
La particolarità di questi vetri è di avere una elevata trasmissione luminosa pur essendo dotati di un buon controllo solare.

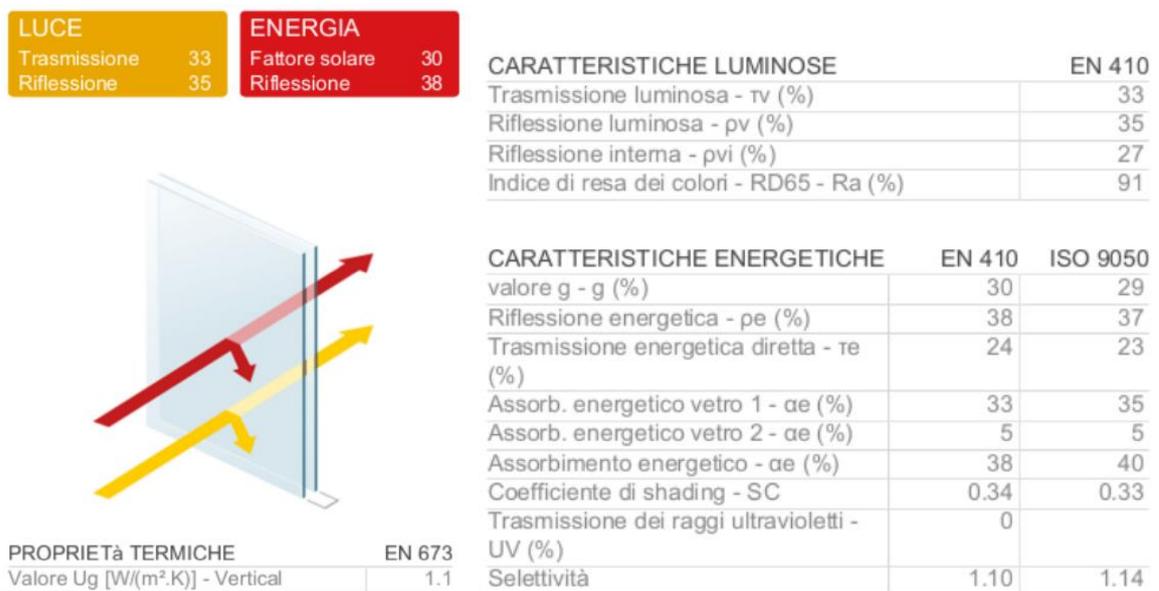


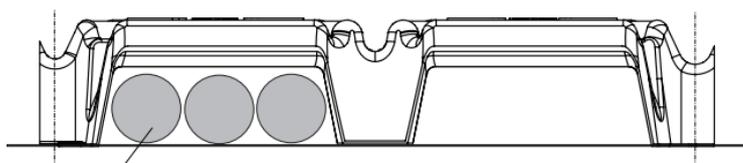
Figura 3.7: Caratteristiche luminose ed energetiche dei vetri colorati in pasta per pareti esterne

- Portoni a libro ad ante coibentate. I modelli motorizzati e telecomandati sono stati scelti come soluzione per i portoni del capannone produttivo. Consentono un buon isolamento termico ed acustico e inoltre sono presenti degli oblò in vetro che consentono un parziale passaggio di radiazione solare.

- Tende alla veneziana in alluminio. Sono utilizzate per il controllo della luminosità interna degli uffici, e possono essere comandata a distanza o con la manovella.

### Vespai aerati piano interrato (involucro verso il suolo)

Il cassero a perdere permette la realizzazione di vespai aerati, intercapedini per edifici civili e industriali di nuova costruzione o in ristrutturazione. Tale soluzione permette un controllo sulla ventilazione sotterranea per contrastare l'umidità di risalita e del gas Radon. Inoltre consente il passaggio di tubazioni per la dispersione di acqua o per i drenaggi.



Passaggio fino a n. 3 tubazioni Ø 57 mm per tunnel

Figura 3.8: Vespai aerati

### Isolamento termico

Parte delle pareti dello stabilimento, ovvero alcune pareti esterne degli uffici, sono isolate termicamente "a cappotto".

I pannelli Lambda k8 sono utilizzati per tale tipologia di isolamento e sono realizzati in polistirene espanso sinterizzato garantendo ottimi valori di conducibilità termica e quindi di isolamento.

SCHEDA TECNICA ISOLPIU' LAMBDA K8				
Classificazione EN 13163 In conformità coi requisiti richiesti dalla UNI EN 13499	Unità di misura	Codice	ISOLPIU' LAMBDA K8 031	ISOLPIU' LAMBDA K8 030
Resistenza a trazione perpendicolare alle facce	Kpa	Kpa	100	150
Conducibilità termica dichiarata	W/m °K	$\lambda_D$	0.031	0.030
Resistenza a flessione	Kpa	BS	> 130	> 150
Stabilità dimensionale	%	DS (N) 2	+/- 0,2	+/- 0,2
Reazione al fuoco	Euroclasse	EN 13501-1	E	E
Assorbimento acqua (mm. totale 28 gg.)	%	WL (T) i	$W_{lt} \leq 3$	$W_{lt} \leq 3$
Assorbimento acqua (mm. parziale 28 gg.)	Kg/m <sup>2</sup>	WL (P) i	$W_{lp} \leq 0,2$	$W_{lp} \leq 0,2$
Permeabilità al vapore acqueo	mg/(m·h·Pa)	$\delta$	0.018 - 0.036	0.010 - 0.024
Resistenza alla diffusione	1	$\mu$	20/40	30/70
Tolleranza sulla lunghezza	mm.	L 2	+/- 2 mm.	+/- 2 mm.
Tolleranza sulla larghezza	mm.	W 2	+/- 2 mm.	+/- 2 mm.
Tolleranza sullo spessore	mm.	T 2	+/- 1 mm.	+/- 1 mm.
Tolleranza sulla ortogonalità	mm.	S 2	+/- 2 mm.	+/- 2 mm.
Tolleranza sulla planarità	mm.	P 3 > mm. 5	+/- 3 mm.	+/- 3 mm.
Calore specifico	J/KgK	c	1340	1340

Figura 3.9: Scheda tecnica dei pannelli per l'isolamento a cappotto

È presente inoltre una rete in fibra di vetro come armatura e rinforzo dello strato rasante applicato sui pannelli isolanti dei sistemi a cappotto.

Ove non è presente l'isolamento "a cappotto", la soluzione ha previsto la scelta dell'isolamento a facciata ventilata.

L'isolamento termico del piano interrato prevede l'utilizzo di pannelli di polistirene estruso, utilizzato principalmente per pareti controterra e sottopavimento.

Conducibilità termica $\lambda_0$ alla $t_m=10^\circ\text{C}$		$\lambda_0$	
Resistenza termica $R_0$ alla $t_m=10^\circ\text{C}$			$R_0$
Spessori (mm)			
	30	0,032	0,90
	40	0,033	1,25
	50	0,034	1,50
	60	0,034	1,80
	80	0,035	2,30
	100	0,035	2,85
	120	0,035	3,45
	140	0,035	4,00
	160	0,035	4,60
	180	0,036	5,15
	200	0,036	5,70

Figura 3.10: Valori della conducibilità e resistenza termica dei pannelli isolanti al variare dello spessore

## 3.2 Soluzioni impiantistiche

La valutazione e la progettazione delle ottimali soluzioni impiantistiche per l'azienda hanno posto come obiettivo primario quello di massimizzare l'efficienza energetica globale dell'edificio in questione, senza tuttavia prescindere dall'ottimizzazione della qualità dell'aria dell'ambiente interno e il comfort termoigrometrico. Avendo tenuto conto delle principali caratteristiche dello stabile, ad esempio i materiali di costruzione, le dispersioni e la geometria, nonché le caratteristiche geografiche e meteorologiche, è allora stato possibile finalizzare una scelta oculata dell'impiantistica. Di seguito sono classificate le differenti tipologie di impianti che soddisfano tutti i requisiti precedentemente descritti.

## 3.2.1 Sistema di generazione

### 3.2.1.1 Impianto geotermico

La principale scelta di Prima Industrie per la generazione di energia elettrica è ricaduta sull'impianto geotermico, che sfrutta un accumulatore termico naturale: l'acqua di falda. Indipendentemente dalla temperatura dell'aria esterna, la temperatura dell'acqua di falda rimane per lo più costante tutto l'anno. Le pompe di calore acqua-acqua estraggono dall'acqua di falda l'energia termica e la utilizzano per riscaldare o raffreddare l'edificio. Le pompe di calore acqua-acqua rientrano tra le scelte più efficienti grazie al loro rendimento, soprattutto per gli edifici di grandi dimensioni, e anche se nel complesso la loro installazione è più costosa, l'investimento si ammortizza già in pochi anni.

Per ogni pompa di calore acqua-acqua è presente un pozzo di aspirazione da falda e un pozzo di scarico in falda o un semplice scarico in roggia. Nel nostro caso, in accordo con le autorità, tenuto conto della posizione dello stabilimento, si è preferito lo scarico in roggia in quanto l'acqua di scarico può essere vista come un alimento per l'agricoltura.

Al fine di sfruttare il passaggio della falda sotterranea limitrofa, sono stati installati:

- cinque pozzi di presa sotterranei a circa 50 metri di profondità, in prossimità dell'edificio A, volti a soddisfare il fabbisogno energetico di tale struttura
- due pozzi di presa sotterranei a circa 40 metri di profondità (PP1 e PP2 in figura), sul confine Nord in prossimità dell'edificio produttivo C2, che soddisfano il fabbisogno energetico degli edifici B1, B2 e C1
- due pozzi di presa sotterranei in costruzione (PP3 e PP4), adiacenti a questi ultimi, che soddisferanno il fabbisogno energetico dell'edificio C2.

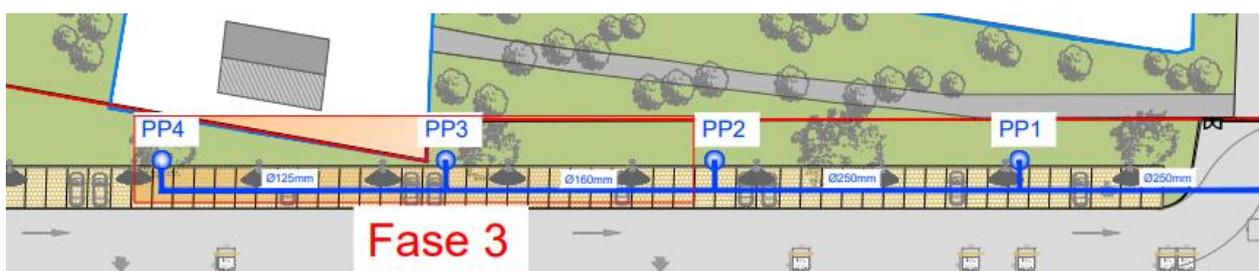


Figura 3.11: Pozzi di presa sotterranei di Fase 2 e Fase 3

L'acqua di falda viene prelevata dal pozzo di aspirazione o di estrazione e viene pompata verso l'alto alla centrale termica tramite un'elettropompa di emungimento che la conduce verso lo scambiatore di calore.



Figura 3.12: Particolare dell'impianto geotermico della centrale termica

### 3.2.1.2 Pompa di calore acqua-acqua

Il sistema principale di generazione è quello destinato all'uso delle pompe di calore. In questo sistema,

l'acqua di falda, dopo il passaggio in uno scambiatore di calore, viene utilizzata come dissipazione del calore di condensazione (in funzione di raffrescamento) oppure come fonte di calore (in funzione di riscaldamento).

Gli impianti termici sono quindi alimentati da una centrale a pompe di calore ad acqua di falda, che produce:

- durante la stagione di **riscaldamento**: acqua calda per il riscaldamento e la produzione di ACS;
- durante la stagione di **raffrescamento**: acqua refrigerata per la climatizzazione e acqua calda per i post-riscaldamenti e la produzione di ACS.

Tale tipologia di impianto, che distingue la generazione tra assetto invernale ed assetto estivo, consente di ottenere rendimenti di produzione molto elevati e praticamente costanti durante tutto l'anno.

#### Principio di funzionamento

Il ciclo frigorifero inverso è quello che caratterizza il funzionamento di un comune frigorifero. Sulla base di questo ciclo termodinamico inverso viene affrontato lo studio del principio di funzionamento di una pompa di calore.

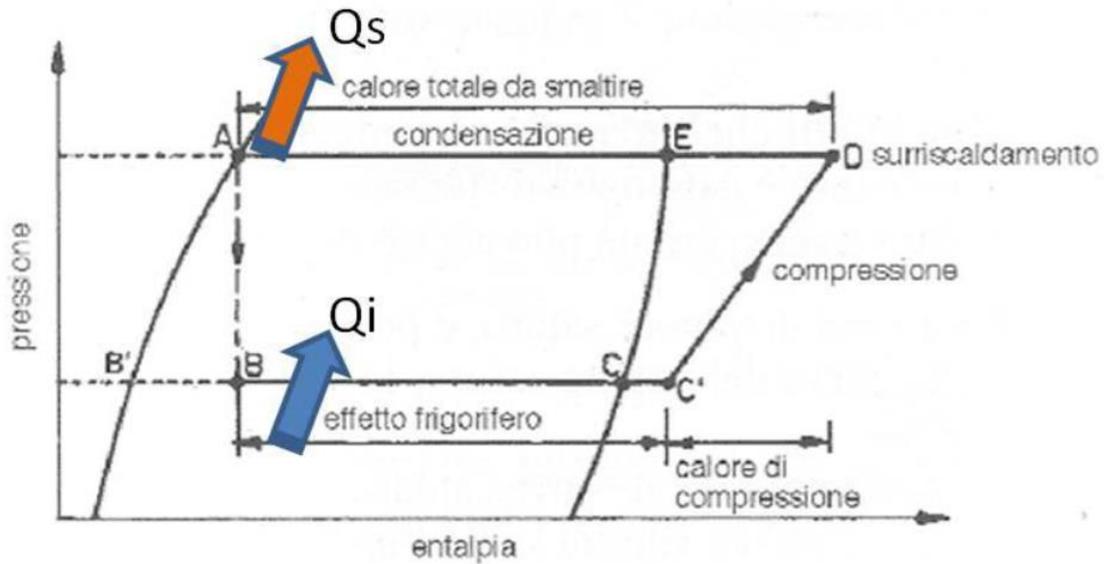


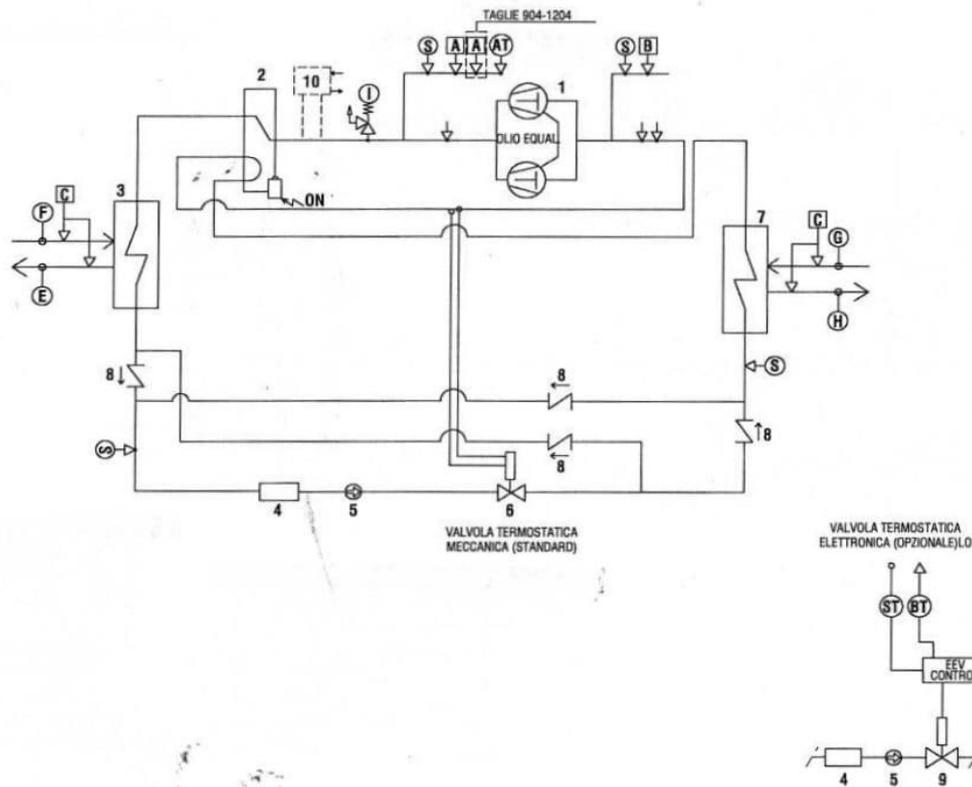
Figura 3.13: Ciclo frigorifero su grafico pressione-entalpia

Il circuito è chiuso ed è fondamentalmente costituito da un compressore, un condensatore, un evaporatore e da una valvola di espansione.

Durante il funzionamento, all'interno del circuito tale fluido subisce le seguenti trasformazioni:

- Compressione: il fluido frigorifero proveniente dall'evaporatore allo stato gassoso, da bassa pressione viene portato ad alta pressione. Nella compressione il fluido si riscalda assorbendo una certa quantità di calore;
- Condensazione: il fluido frigorifero, proveniente dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido, cedendo calore all'esterno;
- Espansione: passando attraverso la valvola di espansione, il fluido frigorifero liquido espandendosi si trasforma parzialmente in vapore e si raffredda;
- Evaporazione: il fluido frigorifero assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente;

## Schema frigorifero - WQH 524 to 1204 - R410A



COMPONENTI	DISPOSITIVI SICUREZZA / CONTROLLO
1 Compressore	A Pressostato alta pressione (40,5 bar)
2 Valvola 4-vie	B Pressostato bassa pressione (1,5 bar)
3 Scambiatore di calore esterno	AT Trasduttore alta pressione
4 Filtro deidratatore	BT Trasduttore bassa pressione
5 Spia passaggio liquido	C Pressostato differenziale acqua (50 mbar)
6 Valvola termostatica meccanica	E Sensore temperatura uscita acqua
7 Scambiatore di calore interno	F Sensore temperatura uscita ingresso
8 Valvola di ritengo	G Sensore temperatura uscita ingresso
9 Valvola termostatica elettronica	H Sensore temperatura uscita acqua
10 Desurriscaldatore	I Valvola PED (45 bar)
	S 5/16" Connessione Shradere (solo servizio)
	↓ Connessioni con valvola Shradere

Figura 3.14: Schema frigorifero della pompa di calore

Come per tutte le pompe di calore, in funzione di riscaldamento, l'energia termica dell'acqua di falda viene utilizzata per riscaldare all'interno del circuito un fluido refrigerante - **R134a** - che successivamente evapora, e la sorgente termica si raffredda.

La pompa di calore incrementa la temperatura del fluido fino al livello di set-point grazie all'utilizzo del compressore elettrico. Per il riscaldamento dell'edificio lo scambiatore di calore cede l'energia del fluido refrigerante che si trova allo stato gassoso all'acqua di riscaldamento che scorre nelle apposite tubazioni installante per riscaldare.

Infine, d'estate la pompa di calore può essere usata per produrre acqua fredda con cui raffreddare gli ambienti e il circuito del refrigerante viene invertito affinché la pompa di calore lavori come frigorifero, trasferendo calore fuori dall'utenza.

In tal caso, l'energia termica dell'ambiente caldo viene sfruttata per l'evaporazione del fluido termovettore, e, a seguito della compressione, avverrà la condensazione che restituirà energia termica all'acqua di falda.

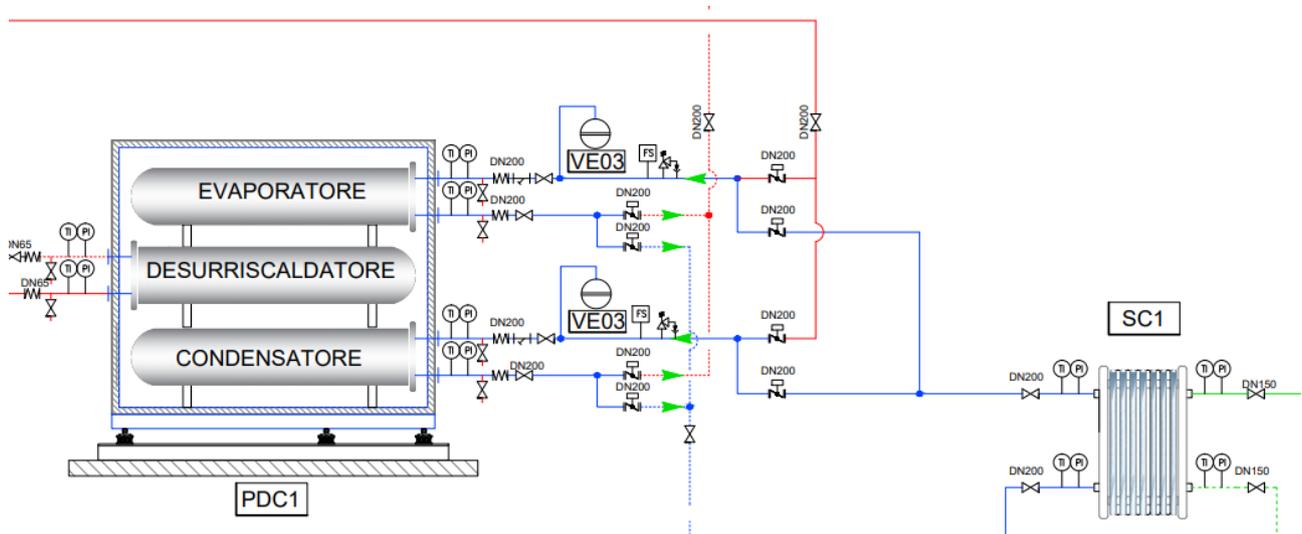


Figura 3.15: Schema dell'impianto della pompa di calore

In figura possiamo notare lo scambiatore a piastre SC1, collegato con l'evaporatore in assetto invernale, e con il condensatore in assetto estivo.



Figura 3.16: Scambiatore a piastre

A seconda dell'assetto previsto, l'evaporatore o il condensatore vanno ad alimentare il collettore di mandata, che provvederà ad alimentare i ventilconvettori, la batteria di pretrattamento dell'UTA, l'impianto a tutta aria dello showroom, dell'Additive, dell'edificio produttivo e il collegamento di back-up tra Fase1 e la centrale baricentrica.

Dal punto di vista energetico è fondamentale la presenza del DESURRISCALDATORE, che non è altro che un recuperatore entalpico dei gas surriscaldati dal compressore elettrico. Il calore recuperato serve quindi a scaldare un serbatoio da 3000 litri di acqua, che verrà impiegata nello scambio termico per il post riscaldamento dell'UTA e per alimentare i radiatori.

Per la produzione di ACS, il DESURRISCALDATORE della pompa di calore integra l'impianto solare, andando a riscaldare anch'esso il bollitore di accumulo da 3000 litri. In caso di carenza di entrambi, nel bollitore è prevista un'integrazione di emergenza con resistenza elettrica.

### Efficienza

Il rapporto tra l'energia termica fornita al sistema da riscaldare e il lavoro speso, ovvero l'energia elettrica consumata, indica il coefficiente di prestazione di una pompa di calore, indicato come C.O.P (Coefficient Of Performance), che non è altro che l'efficienza in riscaldamento di una pompa di calore.

Il rapporto tra l'energia sottratta ad un ambiente ed il lavoro speso, sempre in termini di energia elettrica consumata, indica invece l'efficienza in raffreddamento di una pompa di calore. Viene indicato con l'acronimo E.E.R. (Energy Efficiency Ratio).

Le formule sottostanti esprimano quanto appena spiegato:

$$\text{Macchina frigorifera } EER = \frac{Q_i}{L_e} = \frac{h_{C'} - h_B}{h_D - h_{C'}}$$

$$\text{Pompa di calore } COP = \frac{Q_e}{L_e} = \frac{h_D - h_A}{h_D - h_{C'}}$$

dove

- $Q_i$  è il calore estratto dall'ambiente in assetto frigorifero
- $Q_e$  è il calore immesso nell'ambiente da riscaldare, quando la macchina funziona come pompa di calore
- $L_e$  è il lavoro elettrico, ovvero l'energia elettrica spesa per far funzionare la macchina.

### Dati dell'impianto e scheda tecnica

Riportando qui sotto i dati dell'impianto e ricordando che Fase 1 comprende l'edificio A e lo showroom adiacente e Fase 2 comprende l'edificio B1 e il laboratorio Additive C1 si ha:

	<b>Fase 1</b>	<b>Fase 2</b>
Marca e Modello PDC	Systemair WHQ 1204	Systemair Syscrew Water 860
Numero PDC	2	1
Potenza riscaldamento	415,65 kW	970 kW
Potenza elettrica riscaldamento	117,59 kW	201 kW
COP	3,48	4,82
Potenza raffreddamento	403,53 kW	944 kW
Potenza elettrica raffreddamento	73,3 kW	155 kW
EER	5,49	6.11
Recupero di calore	104,19 kW	87 kW

*Tabella 3.1: Dati dell'impianto per le pompe di calore di Fase 1 e Fase 2*



*Figura 3.17: Pompa di calore Systemair di Fase 2*

In figura si può osservare la pompa di calore Systemair Syscrew Water 860 nella centrale termica di Fase 2.

In allegato anche parte della scheda tecnica della pompa di calore di Fase 2.

**Pompe di Calore acqua/acqua**  
**Conformità a EcoDesign (mercato europeo):**  
**Ecodesign 2018**  
**Unità selezionata: SYSCREW 860 WATER HP EVO**  
**DES STEPLESS.DSP.KM**  
**Versione: Standard**  
**Opzioni acustiche: Standard**



Condizioni operative	Raffrescamento	Riscaldamento
<b>Scambiatore lato sorgente</b>		
Temperatura acqua in ingresso (°C)	21	12
Temperatura acqua in uscita (°C)	27	7
<b>Temperatura di condensazione (°C)</b>		
Fluido	Acqua	
Fattore di sporcamento (m2 K / kW)	0,044	
<b>Scambiatore lato impianto</b>		
Temperatura acqua in ingresso (°C)	12	40
Temperatura acqua in uscita (°C)	7	45
Fluido	Acqua	
Fattore di sporcamento (m2 K / kW)	0,044	
Temperatura fluido in ingresso desurriscaldatore (°C)	40	
Temperatura fluido in uscita desurriscaldatore (°C)	45	
Fluido desurriscaldatore	Acqua	

Prestazioni	Raffrescamento	Riscaldamento
Capacità senza cicli di sbrinamento (kW)	944	970
Potenza assorbita (kW)	155	201
Efficienza senza cicli di sbrinamento (EER & COP)	6.11	4.8
Classe di efficienza energetica (EER & SCOP*)	A	A
$\eta_{sc}/\eta_{sh}$	229	
SEER & SCOP*	5.93	
ESEER	5.96	
IPLV	6.02	
Recupero di calore parziale (kW)	87	

Figura 3.18: Scheda tecnica pompa di calore di Fase 2

### 3.2.1.3 Impianto Solare termico

Un'altra importante tipologia impiantistica ecosostenibile e a emissioni zero è quella rappresentata dagli impianti solari termici, che sono in grado di immagazzinare l'energia solare e utilizzarla per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Ciò permette di sostituire le tradizionali caldaie alimentate a gas naturale.

La tecnologia in questione è basata sull'utilizzo dei pannelli solari termici. Essi sono attraversati da un fluido termovettore che andrà ad un accumulatore termico, con il compito di stoccare l'energia termica per poi utilizzarla in seguito.

## Collettori

I collettori solari sono suddivisi principalmente in due categorie:

- collettori solari piani (vetrati e non vetrati)
- collettori solari a tubi sottovuoto



*Figura 3.19: Collettori solari piani vetrati, non vetrati e a tubi sottovuoto*

Il sistema più utilizzato per questa tipologia impiantistica è sicuramente il collettore piano. Consente di ottenere basse temperature comprese tra i 50°C e i 90°C. Essi sono composti da:

- una lastra di vetro trasparente che consente il passaggio delle radiazioni entranti e arresta quelle uscenti,
- un assorbitore in rame, dove sono presenti i circuiti dell'acqua che vengono poi scaldati dal Sole,
- un isolante termico per evitare le dispersioni di calore.

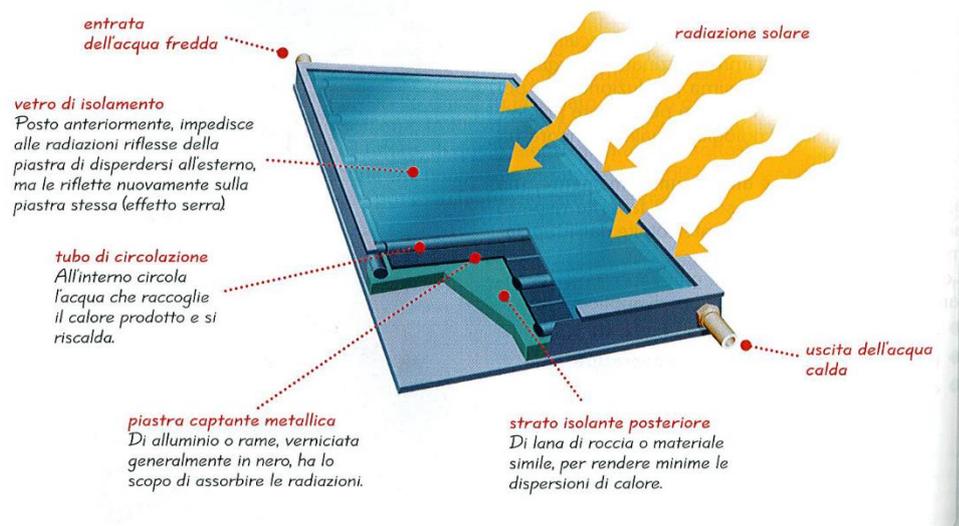


Figura 3.20: Composizione di un collettore solare

### Apporti e perdite di energia nei collettori

Le condizioni meteorologiche esterne e la variazione della posizione del Sole condizionano fortemente gli apporti solari, infatti solo parte della radiazione viene trasformata in energia utile. La parte rimanente viene persa per convezione e trasmissione e un'altra parte viene riflessa dal vetro. La trasmittanza del vetro della copertura indica quale sarà la quantità di energia solare catturata dall'assorbitore. La quantità di energia assorbita dall'assorbitore dipende invece dal coefficiente di assorbimento. Si può quindi dire che:

$$Q_{ass} = E_g \cdot \tau \cdot \alpha$$

dove

- $\alpha$  è il coefficiente di assorbimento
- $E_g$  è l'intensità della radiazione solare [ $W/m^2$ ]
- $\tau$  è il coefficiente di trasmissione del vetro

L'energia non assorbita è

$$Q_{non\ ass} = E_g \cdot (1 - \tau \cdot \alpha)$$

Le perdite per trasmissione invece dipendono dal collettore, dall'isolante e dalla differenza di temperatura tra l'assorbitore e l'ambiente in cui esso si trova. Tali dispersioni sono espresse da un coefficiente di trasmittanza effettiva,  $K_{eff}$ . In sostanza le perdite per trasmissioni sono:

$$Q_{perd} = K_{eff} \cdot \Delta T$$

dove

- $K_{eff}$  è il coefficiente di trasmittanza termica del collettore [W/(m<sup>2</sup>·K)]
- $\Delta T$  è la differenza fra la temperatura dell'assorbitore e l'ambiente circostante [K]

### Rendimento

Il rendimento di un collettore indica la percentuale di radiazione solare riflessa sulla superficie di apertura del collettore che può essere trasformata in energia termica utile. Come superficie di apertura viene definita la superficie di un collettore interessata dal Sole. Dal rapporto tra l'irradiazione sul collettore e la potenza di irradiazione, che viene trasformata in calore sull'assorbitore, si può calcolare il rendimento ottico, definito come  $\eta_0$ . Se un collettore viene riscaldato dalla radiazione solare, cede una parte del calore all'ambiente per conduzione attraverso il materiale del collettore, radiazione termica e convezione. Queste perdite possono essere calcolate mediante i coefficienti di dispersione termica  $k_1$  e  $k_2$  e la differenza di temperatura  $\Delta T$  tra l'assorbitore e l'ambiente. Tenendo conto dell'irraggiamento  $E_g$  si può definire il rendimento come:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta T}{E_g} - \frac{k_2 \cdot \Delta T^2}{E_g}$$

Il rendimento massimo viene raggiunto se la differenza tra la temperatura ambiente e la temperatura dei collettori è uguale a zero e non si verifica alcuna dispersione termica del collettore nell'ambiente stesso.

### Accumulo e dispersioni

È stato chiarito che il fabbisogno di energia e l'energia prodotta negli impianti solari non devono essere osservati soltanto quantitativamente, ma nei loro processi temporali, a differenza degli impianti con generatori di calore in cui la potenza installata è sempre disponibile. Per questa ragione, l'accumulo termico è di notevole importanza negli impianti solari.

Il fluido caratteristico per l'accumulo termico negli impianti solari è l'acqua, la quale possiede un'elevata capacità termica,  $c_w = 4,186 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ , quindi brevi tempi di accumulo di calore. Per gli accumuli verticali, è possibile accumulare energia per lunghi periodi, i cosiddetti accumuli stagionali, che lavorano con serbatoi di accumulo di diverse migliaia di litri.

Il contenuto d'energia di un accumulo dipende dallo scostamento della temperatura: quanto maggiore è la differenza, tanto maggiore è il contenuto di energia utile per unità di volume dell'accumulo. La grandezza fondamentale per determinare la capacità dell'accumulo necessaria è quindi la minima temperatura di stoccaggio possibile. Come temperatura minima si prende la temperatura media dell'acqua fredda, ovvero 10°C. La capacità di accumulo viene calcolata con la seguente formula:

$$m = \frac{Q}{c_w \cdot \Delta T}$$

dove

- m è la quantità di accumulo (capacità)
- Q è la quantità di energia
- $c_w$  è la capacità termica dell'acqua
- $\Delta T$  è la differenza di temperatura

Il contenuto di energia di accumulo viene determinato sostanzialmente dalla temperatura più bassa che è possibile introdurre nell'accumulo stesso.

Indipendentemente dal volume, gli accumulatori solari sono realizzati principalmente come serbatoi verticali; quindi, grazie alla diversa densità dell'acqua calda e fredda può formarsi una buona stratificazione della temperatura. L'acqua calda più leggera si posa sull'acqua fredda più pesante. Uno strato inferiore più freddo possibile nell'accumulo garantisce il funzionamento del circuito solare a una temperatura del ritorno bassa e dell'impianto solare con un buon rendimento. Se non si formano vortici dovuti ai flussi interni, questa stratificazione è molto stabile.

Gli accumulatori, definiti anche come bollitori, devono resistere ad una pressione di 10 bar.

Esistono due tipologie di bollitori:

- monovalenti, dove il riscaldamento dell'intero contenuto d'acqua avviene con un solo scambiatore di calore,
- bivalenti, provvisti di due scambiatori di calore, uno inferiore collegato al circuito collettori per il riscaldamento solare dell'acqua sanitaria e uno superiore per il collegamento al riscaldamento integrativo attraverso la caldaia.

### Tipi di circolazione

Esistono principalmente due tipi di impianti:

A circolazione naturale: in questo tipo il fluido è l'acqua stessa che riscaldandosi sale per convezione in un serbatoio di accumulo (boiler), che deve essere posto più in alto del pannello, dal quale viene distribuito alle utenze domestiche; il circuito è chiuso, in quanto l'acqua che viene consumata viene sostituita dall'afflusso esterno. Questo impianto ha per pregio la semplicità ma è caratterizzato da una elevata dispersione termica, a scapito dell'efficienza.

A circolazione forzata: un circuito composto dal pannello, una serpentina posta all'interno del boiler ed i tubi di raccordo. Una pompa, detta circolatore, permette la cessione del calore raccolto dal fluido, in questo caso glicole propilenico, alla serpentina posta all'interno del boiler. Il circuito è notevolmente più complesso, dovendo prevedere un vaso di espansione, un controllo di temperatura ed altri componenti, ed ha un consumo elettrico dovuto alla pompa e alla centralina di controllo, ma ha una efficienza termica ben più elevata, visto che il boiler è posto all'interno e quindi meno soggetto a dispersione termica durante la notte o alle condizioni climatiche avverse.

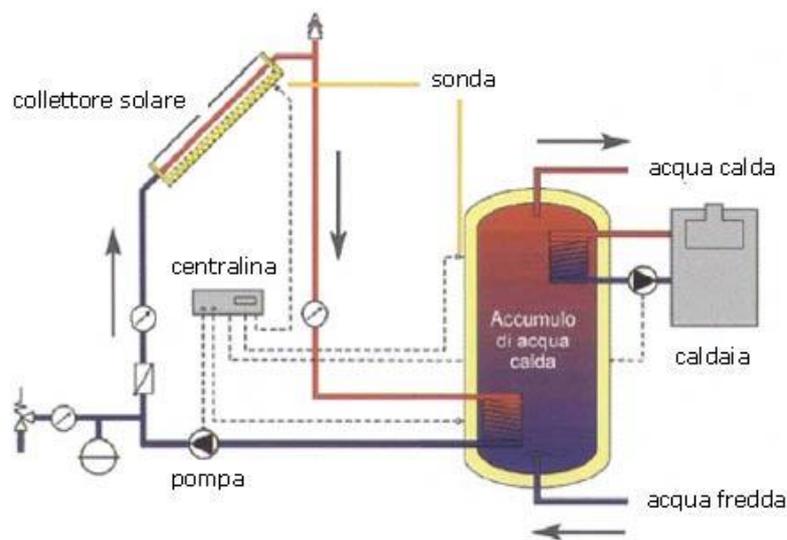


Figura 3.21: Impianto solare termico a circolazione forzata

In generale, la scelta di questa tecnologia per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria comporta numerosi benefici. Sostituendo così una caldaia tradizionale, si ha il conseguente risparmio di energia elettrica e quindi di idrocarburi. Tra i numerosi pro vanno ricordati anche la assenza di emissioni di CO<sub>2</sub>, di ossidi di azoto e di zolfo e la assenza di immissione di calore nell'ambiente.

### Impianto solare termico di Prima Industrie

Un'altra soluzione energeticamente sostenibile da parte di Prima Industrie è stata quella della scelta dei pannelli solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria. La falda di installazione è la stessa dei pannelli fotovoltaici, ovvero il piano copertura dell'edificio di Fase 1, dove per l'appunto non sono presenti ombreggiature, cosicché i pannelli siano in grado di captare tutto il giorno la radiazione solare.

Per Fase 1 sono stati installati cinque pannelli solari aventi una superficie totale netta di assorbimento pari a 11,15 m<sup>2</sup>, dal momento che ogni pannello ha un'estensione di 122x199 cm. Da ogni collettore arriva una portata di acqua di 102 l/s per un totale di 510 l/s.

La tipologia dei pannelli è del tipo piano e vetrato, il bollitore è in acciaio inox coibentato con doppio serpentino solare e scambiatore a piastre saldobrasate con elettropompa di circolazione. Presenta una resistenza elettrica da 30kWe e ha una capacità di 3000 litri. La tipologia dell'impianto è a circolazione forzata.

Nella figura si può notare la resistenza elettrica e la predisposizione per l'ampliamento di Fase 2 e Fase 3, che prevede un campo solare di 12 pannelli della stessa tipologia di Fase 1, installati sulla stessa falda dei pannelli fotovoltaici dell'impianto di Fase 2.

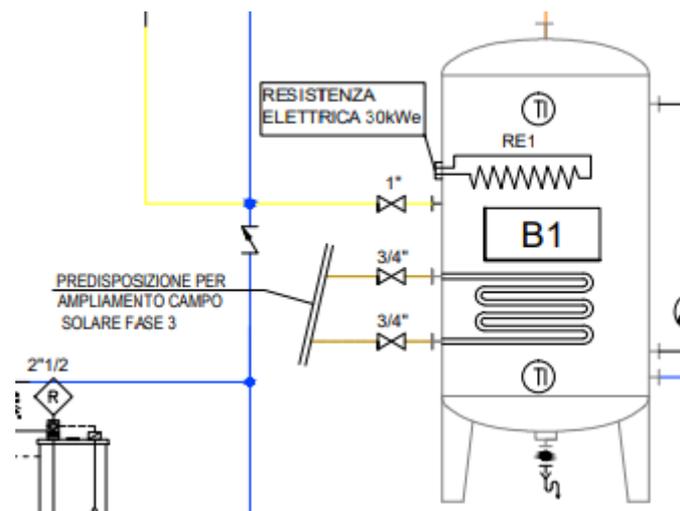


Figura 3.22: Bollitore di accumulo in acciaio



Figura 3.23: Pannelli solari termici per l'ampliamento di Fase 3

Come detto in precedenza, la tipologia dell'impianto è a circolazione forzata. Nella figura sottostante si possono vedere gli impianti dell'ACS di Fase 1 e di Fase 3, dove si possono notare due sistemi di dosaggio da 100 litri, indicati con DOS1 e DOS2, per la disinfezione anti legionella. Inoltre si nota la pompa di ricircolo e l'addolcitore.

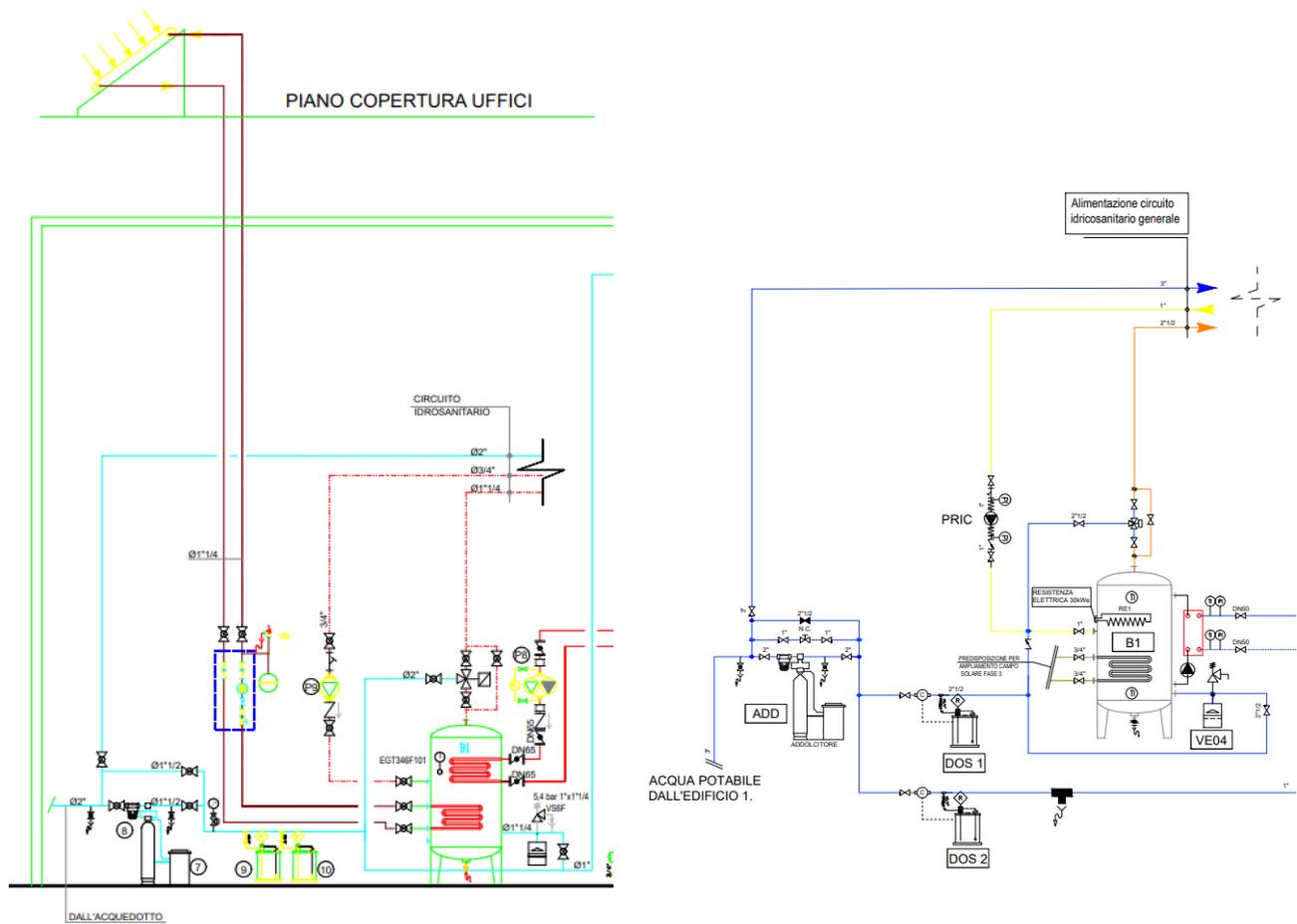


Figura 3.24: Schema dell'impianto solare termico di Fase 1 e di Fase 3

### 3.2.1.4 Impianto HVAC

Gli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione vengono indicati più in generale come impianti di climatizzazione. Questa categoria impiantistica può essere indicata anche con l'acronimo **HVAC** (Heating Ventilation and Air Conditioning) e il suo utilizzo consente di mantenere le adeguate condizioni di umidità e temperature degli ambienti, al fine di rispettare il confort delle persone e preservare gli oggetti presenti.

Le unità di trattamento dell'aria (**UTA**) sono il sistema principale che compone qualsiasi sistema HVAC. L'unità di trattamento dell'aria è un sistema formato da numerose sezioni ed è usato per regolare e far circolare l'aria degli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento, a causa della presenza di numerose persone presenti e di lavorazioni particolari, che rendono l'aria dell'ambiente non particolarmente salubre. L'aria che circola nell'impianto può essere aspirata totalmente dall'esterno oppure essere in parte ricircolata.

Le unità di trattamento aria sono suddivise in alcune sezioni, ognuna delle quali assolve a uno compito specifico. In realtà, la suddivisione è una necessità legata più che altro a esigenze di trasporto e posa in opera. Al fine di agevolare l'accesso alle parti interne ogni sezione è dotata di portina di accesso articolata con cerniere e maniglie.

L'aria distribuita negli ambienti climatizzati proviene dalla UTA di nuova installazione, collocata al piano tecnico in copertura.

Lo stabile presenta due tipologie di unità trattamento aria:

- la prima a doppio flusso con tanto di recuperatore energetico, che tratta l'aria per uffici, sale riunione, refettorio, spogliatoi, palestra e corridoi degli edifici A e B.
- la seconda a tutt'aria con camera di miscela, nella Showroom dell'edificio A e negli edifici C1 e C2, rispettivamente Additive ed Edificio Produttivo.

#### UTA a doppio flusso

Le varie sezioni che compongono l'UTA a doppio flusso sono le seguenti:

##### Aria di mandata

- serranda di presa + filtro piano
- recuperatore a piastre diagonale (obbligatorio in caso di unità a doppio flusso come da Regolamento Europeo UE 1253/2014)
- filtro a tasche
- batteria di raffreddamento con vasca di condensa
- umidificatore evaporativo con separatore di gocce
- batteria di post-riscaldamento
- ventilatore a girante libera
- inverter

## Aria espulsa

- filtro piano
- ventilatore a girante libera
- inverter
- recuperatore a piastre
- serranda di espulsione

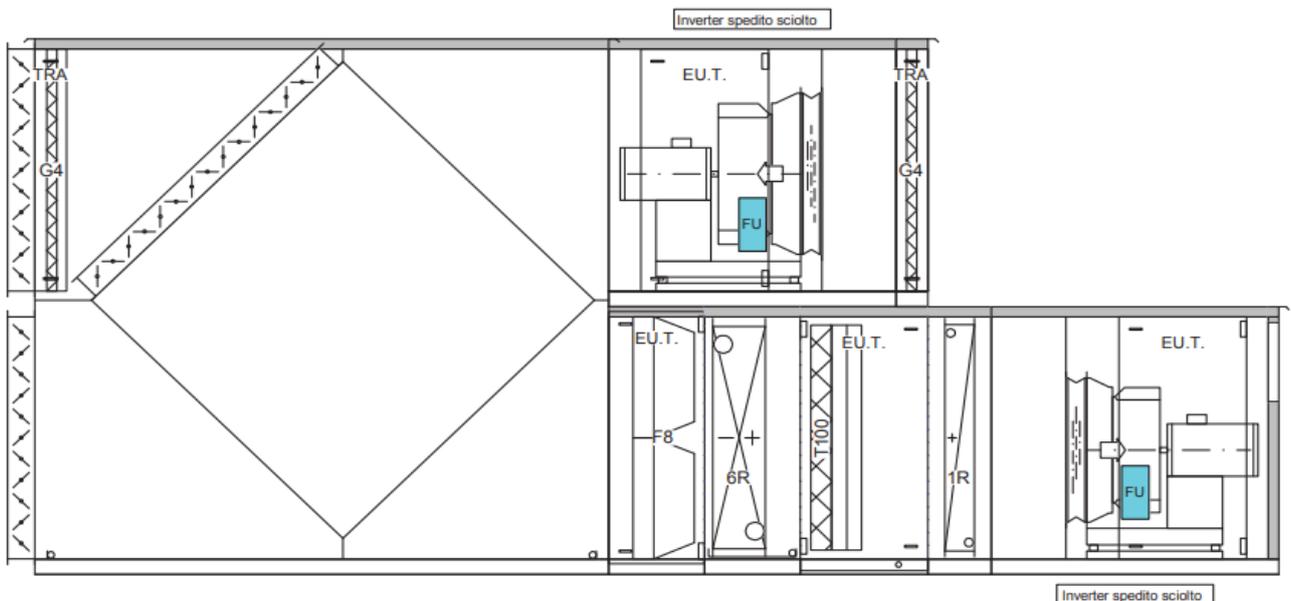


Figura 3.25: UTA a doppio flusso degli uffici

## Sezione di recupero calore

Al fine di recuperare parte del calore dalla sezione di espulsione dell'aria, viene utilizzato un recuperatore di calore a piastre diagonale di tipo statico a flussi incrociati. Dal momento che il recuperatore non ha parti in movimento, viene detto statico, ed è chiamato a flussi incrociati proprio perché i due canali di aria che scorrono al suo interno si incontrano, senza miscelarsi, formando una croce.

Il recupero di calore può essere di due tipi: sensibile e latente. Nel caso di recupero sensibile si ha una cessione del contenuto entalpico da parte dell'aria di ritorno all'aria di mandata da trattare in modo da pre-riscaldarla in modalità invernale, o pre-raffreddarla in modalità estiva. Invece il recupero latente può avvenire soltanto d'estate. Dal momento che d'estate l'aria presenta un elevato tasso di umidità, l'unico modo per ovviare a questo problema è quello di far condensare il vapore acqueo presente al suo interno, prelevando una quantità di calore nota come calore latente di vaporizzazione. L'aria di mandata deve essere quindi trattata e deve risultare fredda e deumidificata, e assorbendo il calore latente di vaporizzazione avviene un pre-deumidificazione. Nello specifico, nel momento in cui si ha un recupero latente si ha anche un recupero sensibile.

La normativa tecnica obbliga l'installazione del recuperatore dal 2014 rifacendosi al Regolamento Europeo UE 1253/2014.

### Sezione di batterie di scambio termico e sezione umidificante

Il trasferimento o la sottrazione di calore alla massa d'aria avviene nella sezione contenente le batterie di scambio termico. Questo fenomeno avviene tramite l'utilizzo di batterie alettate, ovvero apparati meccanici senza parti in movimento, formati principalmente da tubi in rame accoppiati ad alette di alluminio. Tra le alette della batteria scorre l'aria da trattare che verrà riscaldata o raffreddata a seconda che nei tubi scorra acqua calda o refrigerata.

### Batteria di raffreddamento.

La batteria di raffreddamento è in grado di funzionare sia in riscaldamento che in raffrescamento con o senza deumidificazione; viene però comunemente utilizzata durante la climatizzazione estiva. L'acqua di condensa viene raccolta in un'apposita vasca di cui è dotata la batteria.

Nel caso in cui il raffreddamento avvenga senza deumidificazione, non avviene alcuna condensazione sulla batteria. Questo succede perché la temperatura di rugiada dall'aria trattata è inferiore alla temperatura della batteria fredda. In sostanza, la batteria sottrae soltanto calore sensibile all'aria di mandata.

Il raffreddamento con deumidificazione si ha invece quando la temperatura di rugiada dell'aria trattata è superiore alla temperatura della batteria. Avviene così la deumidificazione, ovvero parte dell'umidità contenuta nell'aria condensa sulle alette della batteria fredda. Per questo motivo è presente una vasca di raccolta per la condensa.

Dopo questo trattamento l'aria non può ancora essere immessa negli ambienti interni poiché all'uscita da tale batteria presenta un'elevata umidità relativa, che si aggira intorno al 90%. Con la deumidificazione vi è la diminuzione dell'umidità assoluta a seguito della condensazione, e allo stesso tempo, aumenta l'umidità relativa a causa del raffreddamento dell'aria.

### Umidificatore evaporativo con separatore di gocce.

Al fine di aumentare il contenuto di umidità assoluta dell'aria immessa in ambiente, è presente una sezione di umidificazione.

L'umidificazione dell'aria è realizzata per mezzo di un umidificatore adiabatico a pacco ad alta efficienza senza ricircolo. In sostanza, una certa quantità di acqua viene spruzzata su un pacco evaporante. Di conseguenza, quando l'aria viene aspirata dal ventilatore di mandata e transita attraverso il pacco, aumenta il suo contenuto di umidità caricandosi di tale acqua.

Rispetto all'ingresso, l'aria in uscita ha temperatura più bassa, circa lontana da quella di set point, e umidità relativa alta.

### Batteria di post-riscaldamento.

Al momento dell'ingresso nella batteria di post-riscaldamento, l'aria presenta un'elevata umidità relativa. Al fine di mantenere l'umidità relativa nei limiti del confort, ovvero con valori compresi tra il 50% e il 60%, occorre riscaldare l'aria per aumentarne la sua temperatura e mantenere quindi l'umidità assoluta costante.

Di seguito vengono mostrate due immagini relative all'UTA a doppio flusso.

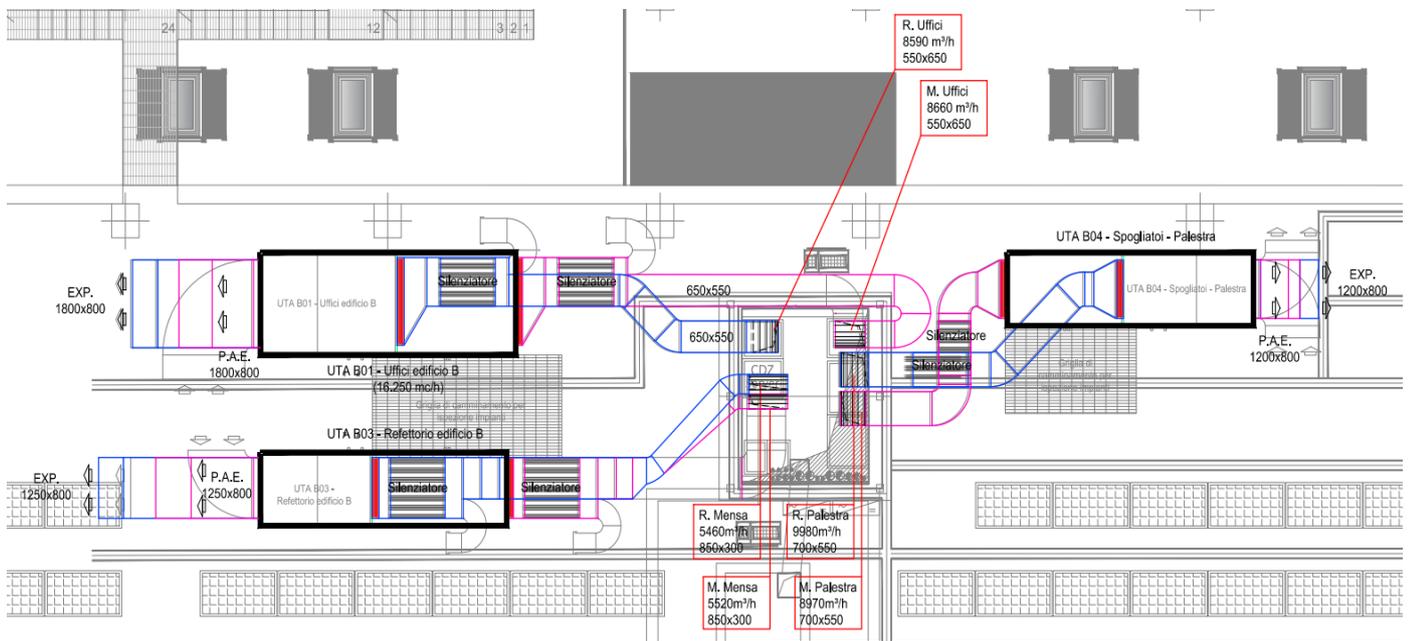


Figura 3.26: UTA piano copertura edificio B1.

In figura sono visibili rispettivamente in blu e in viola i canali di mandata/ripresa sul piano copertura della palestra e spogliatoi, mensa e uffici/corridoi con le rispettive portate di aria indicate. Ogni serranda è motorizzata e regolabile da remoto.



Figura 3.27: UTA uffici e refettorio

## UTA a tutta aria

Le varie sezioni che compongono l'UTA a tutta aria sono le seguenti:

### Aria di mandata

- serranda di presa + filtro piano
- camera di miscela doppia
- filtro a tasche con filtro piano su telaio
- batteria di raffreddamento con vasca di condensa
- umidificatore evaporativo con separatore di gocce
- batteria di post-riscaldamento
- ventilatore a girante libera
- inverter

### Aria espulsa

- filtro piano
- ventilatore a girante libera
- inverter
- camera di miscela doppia
- serranda di espulsione

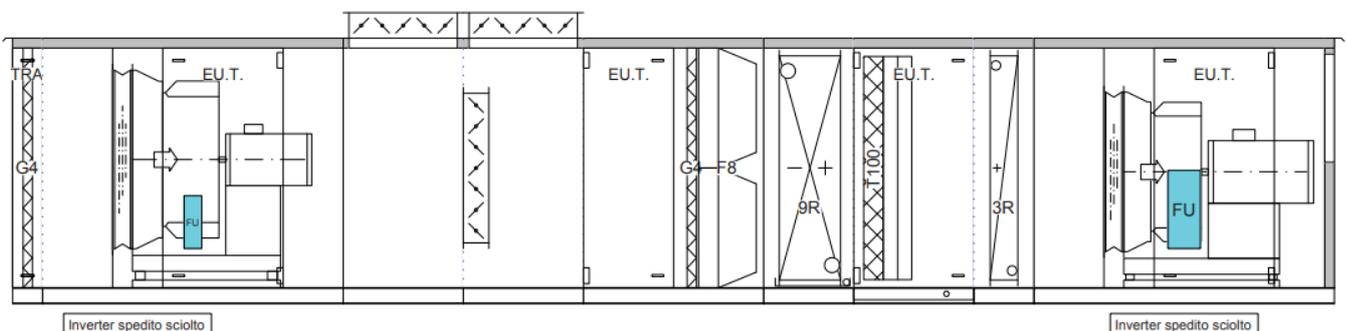


Figura 3.28: UTA a tutt'aria dell'Additive

Per quanto riguarda gli impianti a tutt'aria con ricircolo esiste una zona di miscela con l'aria incanalata nuovamente nell'impianto. In questa sezione vi sono tre serrande dotate di motore, le quali possono sia aspirare l'aria esterna, sia espellere quella prelevata dall'ambiente, sia infine di miscelare le due portate di aria, ovvero in parte quella esterna ed in parte quella recuperata. La serranda di miscela sarà completamente chiusa quando le prime due serrande sono totalmente aperte, e viceversa.

Nella prima figura seguente sono mostrati i canali di ripresa (in blu), di mandata dell'aria (in viola) e i diffusori di aria del capanno Additive. Sono chiaramente visibili gli ugelli di mandata dell'aria e le serrande motorizzate di presa ed espulsione, controllabili da remoto tramite il sistema il BMS, di cui vi sarà in seguito un approfondimento.

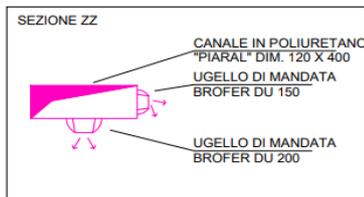


TABELLA PORTATI DIFFUSORI AREA ADDITIVE			
diffusore	quantità	dimensioni	portata (valore medio)
GRIGLIE DI RIPRESA marca BROFER mod. GRA	13	1000X300	1500 mc/h
UGELLI DI MANDATA marca BROFER mod. DU 150	25	ø 150	400 mc/h
UGELLI DI MANDATA marca BROFER mod. DU 200	14	ø 200	700 mc/h

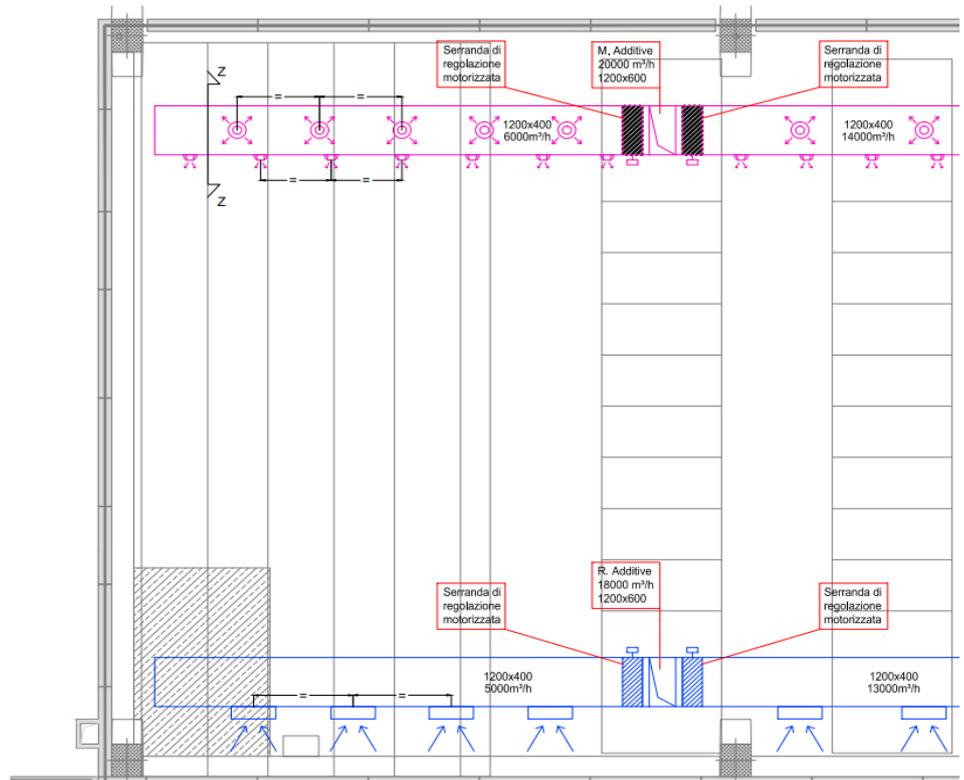


Figura 3.29: Canali di ripresa e di mandata interni della sezione Additive

Nella seconda figura è mostrato il piano copertura dell'Additive. Si notano i canali di ripresa/mandata e sono ben visibili le serrande motorizzate della camera di miscela.

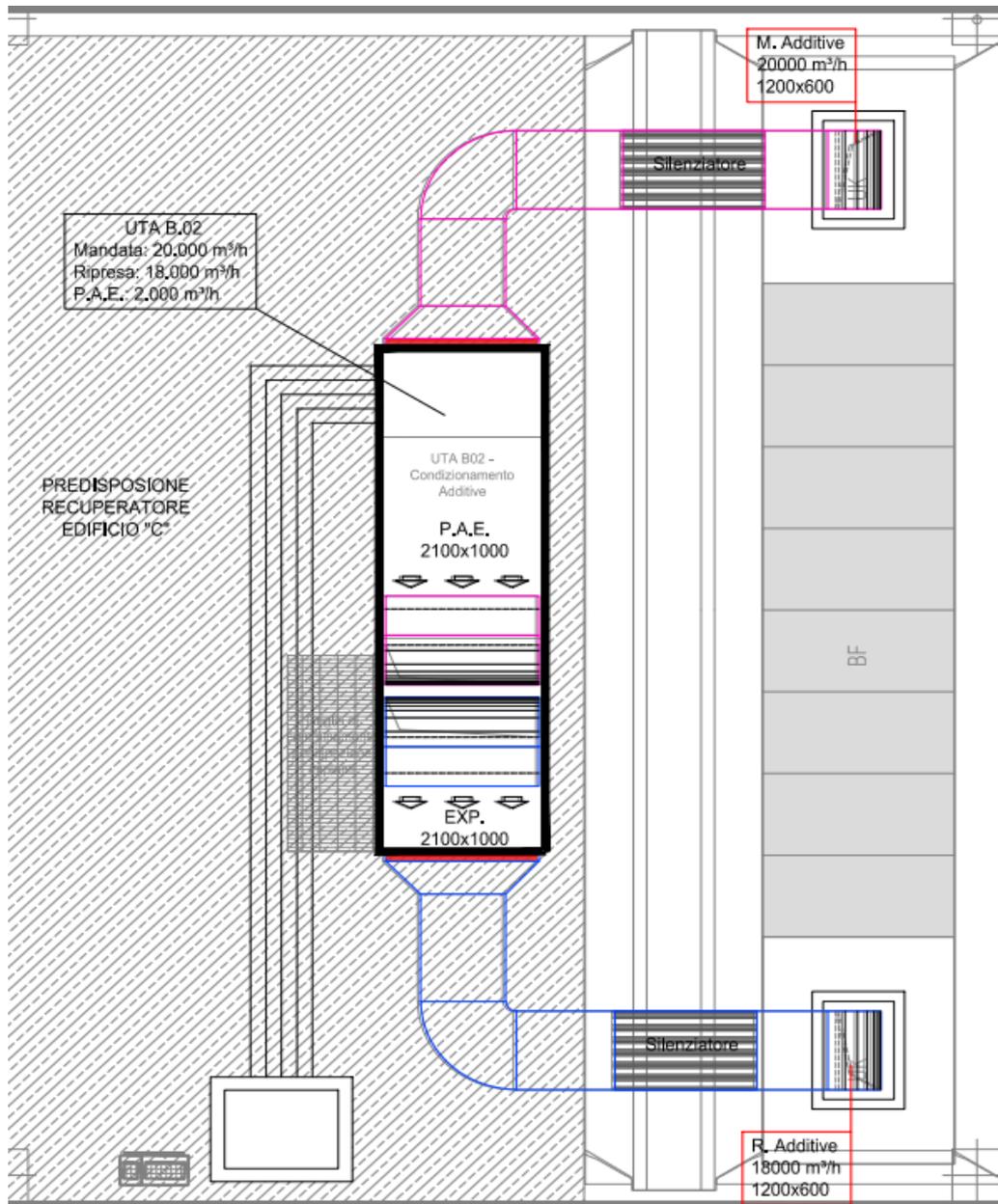


Figura 3.30: UTA piano copertura Additive

### Condizione esterne ed interne di progetto

Gli impianti di climatizzazione sono dimensionati in base alle seguenti condizioni di progetto esterne:

- inverno: temperatura b.s. (°C) -8°C  
umidità relativa (%) 70%
- estate: temperatura b.s. (°C) media diurna: 29°C  
massima oraria: 35°C  
  
umidità relativa (%) 50%

Le condizioni termoigrometriche interne di progetto dei singoli ambienti/zone sono riportate nella seguente tabella:

IDENTIFICAZIONE	INVERNO		ESTATE		NOTE
	T [°C]	U.R. %	T [°C]	U.R. %	
Uffici	20	50	26	50	
Sale riunione	20	50	n.c.	n.c.	
Servizi igienici	20	n.c.	n.c.	n.c.	
Spogliatoi	20	40	26	60	
Palestra	20	40	26	60	
Corridoi	20	40	26	60	
Vani scala	20	n.c.	26	n.c.	solo ove presente il fancoil
Additive	20	40	26	60	
Capannone C	18	n.c.	26	60	U.R. estiva ridotta dall' impianto ma non controllabile con precisione

*Tabella 3.2: Condizioni termoigrometriche interne di progetto dei singoli ambienti/zone*

## Ventilazione e trattamento dell'aria

I livelli di ventilazione e ricambio di aria esterna sono riportate nella seguente tabella:

IDENTIFICAZIONE	ARIA ESTERNA		FILTRAZIONE	NOTE
	vol/h	mc/h/pers.	CLASSE	
Uffici		40	B	
Sale riunione		40	B	
Servizi igienici	10			Sola estrazione
Spogliatoi	5		B	
Palestra		40	B	
Corridoi	1		B	
Vani scala				Ventilazione naturale
Additive		40	B	
Capannone C				Ventilazione naturale

*Tabella 3.3: Livelli di ventilazione e ricambio d'aria dei singoli ambienti*

L'aria distribuita negli ambienti climatizzati dovrà essere oggetto di filtrazione, conformemente a quanto riportato nella tabella precedente; in tal senso si precisa che in funzione della Classe di filtrazione sopra riportata, il trattamento previsto dovrà essere il seguente: prefiltro G4 (Eff. media ponderale >90) + filtro a tasche F8 (Eff. media - particelle 0,4 micron - 90-95).

Ogni sistema filtrante deve essere equipaggiato di pressostato differenziale per segnalare la necessità di interventi di manutenzione, anch'essi segnalati dal sistema di domotica intelligente BMS.

## Fluidi termovettori

I fluidi termovettori da utilizzarsi per la climatizzazione dovranno essere i seguenti:

- UTA - pretrattamento: acqua calda: 45°/40°C; acqua refrigerata: 8°/13°C; prodotte secondo la stagione dalle pompe di calore;
- UTA – post-riscaldamento: acqua calda 45°/40°C prodotta dalle pompe di calore durante l'inverno e dal de-surriscaldatore delle pompe di calore durante l'estate;
- Ventilconvettori e aerotermi: inverno 45°/40°C prodotta da pompa di calore;
- Ventilconvettori e aerotermi: estate 8°/13°C prodotta da pompa di calore;
- radiatori: acqua calda 45°/40°C prodotta da pompa di calore.

### 3.2.1.5 Impianto Fotovoltaico

Questo genere d'impianto, civile o industriale che sia, consente di produrre autonomamente energia elettrica grazie all'ausilio del Sole. A seguito di processi di fusione dell'idrogeno presente nel Sole, vi è emissione di energia elettromagnetica. Questa emissione di energia viene definita radiazione solare. Il Sole può essere considerato come un corpo nero, ovvero come un perfetto emettitore di radiazioni e si trova ad una temperatura di circa 5800 K.

Avvalendosi di un impianto fotovoltaico, è possibile solo ridurre notevolmente i costi della propria bolletta elettrica. È stato stimato che la produzione autonoma di elettricità riduce considerevolmente i consumi e i costi d'investimento dell'impianto vengono ammortizzati già nel giro di 7/8 anni (la vita media dell'impianto varia fra i 25 e i 30 anni).

Nel nord d'Italia, un impianto fotovoltaico di 3 kWp (kW di picco) è in grado di produrre minimo 3100 kWh all'anno; certamente nel sud d'Italia i rendimenti sono maggiori e arrivano anche a circa 1500 kWh prodotti all'anno per kWp installato. Inoltre, fra le varie fonti rinnovabili, il fotovoltaico presenta delle caratteristiche che lo rendono più invitante per brevi e lunghi periodi.

I vantaggi degli impianti fotovoltaici sono i seguenti:

- consentono un dimensionamento più facile del sistema, dal momento che sono modulari
- non richiedono l'uso di combustibile,
- non richiedono riparazioni complicate né eccessiva manutenzione, se non una verifica elettrica annuale e una verifica dell'isolamento, dal momento che i moduli possono pulirsi automaticamente con le piogge,
- lavorano in automatico: non necessitano della presenza di addetti ai lavori,
- i moduli possono essere installati su superficie che non vengono utilizzate per altri scopi,
- la fonte energetica primaria, rappresentata dal Sole, non ha costi di approvvigionamento ed è disponibile in misura infinita,
- nessun inquinamento acustico,
- nessuna emissione di sostanze inquinanti.

## La fonte solare

Per il funzionamento di una cella fotovoltaica è necessaria la presenza di radiazione elettromagnetica. La radiazione solare che giunge sulla superficie terrestre è formata dalla componente diretta (proveniente direttamente dal disco solare e dalla sua corona) e dalla componente che viene diffusa dall'atmosfera terrestre.

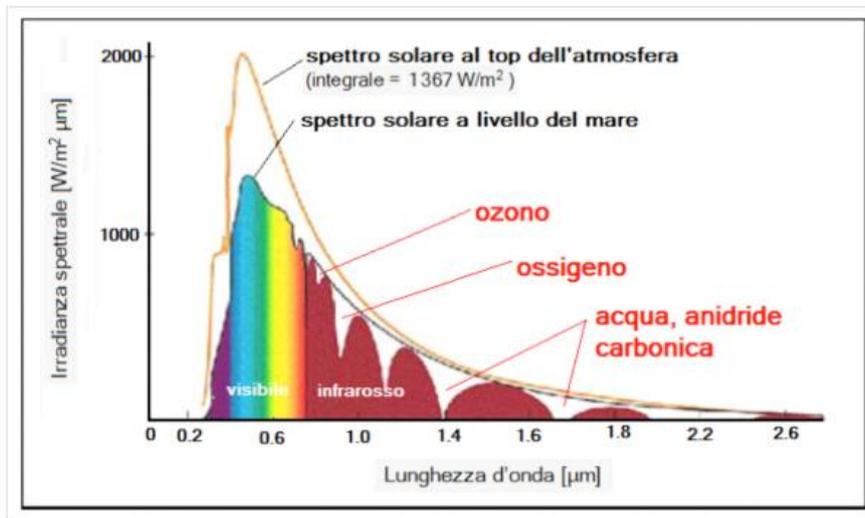


Figura 3.31: Spettro elettromagnetico della fonte solare

Lo spettro elettromagnetico 3 della radiazione solare (in figura) risulta compreso fra 0,25 μm e 2,5 μm e trasporta una potenza, misurata all'esterno dell'atmosfera terrestre, pari a 1367 W/m<sup>2</sup>, valore noto con il nome di Costante solare (extra atmosferica).

La radiazione, attraversando l'atmosfera, è soggetta ad alcuni fenomeni ottici dovuti alla presenza di gas e vapori, una quota di energia è quindi direttamente riflessa, in parte è assorbita dallo strato di ozono presente, la quota rimanente giunge direttamente al suolo (radiazione diretta) ed in parte i raggi vengono deviati lungo il loro percorso, giungendo anch'essi ma secondo differenti direzioni (radiazione diffusa).

La somma di radiazione diretta e radiazione diffusa permette di valutare la grandezza fondamentale per la progettazione di un impianto fotovoltaico, ossia la radiazione a livello terrestre, nota con il nome di irradianza globale: a questa grandezza andrà sommata la quantità di energia riflessa dal terreno circostante, valutata tramite il fattore di albedo (riflessione) della superficie.

La radiazione solare incidente sul piano orizzontale non è costante e dipende da:

- la posizione del Sole nella volta celeste durante l'anno: in funzione del giorno dell'anno varia la declinazione solare e varia dunque lo spessore dello strato di atmosfera attraversato dalla radiazione solare,
- La posizione del Sole nella volta celeste durante il giorno: a differenti ore del giorno variano sia lo strato di atmosfera percorso dalla radiazione solare sia l'angolo di incidenza della radiazione a livello del suolo,

- Latitudine e Longitudine del sito: a seconda della posizione del luogo sulla superficie terrestre cambiano sia l'altezza solare media sia l'inclinazione dei raggi solari,
- Stato fisico degli strati atmosferici: le condizioni meteorologiche, in particolare la presenza di nuvole nel cielo, influenzano notevolmente la potenza della radiazione al suolo, da valori massimi in situazioni di cielo terso, a valori minimi a causa della presenza di densi strati di nubi.

Stabilita la posizione geografica in termini di latitudine e longitudine vanno stabiliti altri due parametri per ottimizzare la radiazione solare globale su superficie comunque inclinata: l'orientamento (azimut) e l'angolo di tilt.

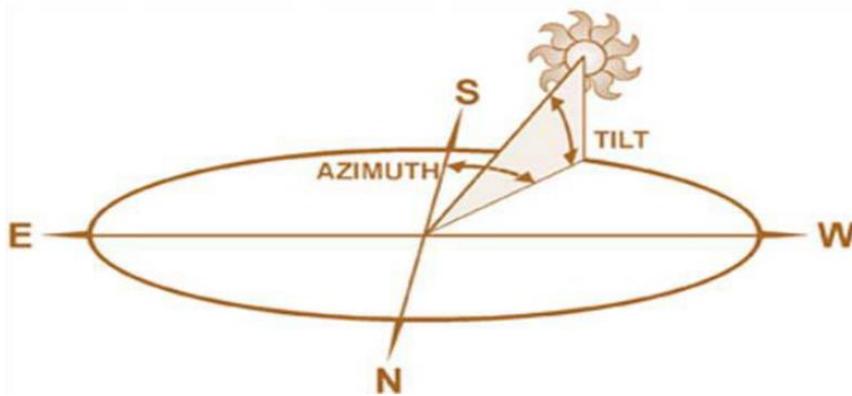


Figura 3.32: Azimuth e angolo di tilt

L'azimut ( $\beta$ ) indica l'angolo che si forma tra la retta normale alla superficie captante e la direzione del Sud. Pertanto si parla di angoli di orientamento pari a  $0^\circ$  per superfici orientate a Sud. La convenzione stabilisce angoli positivi per inclinazioni verso Ovest, negativi verso Est.

L'angolo di tilt ( $\gamma$ ) indica l'inclinazione che la retta normale alla superficie captante forma con il piano orizzontale. Al variare dell'angolo di tilt varia l'angolo di incidenza dei raggi solari col pannello fotovoltaico. Per latitudini di circa  $45^\circ$  (Torino) angoli di tilt intorno ai  $33^\circ$  determinano la massimizzazione dell'energia incidente nel periodo di tutto l'anno.

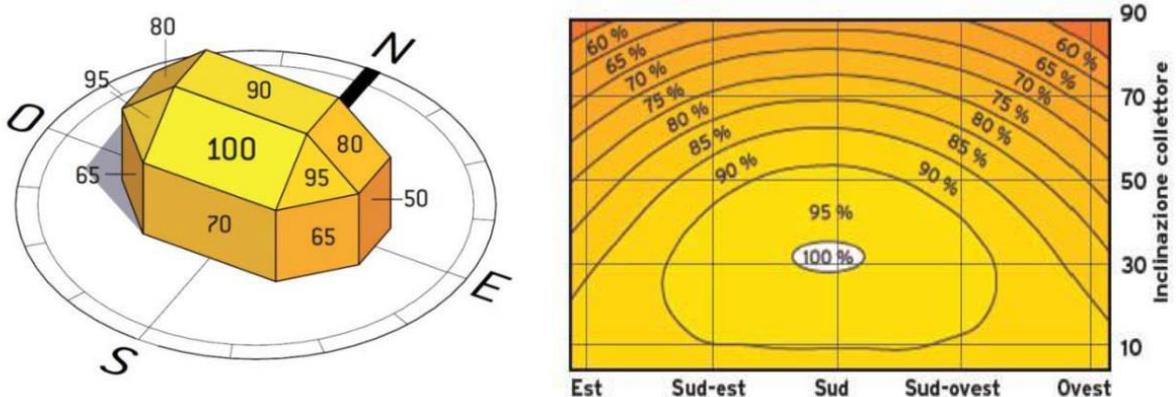


Figura 3.33: Perdite di energia durante l'anno causate da differenti esposizioni e inclinazione del collettore

## Caratteristiche dell'impianto di Prima Industrie

Con la realizzazione degli impianti di Fase 1 e Fase 2, si vuole ottenere un notevole risparmio energetico per lo stabilimento. L'utilizzo di questa tecnologia impiantistica nasce dal desiderio di soddisfare tutte le sopracitate caratteristiche favorevoli.

L'impianto sarà ovviamente di tipo grid-connected, ovvero quella tipologia di impianti connessi ad una rete elettrica di distribuzione, nei quali l'energia viene convertita in corrente elettrica alternata per alimentare il carico-utente e/o immessa nella rete, con la quale lavora in regime di interscambio. Per lo stabilimento in questione, vi è stata una facile opportunità di integrare i moduli fotovoltaici nell'architettura, in quanto il piano copertura è predisposto perfettamente per l'installazione.



*Figura 3.34: Visuale aerea delle falde utilizzate per l'installazione dei moduli fotovoltaici*

Come si può notare, su queste falde non sono presenti ostacoli significativi, soltanto l'impianto di trattamento dell'aria, in posizione defilata rispetto allo spazio adibito ai pannelli. Le falde disponibili all'installazione, ovvero quelle soprastanti gli uffici, sono di forma rettangolare e ovviamente, essendo superfici a forma di rettangolo, l'installazione di pannelli rettangolari risulta molto confortevole.

Non si pongono problemi invece per quanto riguarda le possibili ombre causate da edifici o alberi circostanti: non sono presenti alberi di altezza significativa nelle vicinanze e nemmeno edifici in direzione est e ovest che ostacolano l'irradiazione solare (rispettivamente direzione in cui sorge e tramonta il sole); si possono dunque trascurare le perdite solari dovute ad ombre. Lo stesso discorso si può fare per la direzione sud dove sono presenti al di là della strada alcuni edifici con altezze relativamente basse, perciò problemi di ombre sul tetto si riscontrerebbero solo nei minuti immediatamente precedenti l'alba e il tramonto.

Dal momento che il fabbisogno energetico dell'intero stabile è molto elevato, il Gruppo Prima Industrie ha quindi ritenuto ottimale ricoprire l'intera copertura di pannelli fotovoltaici. Anche a seguito dell'installazione di numerosi pannelli, verrà coperta solo una modesta percentuale del fabbisogno energetico, come per giunta vedremo in seguito.

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da pannelli in silicio monocristallino installati tramite appositi supporti in modo non integrato alla copertura del fabbricato. Ciascuno dei moduli fotovoltaici risulterà quindi sorretto da due supporti che determineranno l'inclinazione e svolgeranno la funzione di zavorra del modulo stesso.

### Impianto di Fase 2

La scelta del modello del modulo ricade sul modello SG310M (BF) della Peimar, azienda leader a livello mondiale nella produzione e nella vendita di celle solari. La scelta ricade sul modello da 310 Wp, contraddistinto da un'efficienza più elevata. Di seguito viene riportata la scheda tecnica del modulo considerato.

<b>SCHEDE TECNICHE MODULI</b>	
<b>Modulo M.D.0002</b>	
<b>DATI GENERALI</b>	
Marca	<b>PEIMAR</b>
Modello	<b>SG310M (BF)</b>
Tipo materiale	<b>Si monocristallino</b>
Prezzo [€]	<b>0.00</b>
<b>CARATTERISTICHE ELETTRICHE IN CONDIZIONI STC</b>	
Potenza di picco [W]	<b>310.0 W</b>
Im [A]	<b>9.51</b>
Isc [A]	<b>10.09</b>
Efficienza [%]	<b>19.05</b>
Vm [V]	<b>32.60</b>
Voc [V]	<b>40.55</b>
<b>ALTRE CARATTERISTICHE ELETTRICHE</b>	
Coeff. Termico Voc [%/°C]	<b>-0.3200</b>
Coeff. Termico Isc [%/°C]	<b>0.047</b>
NOCT [°C]	<b>45.0</b>
Vmax [V]	<b>1 000.00</b>
<b>CARATTERISTICHE MECCANICHE</b>	
Lunghezza [mm]	<b>1 640.00</b>
Larghezza [mm]	<b>992.00</b>
Superficie [m <sup>2</sup> ]	<b>1.627</b>
Spessore [mm]	<b>40.00</b>
Peso [kg]	<b>18.00</b>
Numero celle	<b>60</b>

Figura 3.35: Scheda tecnica dei moduli di Fase 2

L'elevata metratura della copertura dell'edificio di Fase 2, consente l'installazione di 99 moduli che occupano complessivamente una superficie di 161,07 m<sup>2</sup>. l'impianto è composto da 4 generatori.

$$S_{FV} = S_{\text{modulo}} * N_{\text{moduli}} = 1,627 \text{ m}^2 * 99 = 161,07 \text{ m}^2$$

Si ricava successivamente P<sub>N</sub>, la potenza installata dell'impianto, in condizioni standard (STC), che si ottiene moltiplicando il numero dei moduli per la singola potenza nominale:

$$P_N = P_{\text{modulo}} * N_{\text{moduli}} = 310 \text{ Wp} * 99 = 30,690 \text{ kWp}$$

Dopo aver identificato la potenza di picco del sistema, è ora di effettuare alcune stime. Utilizzando il software PVGIS si può verificare la disponibilità della fonte solare per il sito di installazione. Il software è in grado di rilevare una stima della producibilità annua, avendo indicato opportunamente i kWp da installare, e i valori medi mensili di irraggiamento solare sul piano orizzontale. Il sito di installazione che si trova presso il comune di COLLEGNO (TO), ha latitudine 45.099° N, longitudine 7.606° E e altitudine di 274 m.s.l.m., i valori stimati sono pari a:



PVGIS-5 stima del rendimento energetico FV:

**Valori inseriti:**

Lat./Long.: 45.099, 7.605  
 Orizzonte: Calcolato  
 Database solare: PVGIS-SARAH  
 Tecnologia FV: Silicio cristallino  
**FV installato: 30.69 kWp**  
 Perdite di sistema: 13.09 %

**Output del calcolo**

Angolo inclinazione: 20 °  
 Angolo orientamento: -15 °  
**Produzione annuale FV: 40581.89 kWh**  
**Irraggiamento annuale: 1683.38 kWh/m²**  
 Variazione interannuale: 2464.00 kWh  
 Variazione di produzione a causa di:  
 Angolo d'incidenza: -3.01 %  
 Effetti spettrali: 0.9 %  
 Temperatura e irradianza bassa: -7.64 %  
 Perdite totali: -21.45 %

**Grafico dell'orizzonte:**

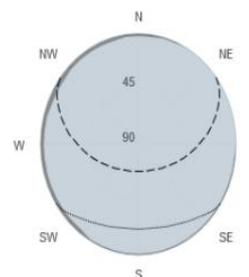


Figura 3.36: Disponibilità della fonte solare fornita dal software PVGIS

Relativamente al posizionamento dei moduli sulle coperture a falda in generale è preferibile mantenere il piano dei pannelli parallelo alla falda o sullo stesso piano della stessa. Ciò per non modificare il profilo dell'edificio e per non esporre i moduli all'azione del vento.

Nel caso in esame si è optato per un'inclinazione di 20° che consente una ventilazione parziale tra la superficie della falda e la superficie posteriore dei pannelli. In questo modo si possono diminuire le perdite per temperatura.

Le perdite del sistema sono state ipotizzate al 13,09%. La valutazione del B.O.S (Balance of System) viene stimata direttamente, oppure viene calcolata sottraendo dall'unità il totale delle perdite espresse in percentuale. La formula di calcolo è la seguente:

$$\text{Totale perdite [\%]} = [1 - (1 - a - b) \times (1 - c - d) \times (1 - e) \times (1 - f)] + g = 13,09 \%$$

per i seguenti valori:

a - perdite per riflessione = 2 – 3 %

b - perdite per ombra parziale dei generatori PV < 1%

c - perdite per mismatch dei parametri elettrici = 3 – 5 %

d - perdite per effetto della temperatura dovute allo scostamento dalle condizioni STC = 5%

e - perdite per caduta di tensione sul tratto DC = 1-2%

f - perdite negli inverter = 5 – 10 %

g - perdite per caduta di tensione nel tratto AC = 1-2%.

La stima dei valori di energia prodotta dal sistema FV e i valori di irraggiamento mensile sul piano fisso sono rispettivamente riportate nei grafici sottostanti:

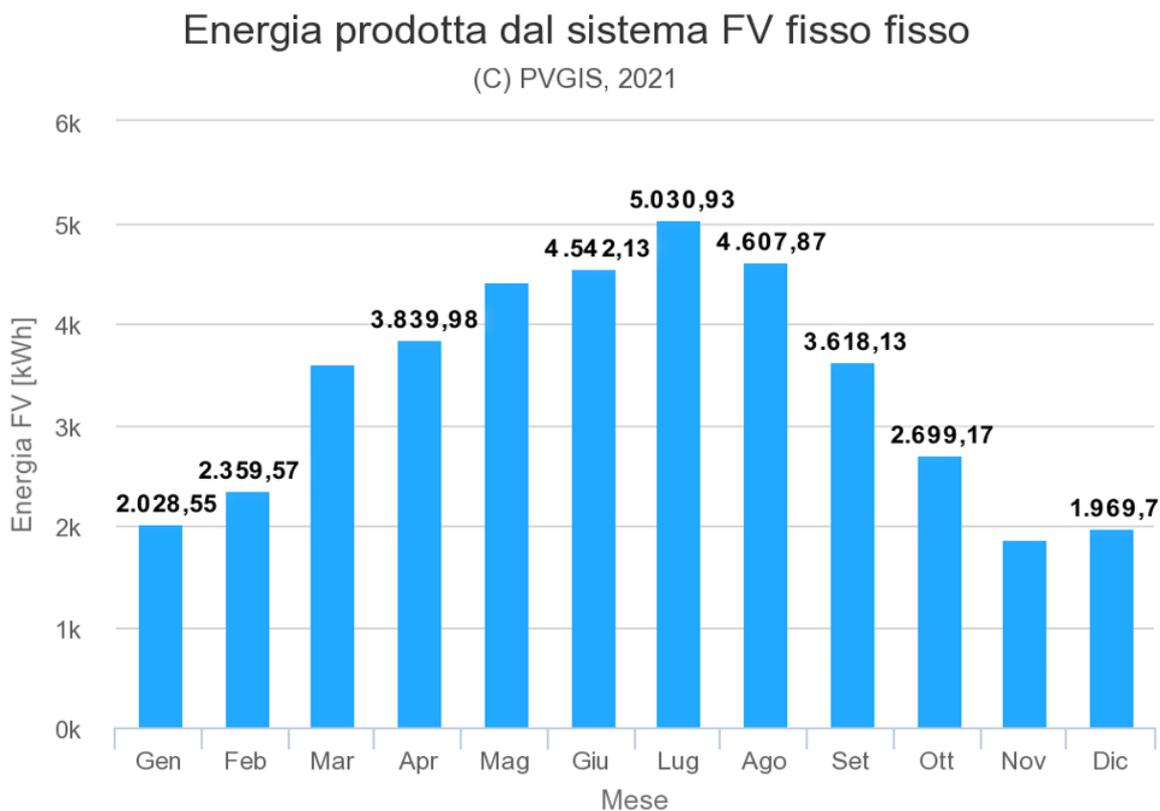


Figura 3.37: Stima dell'energia prodotta dall'impianto FV

## Irraggiamento mensile sul piano fisso

(C) PVGIS, 2021

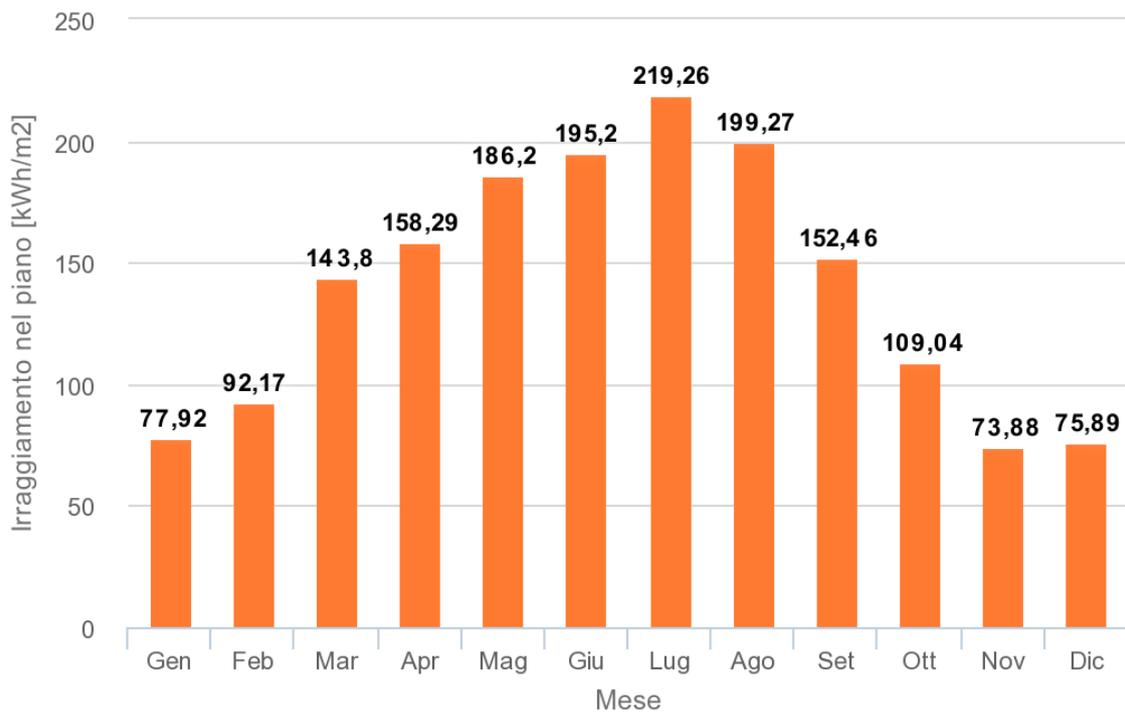


Figura 3.38: Stima dei valori di Irraggiamento mensile sul piano

- $E_{FV} = 40.581,89 \text{ kWh}$  Energia annua prodotta dal sistema FV
- $H_g = 1.683,38 \text{ kWh/m}^2$  Irraggiamento globale annuale sul piano fisso

### Calcolo della producibilità

Nella progettazione di un impianto fotovoltaico connesso alla rete è importante valutare, il più correttamente possibile, la producibilità annuale, che verrà indicata d'ora in avanti con  $E_{AC}$  (kWh). Il risultato sarà energia elettrica potenzialmente producibile in corrente alternata, da qui il pedice AC. Nel seguito verranno espone due modalità di calcolo che fanno capo a due formule diverse, producendo circa gli stessi valori numerici:

#### **Primo metodo:**

$$E_{AC} = H_g \cdot S_{PV} \cdot \eta_{STC} \cdot PR$$

dove:

- $H_g = 1.683,38 \text{ kWh/m}^2$  valore di irraggiamento annuale sul piano fisso
- $S_{PV} = 161,07 \text{ m}^2$  è la superficie totale dei moduli FV.

- $\eta_{STC}$  è l'efficienza nominale dei moduli, in condizioni STC, scritta sul datasheet e uguale a 19,05%
- PR è il Performance Ratio, parametro di confronto degli impianti FV. Esso tiene conto di varie fonti di perdita, come ad esempio l'efficienza dell'inverter, la riflessione, la resistenza elettrica dei cavi e il mismatch delle curve caratteristiche corrente-tensione (I-V) dei moduli PV, oltre che a sporcizia del vetro frontale, sovra o sotto temperature di funzionamento (rispetto a 25°C), illuminazione non uniforme su tutti i moduli, difetti nei cablaggi, diodi, fusibili e interruttori. I valori reali del PR oscillano in un range da 0.55 a 0.85. Il valore di progetto è definito a 0.80. Il prodotto di PR e  $\eta_{STC}$  rappresenta il rendimento di conversione proprio dell'impianto.

$$E_{AC} = 1.683,38 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 161,07 \text{ m}^2 * 0,1905 * 0,80 = 41.312,72 \text{ kWh}$$

**Secondo metodo:**

$$E_{AC} = P_N \cdot h_{eq} \cdot PR$$

dove:

- $P_N = 30,690 \text{ kWp}$
- $h_{eq}$  è il numero di ore equivalenti solari per anno. Con questo dato si esegue una equivalenza energetica così come si fa per impianti tradizionali di produzione di energia: durante le 12 ore diurne, quando si è lontani dal picco, si hanno valori di irraggiamento molto bassi (prima mattina o tardo pomeriggio). Per questo si normalizza a  $G_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$ . Si considera come se l'irraggiamento sia sempre pari a questo valore, riducendo le ore diurne di luce solare a ore di picco solari (equivalenti), pur facendo rimanere invariato il valore di irradiazione globale sul piano dei moduli. Il suo valore va calcolato come segue:

$$h_{eq} = \frac{H_g}{G_{STC}} = \frac{1683,380 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 1683,38 \text{ h}$$

$$E_{AC} = 30,690 \text{ kWp} * 1683,38 \text{ h} * 0,8 = 41330 \text{ kWh}$$

Come previsto, con entrambi i metodi che esposti, si è ottenuto un dato sovrapponibile con uno scarto di appena pochi Watt: ciò è dovuto alle diverse approssimazioni usate nei calcoli. C'è da precisare che il valore del PR è un valore di progetto, ma molte volte a causa delle fonti di perdita elencate prima il suo valore effettivo può distaccarsi molto da quello imposto a priori. Un ottimo accorgimento è quello di ricalcolare il suo valore dopo un anno di funzionamento dell'impianto con il dato di energia  $E_{AC}$  non più potenziale ma effettivamente prodotta:

$$PR = \frac{E_{AC\ pr}}{P_N * h_{eq}}$$

### Accoppiamento generatore-inverter

Sfruttando l'effetto fotovoltaico, i moduli producono energia elettrica in corrente continua; è quindi necessario trasformarla in corrente alternata. Questa conversione avviene grazie all'inverter, un strumento elettronico capace dunque di trasformare corrente continua (DC) in corrente alternata (AC). L'inverter è quindi indispensabile per alimentare tramite corrente continua dispositivi elettrici che funzionano in corrente alternata.

Negli impianti connessi alla rete elettrica di distribuzione, la tensione continua da convertire in alternata è quella proveniente dal generatore PV. Le principali funzioni in cui si può suddividere logicamente un inverter sono:

- Trasformare l'energia fotovoltaica da corrente continua a corrente alternata;
- Ricerca del MPPT (ricerca del Maximum Power Point Tracker, punto di massima potenza);
- Protezione di massima corrente;
- Protezione di interfaccia con la rete elettrica.

Per l'inverter da connettere alla rete, fino alla soglia di potenza dell'ordine di 50 kWp, è preferibile l'uso di convertitori, per massimizzare il rendimento di conversione, e che abbiano tensioni di inseguimento della massima potenza (MPPT) sufficientemente elevate per ridurre la corrente, a parità di potenza. In questo modo si riduce anche il numero di stringhe in parallelo. Il punto MPP, ovvero Maximum Power Point, ossia il picco massimo che raggiunge la potenza nella curva caratteristica I-V (vedi figura) rappresenta un punto molto importante, perché è il punto in cui la produzione fotovoltaica è massima. La curva I-V cambia in funzione della temperatura della cella e dell'irradianza a cui la stessa è sottoposta.

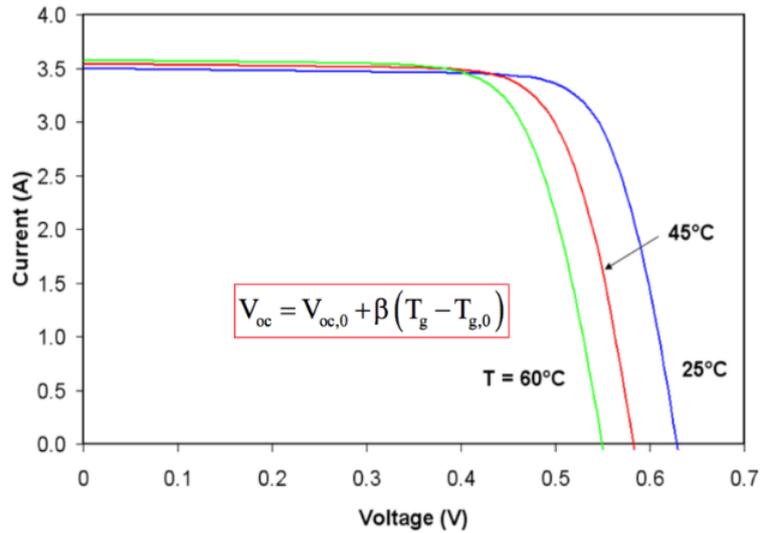


Figura 3.39: Effetto della temperatura sulla caratteristica I-V

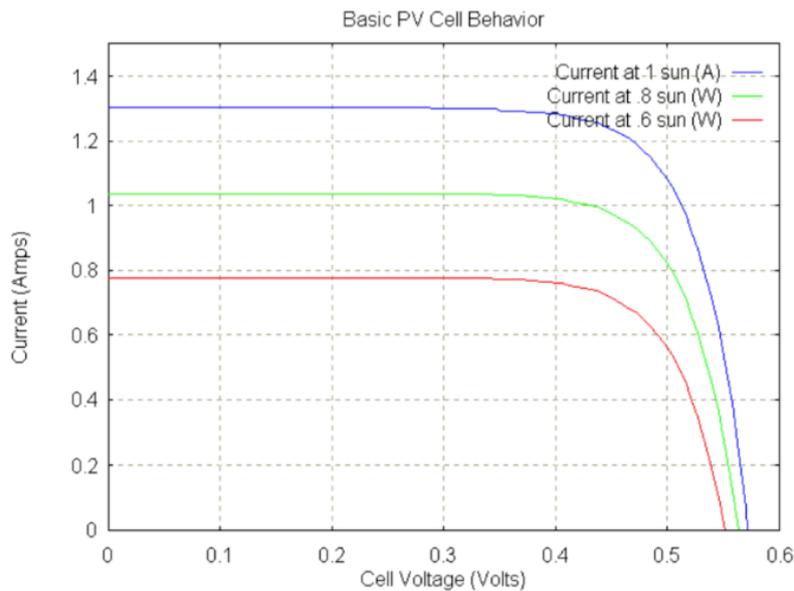


Figura 3.40: Effetto dell'irradianza solare sulla caratteristica I-V

Il grafico mostra le variazioni della curva caratteristica che avvengono seguendo due criteri:

- al diminuire dell'irradianza, diminuisce la corrente
- al diminuire della tensione, aumenta la temperatura della cella fotovoltaica

Quando si frappone una nuvola tra la fonte solare e l'impianto fotovoltaico, il punto MPP varia molto rapidamente. Una delle caratteristiche principali di un inverter consiste nella velocità di inseguimento del punto di massima potenza.

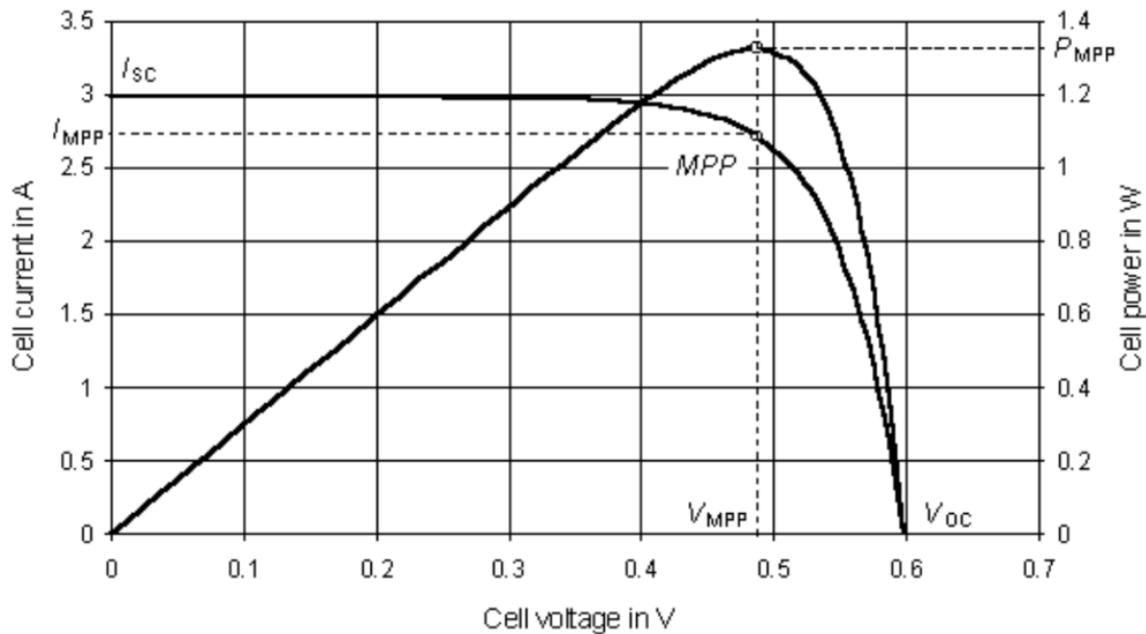


Figura 3.41: Curva della potenza in relazione alla curva caratteristica I-V di un modulo fotovoltaico

Pressoché tutti gli inverter in commercio per la connessione in rete (Grid-connected) hanno un MPPT, Maximum Power Point Tracking, il sistema elettronico di inseguimento del punto di MPP. Dimensionare un inverter fotovoltaico significa calcolare il numero massimo di moduli che possono essere collegati in serie in una stringa ed il numero massimo di stringhe accettate.

Nella pratica, la somma delle tensioni dei moduli disposti in serie e nelle condizioni peggiori (cioè quando la tensione è massima e quando la temperatura corrisponde alla minima giornaliera, ovvero  $-10^\circ$ ), non dovrà mai superare la massima tensione accettabile dall'inverter fotovoltaico.

Si devono anche soddisfare i vincoli sulle tensioni minima e massima compatibili con l'inverter nel funzionamento in MPP, sulla massima tensione a vuoto e sulla massima corrente nel funzionamento in MPP. Il superamento delle verifiche è legato alla stima delle possibili temperature estreme di esercizio dei moduli fotovoltaici che sono comprese tra  $-10^\circ\text{C}$  e  $+75^\circ\text{C}$ .

A questo punto, quindi, è necessario accoppiare il suddetto dispositivo in cascata al generatore fotovoltaico (array). Come detto sopra, l'accoppiamento non è istantaneo in quanto devono essere rispettati alcuni vincoli, il generatore deve presentare compatibilità con i dati tecnici dell'inverter, ecco perché la scelta del modello di inverter è fondamentale nella riuscita di un impianto efficiente.

Il primissimo vincolo di cui tenere conto è il criterio di prossimità della potenza nominale del generatore e la potenza nominale dell'inverter. L'inverter scelto è il modello TRIO-20.0-TL-OUTD prodotto dalla ABB, di cui di seguito viene riportato un ritaglio della scheda tecnica, il cui documento completo è disponibile online.

Gli inverter saranno posizionati in copertura nella zona di uscita delle colonne montanti o delle scale.

## SCHEDE TECNICHE INVERTER

### Inverter **I.D.0002**

#### DATI GENERALI

Marca	<b>ABB</b>
Modello	<b>TRIO-20.0-TL-OUTD</b>
Tipo fase	<b>Trifase</b>
Prezzo [€]	<b>0.00</b>

#### INGRESSI MPPT

N	VMppt min [V]	VMppt max [V]	V max [V]	I max [A]
1	440.00	800.00	1 000.00	25.00
2	440.00	800.00	1 000.00	25.00

**Max pot. FV [W]**                      20 750

#### PARAMETRI ELETTRICI IN USCITA

Potenza nominale [W]	<b>20 000</b>
Tensione nominale [V]	<b>400</b>
Rendimento max [%]	<b>98.20</b>
Distorsione corrente [%]	<b>3</b>
Frequenza [Hz]	<b>50</b>
Rendimento europeo [%]	<b>98.00</b>

#### CARATTERISTICHE MECCANICHE

Dimensioni LxPxH [mm]	<b>1061x702x292</b>
Peso [kg]	<b>70.00</b>

*Figura 3.42: Scheda tecnica Inverter*

L'array di moduli FV deve essere compatibile con i dati indicati qui sopra. In particolare con i vincoli di:

- Potenza nominale  $P_N$
- Corrente massima di corto circuito per stringa  $I_{sc}$
- Corrente massima nel punto di massima potenza  $I_{MP\ MAX}$
- Tensione massima di circuito aperto  $V_{OC}$
- Range di tensione  $V_{MP\ min}/V_{MP\ MAX}$

Il rispetto di questi vincoli può variare a seconda dell'architettura dell'array, cioè, alla disposizione dei moduli in serie o in stringhe in parallelo: determinare la configurazione dell'array infatti significa stabilire il numero di stringhe in parallelo e il numero dei moduli per stringa. Si deve ricordare che in una stringa la corrente è la stessa del singolo modulo mentre la tensione si somma, e che aggiungere una stringa significa aumentare la corrente a parità di tensione.

Si ricorda anche che la caratteristica I-V della cella dipende dalla temperatura, in particolare, con l'aumentare della temperatura la tensione cala e la corrente aumenta, anche se in maniera meno

evidente. I coefficienti termici riportati nella scheda tecnica del modulo tengono conto di queste alterazioni.

- $B = -0.0032 \text{ V/C}^\circ$  (riferito alla tensione di circuito aperto  $V_{OC}$ );
- $\alpha = 0.00047 \text{ A/C}^\circ$  (riferito alla corrente di corto circuito  $I_{SC}$ ).

La temperatura di esercizio viene stabilita nella scheda tecnica del modulo tra  $-40 \text{ C}^\circ$  e  $+85 \text{ C}^\circ$ ; la  $T_{amb}$  di riferimento è  $25 \text{ C}^\circ$ . Le temperature estreme a cui di esercizio dei moduli sono stimate cautelativamente a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  in inverno (che corrisponderebbe a temperature dell'aria abbondantemente sotto zero,  $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ ), e  $+70 \text{ }^\circ\text{C}$  d'estate, vista la ventilazione dei moduli FV rispetto all'installazione in campo aperto.

Le formule con cui verranno effettuati i calcoli sono le seguenti:

$$I_{MP\ MAX} = \#stringhe \cdot (I_{MP} + \alpha \cdot \Delta T) \quad \text{con } T = +70^\circ$$

$$V_{OC\ MAX} = \# \frac{\text{moduli}}{\text{stringa}} \cdot (V_{OC} + \beta \cdot \Delta T) \quad \text{con } T = -10^\circ$$

$$V_{MP\ MAX} = \# \frac{\text{moduli}}{\text{stringa}} \cdot (V_{MP} + \beta \cdot \Delta T) \quad \text{con } T = -10^\circ$$

$$V_{MP\ MIN} = \# \frac{\text{moduli}}{\text{stringa}} \cdot (V_{MP} - \beta \cdot \Delta T) \quad \text{con } T = +70^\circ$$

I calcoli verranno eseguiti prendendo dalla scheda tecnica del modulo fotovoltaico e dell'inverter come dati di partenza i seguenti valori:

- $V_{MP} = 32,60 \text{ V}$
- $I_{MP} = 9,51 \text{ A}$
- $V_{OC} = 40,55 \text{ V}$
- $I_{SC} = 10,09 \text{ A}$
- $V_{MPPT\ MIN\_INV} = 440 \text{ V}$
- $V_{MPPT\ MAX\_INV} = 800 \text{ V}$
- $V_{OC\ MAX\_INV} = 1000 \text{ V}$
- $I_{MP\ MAX\_INV} = 25 \text{ A}$

Le verifiche sull'accoppiamento array fotovoltaico – inverter vengono effettuate tramite un foglio di calcolo Excel: a partire dall'inserimento dei dati caratteristici di funzionamento del modulo fotovoltaico e dell'inverter, e scelta la configurazione dell'array fotovoltaico, si ha in output il superamento o meno delle verifiche di potenza, tensione e corrente dell'inverter, tramite un avviso "OK" in caso di verifica riuscita, oppure "ERRORE" nel caso di mancato superamento.

Le verifiche prevedono che siano verificate le seguenti disuguaglianze, come riportato anche sulla relazione tecnica dell'impianto fotovoltaico di Prima Industrie:

- Tensioni MPPT:

Tensione nel punto di massima potenza,  $V_{MP\ MIN}$ , a 70 °C maggiore o uguale della Tensione MPPT minima

Tensione nel punto di massima potenza,  $V_{MP\ MAX}$ , a -10 °C minore o uguale della Tensione MPPT massima.

$$V_{MP\ MIN}(T_{MAX}) > V_{MPPT\ MIN\_INV}$$

$$V_{MP\ MAX}(T_{MIN}) < V_{MPPT\ MAX\_INV}$$

I valori di MPPT rappresentano i valori minimo e massimo della finestra di tensione utile per la ricerca del punto di funzionamento alla massima potenza.

- Tensione massima:

Tensione di circuito aperto,  $V_{OC\ MAX}$ , a -10 °C minore o uguale alla tensione massima di ingresso dell'inverter.

$$V_{OC\ MAX}(T_{MIN}) < V_{OC\ MAX\_INV}$$

- Corrente massima:

Corrente massima (corto circuito) generata,  $I_{MP\ MAX}$ , minore o uguale alla corrente massima di ingresso dell'inverter.

$$I_{MP\ MAX}(T_{MAX}) < I_{MP\ MAX\_INV}$$

- Dimensionamento:

Per dimensionamento si intende il rapporto percentuale tra la potenza nominale dell'inverter e la potenza del generatore fotovoltaico.

Il dimensionamento deve avere valori compresi tra il 70 % e il 160 %.

L'impianto fotovoltaico di Fase 2 è costituito da 2 sottoimpianti:

1. Inverter B1: ha una potenza pari a 15,190 kW e una produzione di energia annua pari a 19 570,76 kWh, derivante da 2 generatori, con un numero totale di moduli pari a 49 e una superficie totale dei moduli di 79,72 m<sup>2</sup>.

	Potenza [kW]	Energia [kWh]	Numero Moduli	Stringhe/Moduli
<b>Generatore MPPT1</b>	9,3	11981,34	30	2x15
<b>Generatore MPPT2</b>	5,890	7589,42	19	1x19
<b>Tot</b>	<b>15,190</b>	<b>19570,76</b>	<b>49</b>	

Tabella 3.4: Dati del sottoimpianto Inverter B1

In questa sede ci si limiterà ad analizzare le configurazioni da 2x15 + 1x19:

<b>Modulo PEIMAR - SG310M (BF)</b>					
Potenza nominale Pm	310 Wp	Input			
Tolleranza	"-0 / +5W"	Input			
Lunghezza	1,64 m	Input			
Larghezza	0,992 m	Input			
Superficie	1,627 m <sup>2</sup>	Output			
Efficienza	19,1%	Output			
Peso	18 kg	Input			
Lato cella	156 mm	Input			
N° celle	60	Input			
Corrente di corto circuito Isc	10,90 A	Input			
Tensione a circuito aperto Voc	40,55 V	Input			
Corrente nel punto di potenza massima Im	9,51 A	Input			
Tensione nel punto di potenza massima Vm	32,6 V	Input			
Coefficiente termico di Pm	-0,41% /°C	Input			
Coefficiente termico di Isc	0,00047 A/°C	Input			
Coefficiente termico di Voc	-0,0032 V/°C	Input			
Fill Factor FF	70,1%	Output			
Rapporto potenza / peso	17,2 W/kg	Output			
<b>Inverter ABB - TRIO-20.0-TL-OUTD</b>					
Potenza nominale Pac	20000 VA	Input			
range MPPT (V)	440 800	Input			
Tensione massima Vdc	1000 V	Input			
Corrente massima Idc	25 A	Input			
Efficienza Europea	98,0%	Input			
Tensione di rete Vac	230V-50Hz	Input			
Fattore di potenza PF	1	Input			
Contributo alla corrente di corto circuito AC	25 A	Input			
<b>Array fotovoltaico</b>					
N° totale di moduli	30	Input	N° totale di moduli	19	Input
N° di moduli / stringa	15	Input	N° di moduli / stringa	19	Input
N° di stringhe	2	Output	N° di stringhe	1	Output
Potenza totale array Pm(a) tot	9300,0 Wp	Output	Potenza totale array Pm(a) tot	5890,0 Wp	Output
Superficie totale	48,8 m <sup>2</sup>	Output	Superficie totale	30,9 m <sup>2</sup>	Output
Peso totale	540,0 kg	Output	Peso totale	342,0 kg	Output
Tensione nominale di stringa Vn	489,0 V	Output	Tensione nominale di stringa Vn	619,4 V	Output
Tensione nominale a vuoto Voc (di stringa)	608,3 V	Output	Tensione nominale a vuoto Voc (di stringa)	770,5 V	Output
Tensione minima Vn (+50 °C)	487,8 V	Output OK	Tensione minima Vn (+50 °C)	617,9 V	Output OK
Tensione massima Vn (-10°C)	490,7 V	Output OK	Tensione massima Vn (-10°C)	621,5 V	Output OK
Tensione massima a vuoto Voc (-10 °C)	609,9 V	Output OK	Tensione massima a vuoto Voc (-10 °C)	772,6 V	Output OK
Corrente massima In (+50°C)	19,0 A	Output OK	Corrente massima In (+50°C)	9,5 A	Output OK
Rapporto Pinv / Pm tot (0.7-1.6)	131,7%	Output OK			

Figura 3.43: Verifiche elettriche del sottoimpianto Inverter B1

Il risultato dell'analisi della configurazione dell'array offre due risultati di tensione e corrente compatibili con la configurazione 2x15 + 1x19.

2. Inverter B2: ha una potenza pari a 15,500 kW e una produzione di energia annua pari a 19 969,90 kWh, derivante da 2 generatori, con un numero totale di moduli pari a 50 e una superficie totale dei moduli di 81,35 m<sup>2</sup>.

	Potenza [kW]	Energia [kWh]	Numero Moduli	Stringhe/Moduli
<b>Generatore MPPT1</b>	9,3	11981,34	30	2x15
<b>Generatore MPPT2</b>	6,2	7988,56	20	1x20
<b>Tot</b>	<b>15,500</b>	<b>19969,9</b>	<b>50</b>	

Tabella 3.5: Dati del sottoimpianto Inverter B2

In questa sede ci si limiterà ad analizzare le configurazioni da 2x15 + 1x20:

Array fotovoltaico					
N° totale di moduli	30	Input	N° totale di moduli	20	Input
N° di moduli / stringa	15	Input	N° di moduli / stringa	20	Input
N° di stringhe	2	Output	N° di stringhe	1	Output
Potenza totale array Pm(a) tot	9300,0 Wp	Output	Potenza totale array Pm(a) tot	6200,0 Wp	Output
Superficie totale	48,8 m <sup>2</sup>	Output	Superficie totale	32,5 m <sup>2</sup>	Output
Peso totale	540,0 kg	Output	Peso totale	360,0 kg	Output
Tensione nominale di stringa Vn	489,0 V	Output	Tensione nominale di stringa Vn	652,0 V	Output
Tensione nominale a vuoto Voc (di stringa)	608,3 V	Output	Tensione nominale a vuoto Voc (di stringa)	811,0 V	Output
Tensione minima Vn (+50 °C)	487,8 V	Output OK	Tensione minima Vn (+50 °C)	650,4 V	Output OK
Tensione massima Vn (-10°C)	490,7 V	Output OK	Tensione massima Vn (-10°C)	654,2 V	Output OK
Tensione massima a vuoto Voc (-10 °C)	609,9 V	Output OK	Tensione massima a vuoto Voc (-10 °C)	813,2 V	Output OK
Corrente massima In (+50°C)	19,0 A	Output OK	Corrente massima In (+50°C)	9,5 A	Output OK
Rapporto Pinv / Pm tot (0.7-1.6)	129,0%	Output OK			

Figura 3.44: Verifiche elettriche del sottoimpianto Inverter B2

Il risultato dell'analisi della configurazione dell'array offre due risultati di tensione e corrente compatibili con la configurazione 2x15 + 1x20.

Con il dimensionamento dell'array si conclude la parte impiantistica del progetto di Fase 2.

### 3.2.2 Sistema di distribuzione

Il sistema di distribuzione è formato dall'insieme di tutte le tubazioni che permettono di far circolare i fluidi termovettori negli impianti HVAC. All'interno di questo sistema si pone il problema delle perdite di carico.

Per quanto riguarda la distribuzione dell'acqua, le perdite di carico si suddividono in perdite distribuite o continue, e perdite concentrate o localizzate. L'unità di misura delle perdite di carico è il kPa.

Quando si generano fenomeni di attrito distribuiti lungo tutto il circuito tra l'acqua e le pareti interne dei tubi, si parla di perdite di carico distribuite. Esse dipendono dal quadrato della velocità del fluido, dalla densità e quindi dalla temperatura dell'acqua, dalla rugosità della superficie intera del tubo e dal diametro dello stesso.

Quando invece sono presenti variazioni improvvise del diametro del tubo, derivazioni o curve, oppure quando sono presenti barriere come terminali d'impianto o dispositivi idraulici, si parla di perdite di carico concentrate o localizzate. Anche esse dipendono dal quadrato della velocità e dalla densità e quindi dalla temperatura.

Il principale tipo di tubi in esercizio è quello in acciaio nero SS con coibentazione in gomma espansa. Un'ulteriore finitura in PVC è presente nei locali tecnici e al piano interrato, con lo scopo di ridurre al minimo le perdite. Le tubazioni di scarico della condensa sono invece in PPS (polifenilensulfide), dotato di un'ottima resistenza termica e chimica.

Una volta che l'aria è stata trattata in una UTA viene distribuita nelle apposite canalizzazioni aerauliche, che sono la parte di impianto adibita al trasporto e alla distribuzione degli impianti di HVAC.



*Figura 3.45: Immagine raffigurante i canali dell'UTA*

Tra i metodi impiegati per l'installazione dei canali dell'aria vi sono le lamiere in acciaio zincato coibentate con materassino in guaina, in modo tale che la lamiera sia protetta da una eventuale ossidazione e corrosione e con lo scopo di ottenere un corretto isolamento termico.

### 3.2.3 Sistema di emissione

Una volta che l'acqua è stata riscaldata o raffrescata tramite l'utilizzo della pompa di calore, viene inviata ai terminali di emissione, specificamente radiatori, fan-coils, aerotermi per quanto riguarda l'impianto di condizionamento, e bocchette, diffusori per quel che concerne l'impianto di ventilazione meccanica.

#### Componenti per l'emissione

Una volta passata dalla rete di distribuzione, l'energia termica o frigorifera contenuta nei fluidi termovettori viene immessa nell'ambiente per mezzo di alcune apparecchiature o corpi scaldanti.

#### Radiatori in alluminio.

I radiatori in alluminio sono componenti che trasferiscono calore per convezione naturale e irraggiamento. La caratteristica che li contraddistingue dagli altri tipi di radiatori è la assoluta leggerezza, il basso costo e l'elevata resa termica che consente un ingombro minimo. Sono capaci di scaldarsi in poco tempo grazie alla loro bassa inerzia termica, ma si raffreddano altrettanto facilmente. Tale tipologia di emissione è infatti presente soltanto nei servizi igienici di tutti gli edifici dello stabile.

#### Ventilconvettori.

I ventilconvettori sono componenti costituiti da un ventilatore elettrico e da una batteria alettata per lo scambio termico dove scorre l'acqua proveniente dall'impianto a monte. Sono caratterizzati da un'elevata resa energetica e sono più propriamente noti col nome di fan-coils.

Rispetto ai radiatori in ghisa, che sono alimentati con acqua calda ad una temperatura di circa 60÷70 °C, i fan-coils vengono alimentati ad una temperatura più bassa, intorno ai 45÷50 °C. In questo modo l'aria riesce a mantenere un adeguato livello igrometrico. Il fatto che i fan-coils lavorino a basse temperature permette a questi ultimi di lavorare in abbinamento con generatori di calore che hanno temperature di lavoro basse e un'elevata efficienza energetica, come le pompe di calore e i pannelli solari termici. Un altro aspetto dei fan-coils è che non cedono una parte consistente del calore verso le pareti su cui sono installati, come invece fanno i radiatori, ma trasmettono tutto il calore all'ambiente da riscaldare. Una caratteristica molto importante è la rapidità con cui vengono raggiunte le temperature di set point desiderate, grazie alla ventilazione forzata e alla velocità d'avvio. Per tutti quei locali che sono occupati in maniera discontinua o comunque poche ore al giorno, l'installazione dei fan-coils rappresenta la scelta più adeguata. Nel nostro caso in esame, essi sono presenti negli uffici, nella sale riunione, nella futura palestra, negli spogliatoi per i dipendenti, in tutti i vani scala e nei corridoi.

Nel caso in esame si parla di ventilconvettori a cassetta, che si prestano a essere collocati nei pannelli in cartongesso del controsoffitto. Sono collocati in posizione centrale rispetto al locale o alla sottozona da servire. È possibile effettuare un controllo remoto sul termostato di regolazione e sul comando di velocità dell'aria.



<b>RAFFREDDAMENTO</b>		<b>RISCALDAMENTO</b>	
Potenza Totale	2,73 kW	Potenza Totale	5,80 kW
Potenza Sensibile	2,13 kW	N° Ranghi	2
N° Ranghi	2	<b>Aria</b>	
<b>Aria</b>		Temp. Aria Ingresso BS	20 °C
Temp. Aria Ingresso BS	27 °C	Temp. Aria Uscita BS	51,7 °C
Temp. Aria Ingresso BU	19,0 °C	<b>Fluido</b>	
Umidità Relativa Ingresso	47,0 %	Temp. Fluido Ingresso	70 °C
Temp. Aria Uscita BS	15,1 °C	Temp. Fluido Uscita	60,0 °C
Temp. Aria Uscita BU	13,6 °C	Portata	509,4 l/h
Umidità Relativa Uscita	86,0 %	Perdita di carico	3,6 kPa
<b>Fluido</b>			
Temp. Fluido Ingresso	7 °C		
Temp. Fluido Uscita	12,0 °C		
Portata	468,5 l/h		
Perdita di carico	4,0 kPa		

Figura 3.46: Ventilconvettore a cassetta e caratteristiche avanzate da scheda tecnica

### Aerotermi.

Quando la volumetria del locale da riscaldare presenta un'elevata metratura è preferibile utilizzare gli aerotermi. La diffusione del calore avviene tramite convezione forzata: sono dotati di un potente ventilatore che preleva aria dall'ambiente interno, l'aria a sua volta passa attraverso una batteria alettata di scambio termico in cui scorre acqua calda; in questo modo l'aria si riscalda ed è pronta per essere immessa nel locale da servire. Da un singolo aerotermo possono derivare quindi elevate potenze termiche.

Nel caso in esame, la tipologia in questione è in installata a soffitto ad un'altezza di 12 metri, nel capannone C2 di fase 3. Tali aerotermi sono completi di valvole di intercettazione e regolatore automatico di portata. La potenza termica è di 35 kW mentre la potenza frigo è di 27 kW. Dal momento che tale emissione rende difficile l'uniforme distribuzione del calore in aere, la resa energetica sarà sicuramente diversa e inferiore rispetto ai fan-coils, ma i bassi costi di posa in opera e di acquisto li hanno preferiti ad altri componenti per l'emissione.



### **DIFFUSORE RADIALE "DRA"**

È il modello più comunemente usato; composto di diverse alette regolabili singolarmente, conformate in modo tale da poter coprire tutta la superficie di uscita aria e quindi adatto sia alle minime che alle massime altezze; questo diffusore consente di indirizzare l'aria nelle direzioni desiderate, escludendone eventualmente altre ove per qualsiasi motivo non si debba ventilare.

Figura 3.47: Diffusore radiale o aerotermo

Nella figura sottostante si notano gli aerotermi, ovvero i pallini rossi, la tubazione di mandata e ritorno dei fluidi termovettori della rete aerotermi, in rosso, e la tubazione di scarico della condensa, in verde.

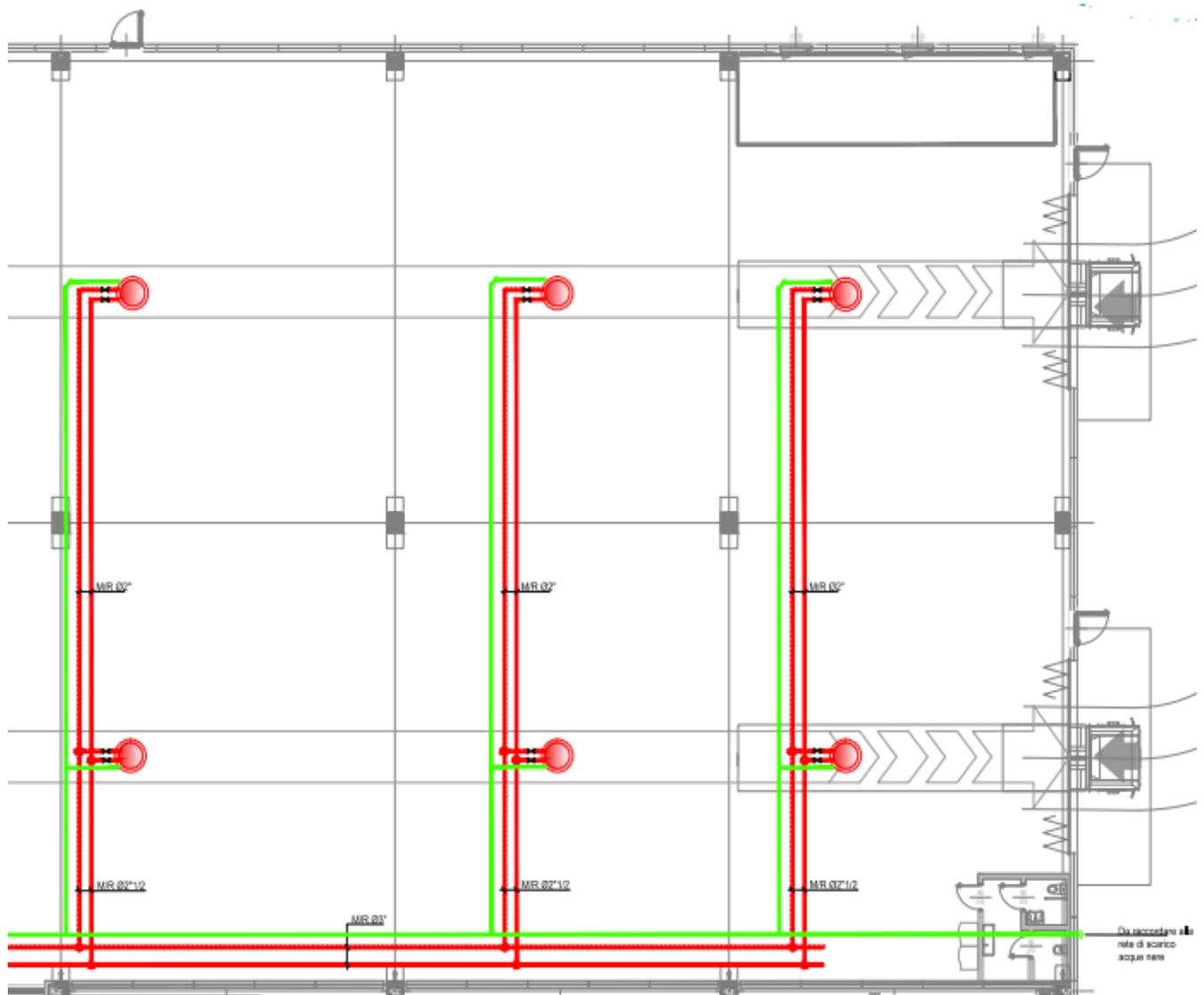


Figura 3.48: Ritaglio dell'impianto di climatizzazione dell'edificio produttivo C2

La tipologia prevista per gli impianti di climatizzazione dei singoli locali e/o zone è riassunta nella tabella seguente:

IDENTIFICAZIONE	TIPOLOGIA IMPIANTISTICA
Uffici	Ventilconvettori a 2 tubi + aria primaria
Sale riunione	Ventilconvettori a 2 tubi + aria primaria
Servizi igienici	Radiatori ed estrazione meccanica dell'aria
Spogliatoi	Ventilconvettori a 2 tubi + aria primaria
Palestra	Ventilconvettori a 2 tubi + aria primaria
Corridoi	Ventilconvettori a 2 tubi + aria primaria
Vani scala	Ventilconvettori a 2 tubi (ove necessario)
Additive & Showroom	Impianto a tutta aria
Capannone C	Impianto ad aerotermi (riscaldamento e raffrescamento)

Tabella 3.6: Tipologie previste per gli impianti di climatizzazione di ogni singolo locale

Di seguito viene riportato un frammento dell'impianto di climatizzazione del piano terra dell'edificio B1.

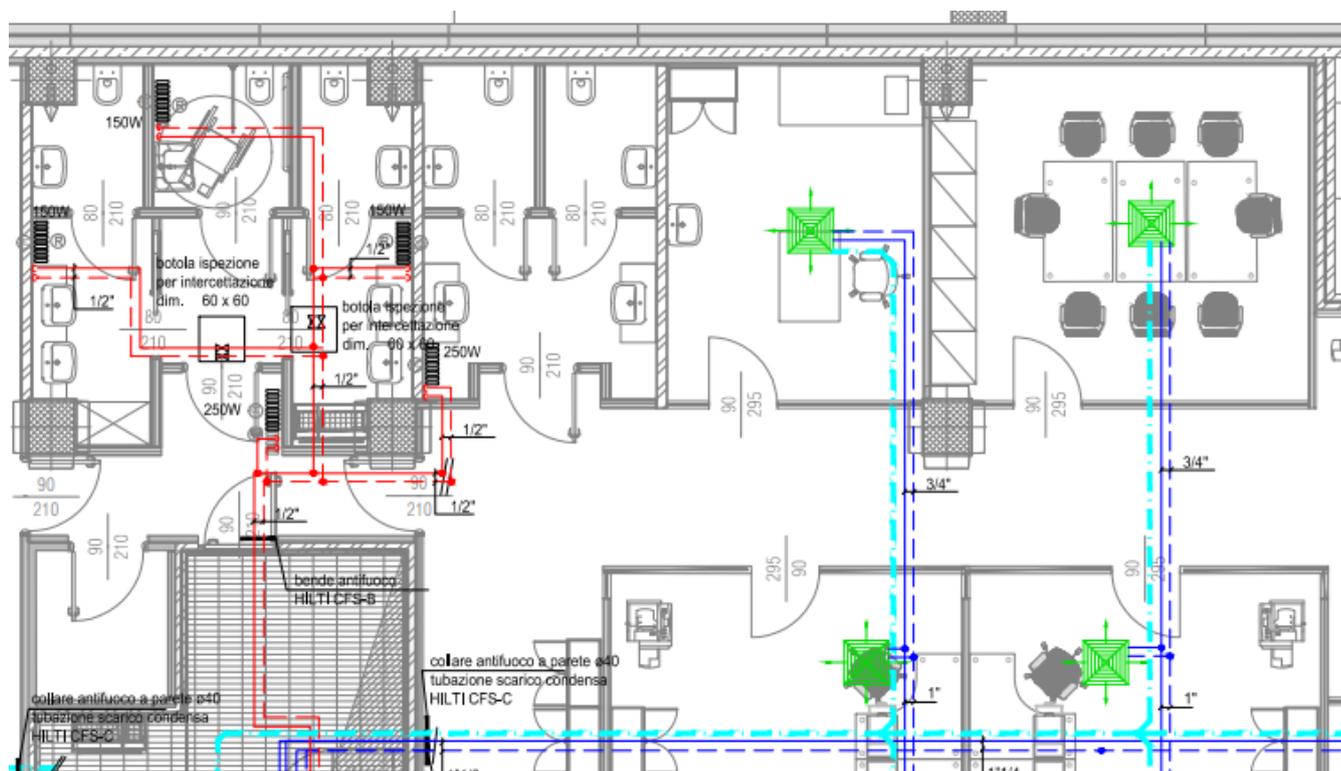


Figura 3.49: Ritaglio dell'impianto di climatizzazione della zona uffici

In figura sono visibili in verde i ventilconvettori a cassetta, in blu la tubazione di mandata/ritorno della rete fan-coil, in rosso la tubazione di mandata/ritorno della rete dei radiatori, e la tubazione di scarico condensa in azzurro.

### Componenti per l'emissione da ventilazione meccanica

Al fine di evitare effetti di stratificazione e zone in cui non arriva aria, le bocchette e i diffusori vanno collocati in posti strategici in modo da distribuire al meglio l'aria in ambiente. Esistono tre tipologie per la distribuzione: da parete, da soffitto e da pavimento.

#### Bocchette.

Le bocchette sono l'apparecchio più usato per la diffusione dell'aria e vanno posizionate o nel controsoffitto o nei pressi del soffitto. L'installazione viene effettuata a 30 cm dal soffitto e sono progettate in modo che l'aria di mandata esca a 2m/s. Nello stabilimento in questione le troviamo nella maggior parte degli uffici dell'edificio A e ve ne sono sia di mandata che di aspirazione.

#### Diffusori per lunghe gittate.

Quando gli ambienti sono di grandi dimensioni vengono usati questi appositi "ugelli" per l'emissione da ventilazione, sia per la funzione di riscaldamento sia per il raffreddamento. Nel nostro caso, sono presenti nel capannone Additive e nello showroom.

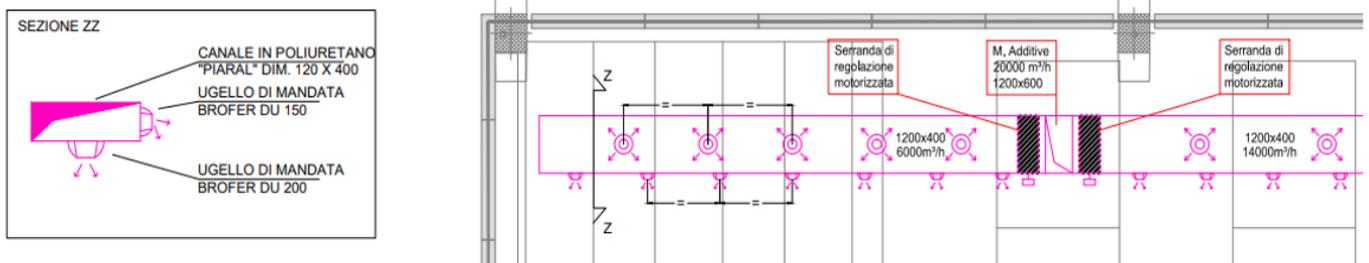


Figura 3.50: Diffusori a ugello sul canale di mandata del reparto Additive

#### Diffusori lineari.

Consentono di diffondere l'aria perpendicolarmente al diffusore, in una o due direzioni. Sono perfettamente integrati con il controsoffitto infatti non interrompono il design di quest'ultimo. Sono dotati di una serranda di regolazione che regoli la portata entrante.



Figura 3.51: Diffusore lineare a due feritoie per l'aria di mandata

In figura si ha un ritaglio del piano primo dell'edificio B1, ove sono presenti corridoi, uffici e sale riunioni. Si notano i componenti di diffusione di mandata (in viola) e di ripresa (in blu). Nei bagni sono presenti invece valvole di ventilazione a fungo.

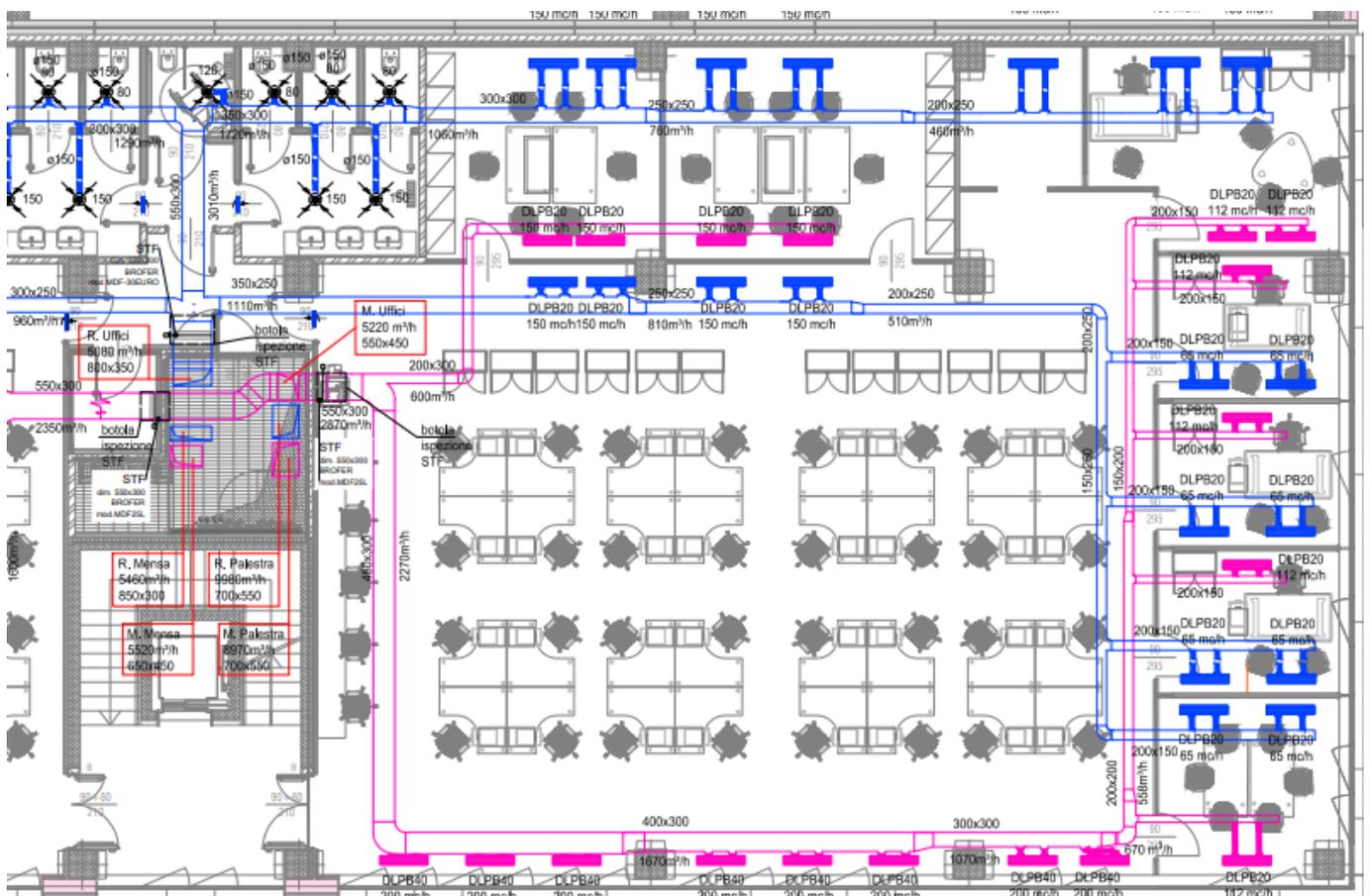


Figura 3.52: Ritaglio dell'impianto di emissione da ventilazione meccanica della zona uffici

### 3.2.4 Impianti elettrici e speciali

Le tipologie presenti nel nuovo stabilimento si possono diversificare in:

- connessione MT
- trasformazione MT/BT
- impianto elettrico BT
- rivelazione incendi automatica e manuale
- controllo accessi, videocitofonia e antintrusione
- impianto di illuminazione
- Building Automation System

#### Connessione MT

La cabina di consegna dell'Enel è situata all'esterno dello stabile, sul confine Est. Da questo punto parte una linea di media tensione da 15 kV con cavo interrato che arriva fino alla cabina di trasformazione.

#### Trasformazione MT/BT

In questa cabina avviene la trasformazione da media tensione a bassa tensione. La cabina di trasformazione per la Fase 1 vede la presenza di tre trasformatori green collegati in parallelo che alimentano quindi gli uffici dell'edificio A e lo showroom.

Dati dell'impianto:

- tensione: 15/0,4 kV
- numero trasformatori: 3
- potenza trasformatore: 400 kVA (cad.)
- modello: BTICINO GREEN400kVA
- sistema elettrico: TN-S

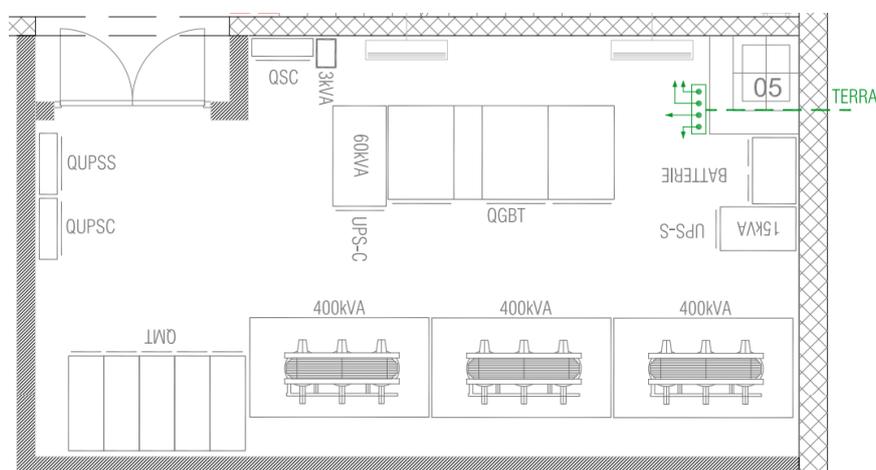


Figura 3.53: Cabina di trasformazione

All'interno della cabina vi è anche il gruppo UPS, ovvero gruppo di continuità di alimentazione e di sicurezza. Se si stacca la rete dell'Enel, l'UPS di continuità garantisce energia elettrica per 15 minuti, mentre l'UPS di sicurezza è alimentato da una batteria che ha un'autonomia di 2 ore.

Fase 2 e Fase 3 invece sono alimentate da un trasformatore da 2000 kVA.

Per Fase 3A c'è un gruppo elettrogeno con cui si possono alimentare gli impianti. Non è interrato, è fuori terra e alimenta le utenze ritenute privilegiate.

### Impianto elettrico BT

L'impianto di bassa tensione comprende tutte le linee che partendo dal quadro BT vanno ad alimentare i quadri di piano e dai quadri di piano vanno ad alimentare le varie utenze.

Ogni piano degli uffici ha il suo quadro elettrico, così come lo showroom e l'edificio produttivo. All'interno dei quadri elettrici vi sono anche tutti i controllori che gestiscono gli impianti domotici (impianto luci, HVAC e microclima, etc) e anche i controllori che gestiscono le macchine (PDC, UTA, elettropompe che alimentano gli impianti, etc).

Ogni quadro è suddiviso in 3 sezioni: sezione "normale", che alimenta tutte le prese di servizio (prese nere), sezione di continuità' (prese rosse), sezione di sicurezza, nel caso in cui le altre due non funzionino.



Figura 3.54: Esempio di quadro elettrico di piano

L'impianto elettrico di BT è quindi costituito da un:

- impianto di illuminazione ordinaria
- impianto di illuminazione di sicurezza centralizzato (sotto UPS di sicurezza da 20 kVA)
- impianto di forza motrice sotto linea "normale"
- impianto di forza motrice sotto linea "privilegiata" ovvero sotto UPS di continuità da 60 kVA

Uno schema a blocchi inerente al piano interrato e al piano terra mette in luce quanto appena descritto:

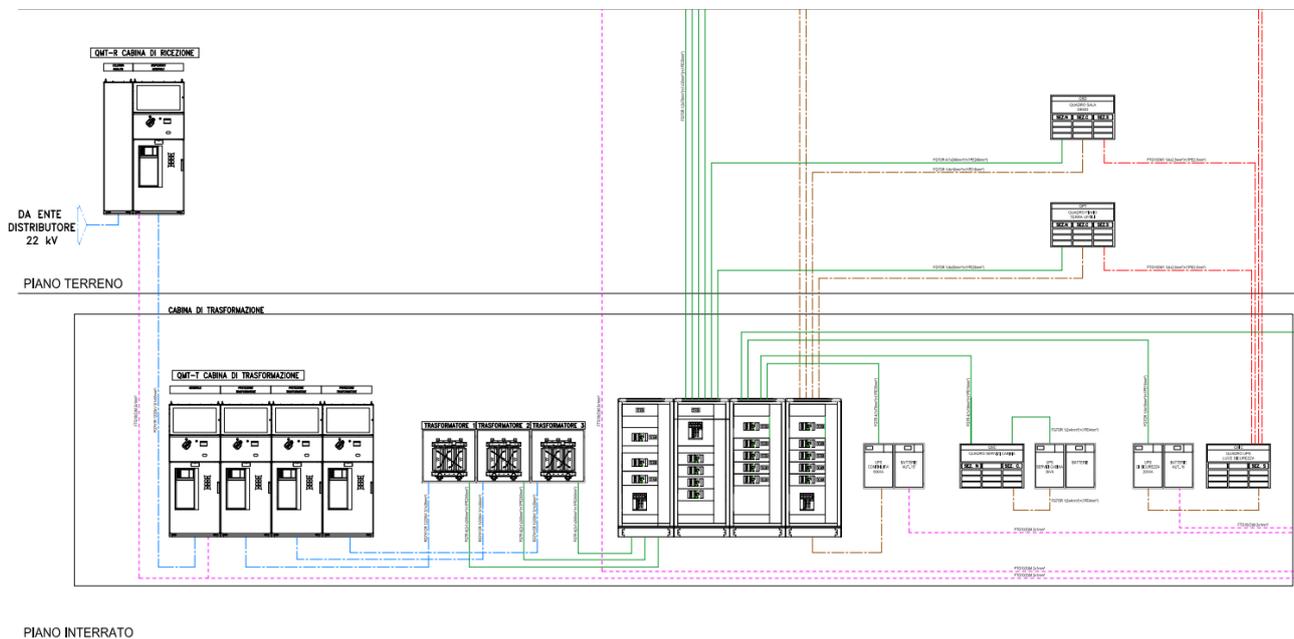


Figura 3.55: Schema a blocchi del piano interrato

### Rivelazione automatica e manuale incendi

Questo sistema fondamentale prevede tre tipologie di rilevazione:

1. puntiforme ottico di fumo
2. ottico lineare
3. sistema ad aspirazione

Le zone che sono sorvegliate sono le seguenti:

- sopra il controsoffitto
- tutti i locali
- sotto il pavimento galleggiante

### Controllo accessi e videocitofonia

Il sistema è principalmente costituito da:

- lettori di badge
- elettroserrature

Il sistema permette di poter autorizzare o no l'accesso agli utenti ad alcune zone della struttura.

Il sistema di videocitofonia è del tipo IP ed è quindi basato sul collegamento tramite cavo ethernet e permette di:

- realizzare delle multi conversazioni audio-video
- collegare un numero infinito di utenti e dispositivi
- realizzare una comunicazione simultanea tra tutti gli utenti della rete

#### Impianto di illuminazione normale e di emergenza

Livelli di illuminamento: i valori medi di illuminamento da ottenere su un piano orizzontale posto a 0,80 m dal pavimento, in condizione di alimentazione normale, sono stati derivati dalla Norma **UNI 12464**.

<b>Zona</b>	<b>Illuminamento medio</b>
Uffici	500 lux (sul piano di lavoro)
Locali Tecnici	200 lux
Corridoi/Scale Illuminazione Ordinaria	100 lux
Capannone Produzione e Additive	1000 lux
Corridoi/Scale Illuminazione Sicurezza	5 lux a 1 m
Locali Comuni Illuminazione Sicurezza	5 lux a 1 m

*Tabella 3.7: Livelli di illuminamento medio per ogni locale*

Tipologia impianti di illuminazione:

Fase 1:

- Sale riunioni: moduli LED da 35 W
- Uffici: lampade al Neon (in previsione sostituzione con moduli LED da 35 W)

Vi sono dei sensori ambiente che rilevano la luminosità al suo interno (in fase di programmazione sono settati 500 lux per gli uffici) e avviene una misurazione continua della luminosità sopra il piano di lavoro, in modo tale che siano garantiti i 500 lux. Il sistema di presenza fa sì che venga illuminata la parte dove è presente un utente. Quando l'apporto di luce naturale è molto consistente, l'impianto regola con dimmer ad una potenza del 10%.

I sensori sono presenti in tutti gli ambienti, eccetto nei servizi igienici, dove ci sono solo sensori di presenza e la regolazione avviene manualmente, tramite l'On/Off.

Fase 2:

- Uffici e sale riunioni: moduli LED da 35 W
- Additive: moduli LED da 137 W

I sensori di Fase 2 hanno una doppia tecnologia: sensore di luminosità ma anche di presenza. Se viene rilevata la presenza di qualcuno in ufficio, sono garantiti i 500 lux, con la possibilità di regolare con dimmer la potenza qualora ci fosse un notevole apporto luminoso esterno. Se non c'è rilevazione di presenza, la luce rimane spenta. Ciò si traduce in massimo risparmio energetico.

Di notevole innovazione è il controllo di sottozona nelle postazioni ufficio o negli open space, come il reparto Additive, suddiviso in quattro sottozone. Dove viene rilevata la presenza di persone nella sottozona, è garantito l'illuminamento medio tipico del locale; se non vi è presenza in una determinata sottozona adiacente, l'impianto regola con dimmer al minimo indispensabile (circa 100 lux).

Fase 3:

L'impianto in costruzione prevede tutte le tecnologie presenti in Fase 2. Il Capannone produttivo C presenta tutte lampade a LED ed è suddiviso in 10 sottozone. In questo modo c'è un controllo continuo ai 4 vertici del capannone, che vedono la presenza di portelloni che permettono l'apporto di luce naturale: avviene quindi una dimmerazione che riduce i consumi.

#### Illuminazione esterna:

Illuminazione a LED controllata tramite un crepuscolare, sensore che misura la luminosità esterna.

#### Illuminazione di emergenza:

All'interno dei fabbricati l'impianto di illuminazione di emergenza è del tipo centralizzato, cioè sfrutta corpi illuminanti utilizzabili per l'illuminazione normale sottesi a gruppi di continuità. L'impianto di illuminazione di emergenza utilizza lo stesso corpo illuminante utilizzato per l'illuminazione normale, tale corpo illuminante avrà quindi più funzione realizzate a livello elettromeccanico sul quadro elettrico di distribuzione.

Le accensioni di tutti questi impianti, ad esclusione di quello di emergenza, sono comandate tramite il sistema BEMS, secondo il principio descritto nell'apposito capitolo.

#### Building Automation System

Il sistema dispone di una infrastruttura di supervisione e controllo capace di massimizzare il risparmio energetico, il comfort e la sicurezza degli occupanti, garantendo inoltre l'integrazione con il sistema elettrico di cui l'edificio fa parte.

Il sistema permette principalmente la gestione intelligente dell'impianto di:

- illuminazione ordinaria e di sicurezza
- riscaldamento e condizionamento
- ventilazione

In seguito verrà approfondita la parte sul sistema di automazione.

### 3.2.5 Sistema di regolazione - BEMS (Building and Energy Management System)

#### Introduzione e descrizione del sistema

Le sfide dell'efficienza energetica e della sostenibilità ambientale saranno sempre più attuali e tutte le organizzazioni stanno trovando soluzioni per affrontarle tramite tecnologie hardware e software progettate per eseguire al meglio non solo la gestione dell'edificio, secondo le più moderne ed efficienti tecnologie, ma anche per attuare una gestione energetica nel modo più capillare possibile.

La norma **UNI CEI EN ISO 50001** "*Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso*" è la versione italiana della norma internazionale **ISO 50001**. La norma 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 razionale dell'energia.

Così come è anche indicato dalla normativa ISO 50001, per seguire il percorso proposto, sarà fondamentale costruire un Sistema di Gestione dell'energia (EnMS) in grado di supportare l'utente in questo percorso. Esso permetterà di raggiungere gli obiettivi del Piano Energetico di Sostenibilità che l'utente si prefisserà di raggiungere in termini di controllo e riduzione continua delle emissioni di gas ad effetto serra e diminuzione dei costi legati all'energia.

Secondo lo standard internazionale ISO50001 un'organizzazione dovrà stabilire, documentare, implementare, mantenere e migliorare un EnMS, definire e documentare la portata e i limiti del proprio EnMS, determinare come esso permetterà di raggiungere il miglioramento continuo delle proprie prestazioni energetiche.

Per ottenere il massimo ritorno sugli investimenti nella gestione dell'energia e di progetti di efficienza, questo percorso dovrà essere parte della cultura dell'organizzazione: il Piano Energetico di Sostenibilità dovrà essere conosciuto e supportato dalle persone di qualsiasi livello. Per questo motivo il Sistema di Gestione dell'energia dovrà permettere di mostrare in maniera automatica l'andamento delle proprie performance attraverso la misurazione degli indici di performance (EnPS: Energy Performance Indicators) e la pubblicazione dei risultati al pubblico.

Il sistema integrato di Building Automation dovrà poter sfruttare in modo completo i servizi di condivisione dati, tendenze, programmazione, allarmi e gestione delle periferiche. Dalla postazione dell'operatore, al controllore dell'edificio, al più semplice controllore dei terminali, il sistema di supervisione dovrà fornire massima interoperabilità ed apertura ad ogni livello.

Il sistema, grazie all'utilizzo di protocolli standard e aperti dovrà consentire di integrare riscaldamento e raffrescamento, controllo degli accessi e della sicurezza, ventilazione, controllo dei fumi e degli incendi e impianti di illuminazione, la distribuzione elettrica, e tutti gli impianti che faranno parte del sistema di Building Automation.

Questo approccio ridurrà i costi di formazione e manutenzione, aumenterà il risparmio di energia e aggiungerà valore raccogliendo e condividendo grandi quantità di dati riguardanti la struttura e i

costi, consentendo una gestione più proficua dell'edificio. Si disporrà del completo controllo dell'intero edificio, di più edifici o di ogni stanza in ciascun edificio da una singola interfaccia utente. Il sistema di monitoraggio acquisirà i consumi di energia elettrica direttamente dalle apparecchiature "intelligenti" installate in campo come misuratori, interruttori intelligenti, protezioni elettriche.

I dati di consumo di gas e acqua verranno acquisiti tramite opportuno interfacciamento con i contatori dotati di uscita ad impulsi.

Il sistema sarà un unico sistema di controllo e supervisione del clima e della sicurezza. Tale approccio ridurrà il costo del sistema complessivo, offrendo la soluzione più efficace per la crescente esigenza di integrazione.

### Building and Energy Management System (BEMS)

La rilocalizzazione dell'impresa ha stimolato l'azienda Prima Industrie ad adottare questa soluzione intelligente per il nuovo stabile, tramite l'utilizzo di controllori forniti da Schneider Electric. Benché, come annunciato in precedenza, il sistema consenta il controllo e la gestione dei fumi dell'impianto antincendio, Prima Industrie ha preferito non servirsi di tale funzione, asserendo il compito ad un'altra linea di gestione. Va sottolineato il fatto che dal punto di vista energetico tale scelta non comporta conseguenze.

L'utente che si collega al software building operation di Schneider può avere un profilo di admin, manutentore o visitatore per la sola lettura dei dati, come nel mio caso. Tramite connessione VPN ci si collega ad un indirizzo IP di Prima Industrie.

La postazione operativa potrà essere "locale" e "remota" sfruttando la WAN aziendale o le potenzialità del Web.

Il sistema BEMS specifico per un edificio come l'azienda in questione si comporrà delle seguenti aree funzionali:

- Distribuzione elettrica
- Impianti Tecnologici
- Monitoraggio energetico
- Confort ambientale integrato (Microclima, Illuminazione e Oscuranti)
- Sicurezza dei beni (Controllo degli accessi, Antintrusione, Videosorveglianza)
- Datacenter
- Sistema di controllo e monitoraggio con tutte le funzioni specifiche relative alle aree funzionali di cui ai punti precedenti

L'architettura del BEMS prevede quindi il controllo di vari sistemi tra cui:

- impianto HVAC e Ambienti
- impianto elettrico
- impianto di illuminazione
- sistema wireless
- sistema antintrusione

- sistema controllo degli accessi
- sistema video sorveglianza

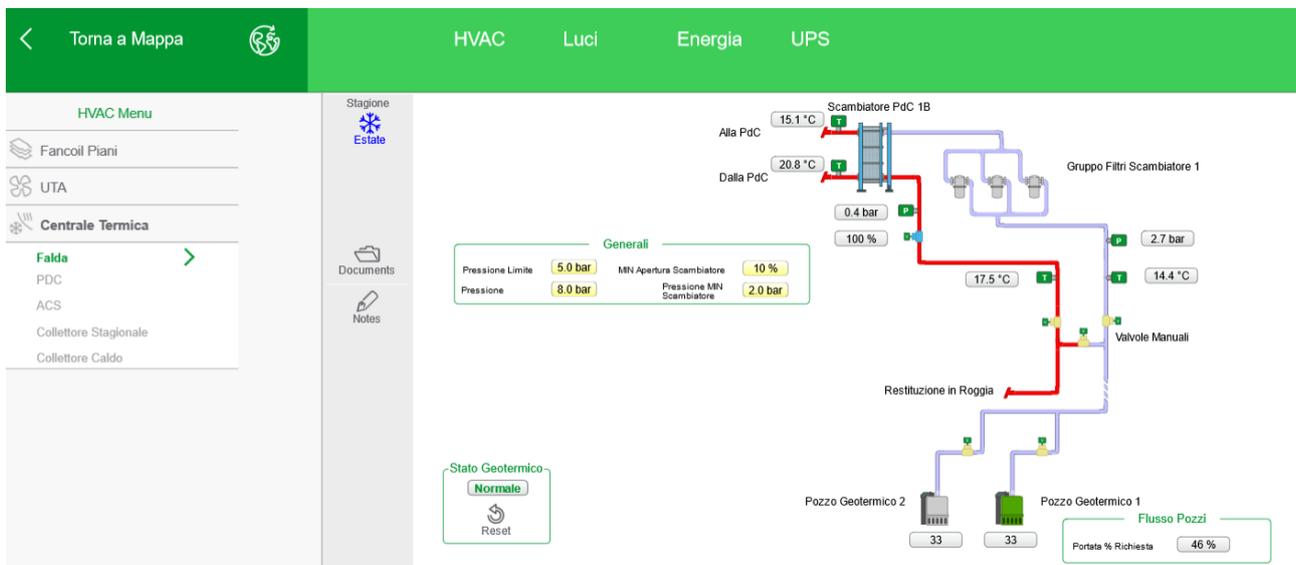


Figura 3.56: Esempio di pagina grafica per il monitoraggio della centrale termica

Da questa pagina grafica sarà possibile:

- visualizzare tutti i valori delle sonde in campo
- visualizzare e modificare tutti i set-point relativi
- visualizzare e modificare tutti i comandi delle pompe dei gruppi frigo/caldaie
- visualizzare tutti gli stati delle pompe dei gruppi frigo/caldaie
- visualizzare i consumi energetici associati alle apparecchiature

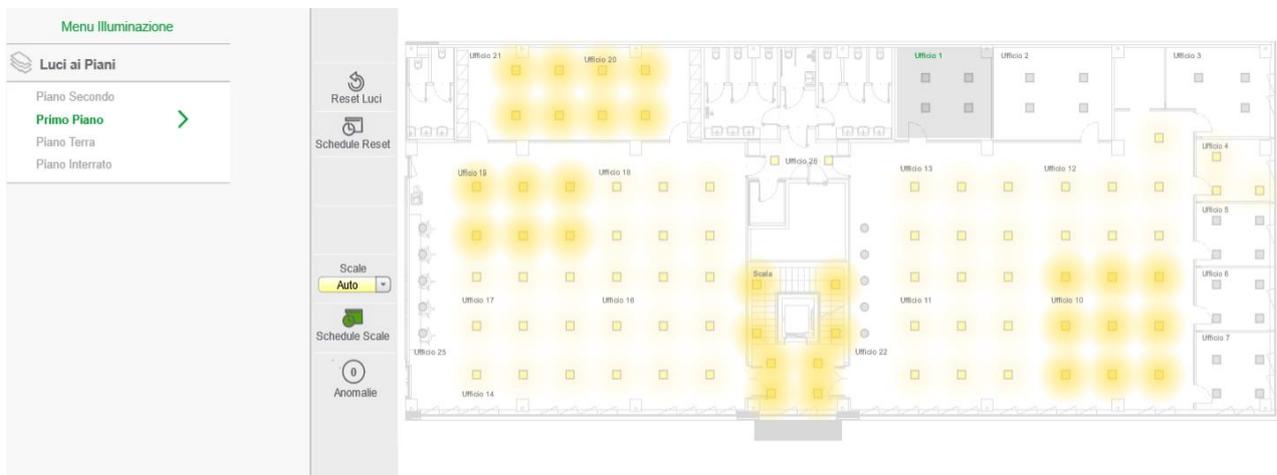


Figura 3.57: Esempio di pagina grafica per Controllo illuminazione di piano

Da questa pagina grafica sar  possibile:

- visualizzare tutti i valori di luminosit  degli ambienti
- visualizzare e modificare tutti i set-point relativi
- visualizzare e modificare tutti i comandi delle accensioni on/off e dimmerabili delle luci
- visualizzare e modificare tutti i comandi delle tende motorizzate
- visualizzare i valori rilevati dalla stazione meteorologica
- visualizzare i consumi energetici associati alle apparecchiature

Un altro esempio   quello che consente la presa in visione dei Fan Coil e i relativi termostati degli ambienti. Si pu  decidere se effettuare una ventilazione ad una velocit  ben precisa o automatica. Dal punto di vista energetico   interessante perch  permette di regolare la velocit  della ventola in funzione del delta di temperatura che c'  tra set point e temperatura in campo. Pi  grande   questo delta pi  il sistema imposta una velocit  elevata. Quando si arriva quasi alla temperatura desiderata, il BEMS regola la velocit  al minimo in modo da risparmiare energia.   un progresso notevole per tutto l'impianto HVAC e consente un totale controllo dell'UTA, persino sui filtri dell'aria che talvolta vengono segnalati come sporchi.   possibile effettuare una regolazione anche su tutto un intero piano. I ventilatori, ad esempio, sono tutti dotati di inverter e quasi anche tutte le elettropompe, in modo da stabilire la velocit  dei ventilatori o dell'elettropompe e consentire di assorbire meno potenza.

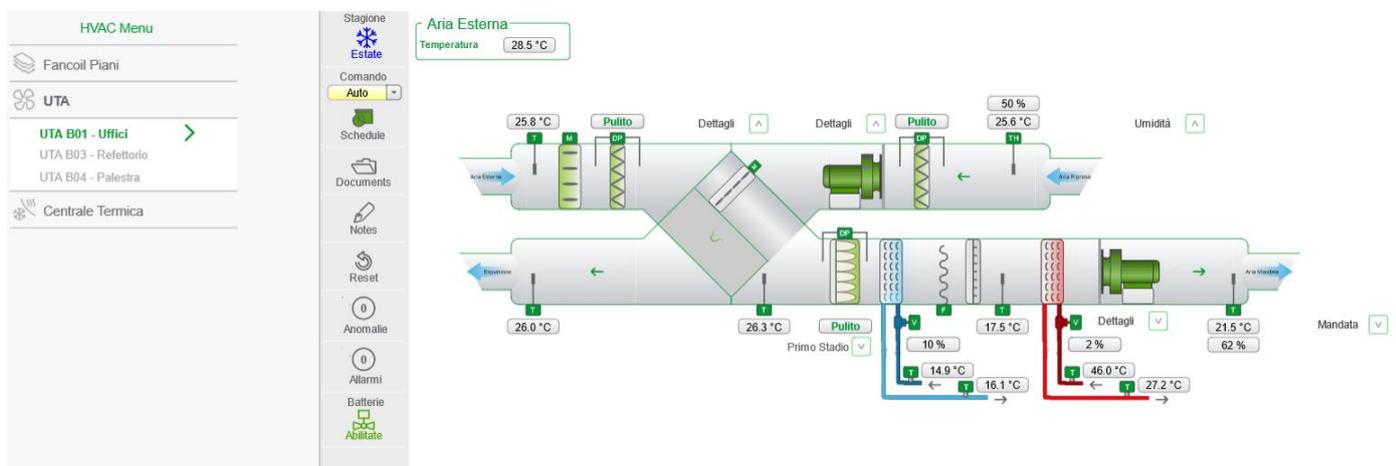


Figura 3.58: Esempio di pagina grafica per il controllo dell'UTA degli uffici

Per i quadri elettrici si   previsto di dotare gli interruttori ed altri componenti di accessori atti a rendere ciascun dispositivo, interessato dall'intervento, in grado di comunicare dati qualitativi e quantitativi che permetteranno interventi tempestivi in caso di guasto, anomalia, ecc. Le apparecchiature oggetto dell'intervento comunicheranno col sistema di supervisione e costituiranno la base per la creazione di un database di storicit  degli eventi, profili di carico e monitoraggio delle ore di funzionamento delle utenze.

In conclusione, questa applicazione   pensata per condividere le informazioni pi  importanti dell'impianto, pubblicizzando i risultati ottenuti e diffondendo la sensibilit  e l'educazione in ambito energetico.

## 4. Analisi energetica ed ambientale

### 4.1 Consumi dell'edificio

Per lo sviluppo dello studio oggetto della tesi è necessario partire dall'analisi sui dati dei consumi energetici annuali relativi allo stabilimento. Il consumo elettrico annuale viene rilevato dalle fatture di energia elettrica prodotte dal fornitore, espresse mensilmente in kWh e kW (quest'ultima è la potenza media), secondo la suddivisione delle tre fasce orarie F1, F2 e F3.

È noto che l'energia elettrica ha un prezzo diverso a seconda dell'orario del giorno in cui viene utilizzata. La suddivisione delle 24 ore di una giornata in differenti fasce orarie del servizio elettrico nazionale deriva dalla variabilità della domanda: durante il giorno, nella fascia di punta, la maggior parte delle aziende e dei privati utilizza infatti un quantitativo di energia molto maggiore rispetto alla notte (un fattore che ne aumenta i costi di produzione e, di conseguenza, le tariffe di vendita). Le fasce orarie di energia elettrica in Italia si suddividono in F1 (lun-ven dalle ore 8.00 alle 19.00, la fascia più costosa), F2 (ore intermedie, lun-ven dalle 7.00 alle 8.00 e dalle 19.00 alle 23.00) e F3 (ore più economiche, lun-sab dalle 23.00 alle 7.00 + domenica e giorni festivi 24/24h).

Seguendo il modello del servizio elettrico nazionale, la suddivisione delle tre fasce viene indicata nella tabella sottostante:

Ore del giorno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Lunedì	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F1	F2	F2	F2	F2	F3	F3										
Martedì	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F1	F2	F2	F2	F2	F3	F3										
Mercoledì	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F1	F2	F2	F2	F2	F3	F3										
Giovedì	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F1	F2	F2	F2	F2	F3	F3										
Venerdì	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F1	F2	F2	F2	F2	F3	F3										
Sabato	F3	F3	F3	F3	F3	F3	F2	F3	F3															
Domenica	F3																							

Tabella 4.1: Suddivisione delle tre fasce orarie di energia elettrica

Durante gli orari che ricadono nella F1 sia le aziende che i privati cittadini hanno bisogno di un quantitativo di energia molto maggiore rispetto alle ore appartenenti alle altre fasce. Questo comporta uno sforzo maggiore del servizio elettrico nazionale sul lato produttivo, nonché la necessità di mettere in moto un numero maggiore di impianti simultaneamente e di garantire un maggior numero di operai al lavoro. Gli impianti a maggior dispendio energetico, indispensabili per garantire un adeguato apporto di energia elettrica in F1, presentano spesso consumi maggiori rispetto a impianti meno complessi e richiedono anche una manutenzione più accurata. La combinazione di tutti questi fattori incide sul costo complessivo dell'energia, che in F1 risulta dunque maggiore rispetto alle altre fasce orarie di luce F2 e F3.

Si nota subito come la fascia oraria F3 rappresenta la maggior parte del monte ore e si vedrà di seguito la sua influenza nel complessivo del consumo.

Esistono fondamentalmente due tipi di contratto, quello a tariffa monoraria e quello a tariffa bioraria.

Vengono definiti contratti a fascia monoraria quei pacchetti in cui l'energia acquistata ha lo stesso costo indipendentemente dall'orario in cui si utilizza, per tutti i giorni della settimana, sia feriali che festivi. Conviene affidarsi a questa opzione se si stima di consumare molta energia durante la fascia F1, quando il costo dell'energia è più alto.

Per fascia bioraria si intende un contratto che suddivide la giornata in due blocchi principali: la F1 e la F23 (nata dall'unione degli orari F2 e F3). Chi sceglie un'opzione di questo tipo pagherà una tariffa maggiore per l'energia utilizzata in F1, mentre andrà a risparmiare molto durante le altre ore della giornata. Ma quando conviene veramente adottare la fascia bioraria? Considerando la distribuzione dei costi medi dell'energia nell'arco delle 24 ore di una giornata, un contratto di questo tipo permette di risparmiare in bolletta quando almeno il 70-80% del consumo energetico avviene in F23. Se questa condizione non si addice al caso, la tariffa monoraria è la scelta migliore per il contratto.

#### Consumo energetico per fascia oraria in kWh (consumo di energia elettrica per fascia oraria in kWh)

Nella tabella seguente vengono quindi mostrati i consumi mensili in kWh suddivisi per fasce orarie, dell'anno di esercizio 2020:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	TOT (kWh/anno)
Fascia F1 (kWh/mese)	74.604	60.631	40.405	15.912	50.421	52.225	80.628	36.860	65.105	68.765	75.202	72.983	693.741
Fascia F2 (kWh/mese)	26.304	25.824	15.654	6.341	13.471	14.920	20.882	14.747	19.924	21.285	21.974	23.316	224.642
Fascia F3 (kWh/mese)	43.444	32.706	23.285	12.081	20.442	25.023	30.459	24.866	27.181	29.271	35.589	48.189	352.536
TOT (kWh/mese)	144.352	119.161	79.344	34.334	84.334	92.168	131.969	76.473	112.210	119.321	132.765	144.488	1.270.919

*Tabella 4.2: Consumi mensili in kWh suddivisi per fasce orarie*

Dalla tabella emergono i seguenti dati

Fascia F1 tot = 693.741 kWh/anno

Fascia F2 tot = 224.624 kWh/anno

Fascia F3 tot = 352.536 kWh/anno

Consumo Tot= 1.270.919 kWh/anno

E di seguito il grafico:

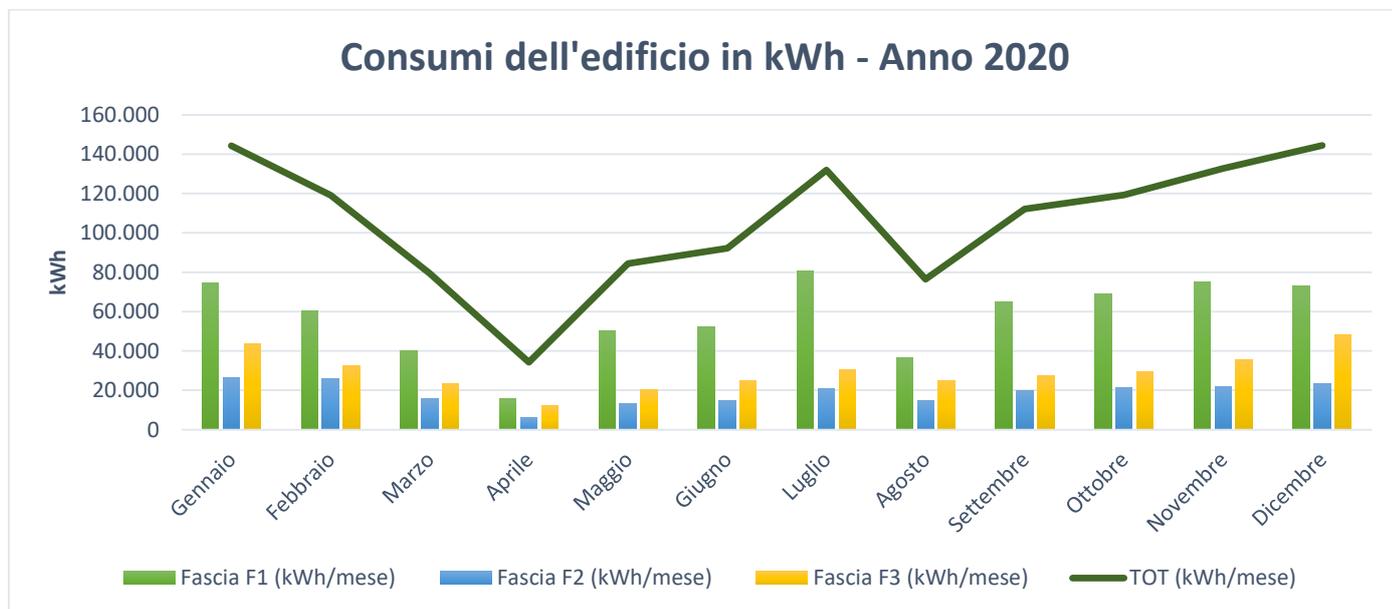


Figura 4.1: Grafico dei consumi mensili dell'edificio in kWh dell'anno 2020

L'andamento dei consumi energetici del 2020 di Prima Industrie mostra l'esistenza di un marcato trend decrescente già a partire da febbraio, con un minimo nel mese di aprile, imputabile alla crisi pandemica inerente al periodo, con conseguente depressione dei consumi del settore industriale. A partire dal mese di maggio si notano quelli che sono i primi segnali di ripresa, dovuti alla riapertura degli esercizi industriali, arrivando al mese di luglio, dove si nota un incremento notevole dei consumi, ad indicare che l'azienda si sta dirigendo verso un esercizio produttivo più ragionevole, che tende alla normalità. Terminata la stagione estiva, il trend riprende un andamento crescente, sia dovuto al fatto che l'azienda si avvicina a ritrovare una sua produzione standard, sia al fatto che nella stagione invernale i consumi di riscaldamento coprono una gran parte di fetta dei consumi. Ciò si nota effettivamente osservando la colonna della fascia oraria F3, che nei mesi invernali risulta maggiore a causa del fatto che la pompa di calore lavorando anche di notte, seppure in stand-by, copre gran parte dei consumi notturni.

Vi è da considerare il fatto che i consumi sono stati fortemente influenzati dal fenomeno dello smart working, anche durante i mesi con rilevazione maggiore di consumo energetico.

Nel seguente grafico sono riportati i consumi suddivisi per fascia oraria e sono evidenziate le percentuali dei consumi di ogni fascia.

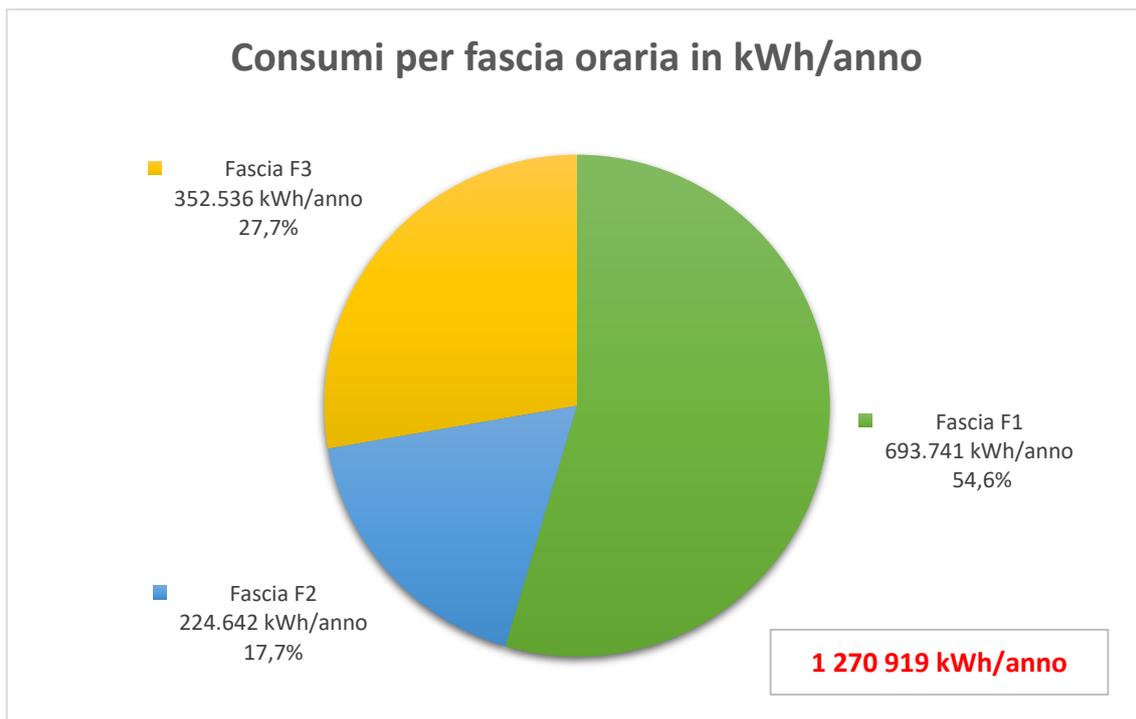


Figura 4.2: Grafico dei consumi per fascia oraria in kWh/anno

Come si evince dal grafico la fetta principale è rappresentata ovviamente dalla Fascia F1 per il 54,6 %, in secondo luogo dalla Fascia F3, che copre ben il 27,7 %. Questo numero è dovuto al fatto che di notte l'azienda è attiva, dal momento che le pompe di calore consumano in parte anche di notte, pur essendo sotto l'opzione di stand-by, e inoltre perché la fascia notturna è la migliore per effettuare i test sulle macchine o su nuovi prototipi.

	Tempo [h]	Tempo [%]	Consumi [kWh/anno]	Consumi [%]	Stato edificio
<b>Fascia F1</b>	55	33%	693.741	54,6%	ATTIVO
<b>Fascia F2</b>	41	24%	224.642	17,7%	STAND-BY
<b>Fascia F3</b>	72	43%	352.536	27,7%	STAND-BY
<b>Tot</b>	168		<b>1.270.919</b>		

Tabella 4.3: Suddivisione dei consumi in kWh/anno e del monte ore di esercizio per fasce orarie

In questa tabella sono riportate la suddivisione del monte ore settimanale delle rispettive fasce orarie e i rispettivi consumi in kWh/anno.

Stato edificio	Consumi	Tempo
ATTIVO	54,6%	33%
STAND-BY	45,4%	67%

Tabella 4.4: Suddivisione percentuale dei consumi e del monte ore di esercizio per i due diversi stati dell'edificio

Si evince che lo stabile in questione risulta attivo (Fascia F1) per il 33% del tempo durante tutto l'anno, per un totale di 55 h settimanali, consumando il 54,6 % del totale dei consumi energetici.

Lo stato di stand-by invece (Fascia F2 e F3) risulta essere del 67 % durante l'anno, per un totale di 113 h settimanali, con un consumo che copre il 45,4 % del totale.

Sulla base di queste suddivisioni, Prima Industrie ha optato per il tipo di contratto a tariffa bioraria.

### Consumo energetico per macro zone

Al fine di avere un quadro generale sui consumi dello stabile, è utile visualizzarli suddivisi per macro zone.

Come precedentemente notato, nello specifico va considerato il fatto che nell'anno 2017, ovvero quando lo stabilimento HQTC di Prima Industrie è entrato in esercizio, i consumi energetici sono stati pressoché simili a quelli dell'anno 2020. In sostanza, Fase 1 nel 2017 ha consumato come Fase 1 e Fase 2 nel 2020. Come ribadito in precedenza tutto ciò è dovuto al fatto che vi è stata una chiusura dell'attività durante l'inizio dell'anno e successivamente l'andamento dei consumi è stato fortemente condizionato dal fenomeno dello smart working.

La rilevazione dei consumi delle diverse macro zone è stata effettuata con l'ausilio di misuratori multifunzione distribuiti nei punti ritenuti essenziali per l'analisi che si vuole proporre. Ogni macro zona è dotata di un suo specifico quadro elettrico su cui è installato un multimetro, che legge periodicamente l'energia consumata.

Da come emerge dal grafico, si nota che i consumi di energia elettrica del piano terra, piano primo e piano secondo si equivalgono all'incirca e sono tra i più modesti, rispetto alle altre aree. In queste zone la maggior parte del consumo deriva dall'impianto di illuminazione e in parte dalla forza motrice, al fine di alimentare le utenze quali uffici, sale riunione, corridoi e bagni.

Il quadro tecnologico copertura raccoglie il dispendio energetico degli impianti situati sul tetto, come l'unità trattamento aria di tutti i locali sottostanti e l'impianto solare termico. Il suo valore inizia ad essere consistente ed è di 156.420 kWh/anno.

I due valori più alti di consumo si hanno per il reparto Advanced Laser Centre e la centrale termica. La prima zona vede monitorati i consumi di illuminazione, forza motrice con prese di varia potenza e ventilazione, ed è pari a 293.783 kWh/anno, mentre la seconda macro zona ricopre il ruolo più rilevante di utilizzo energetico, comprendendo gli impianti di riscaldamento e raffrescamento da pompe di calore e pompe geotermiche e l'impiego dei trasformatori green.

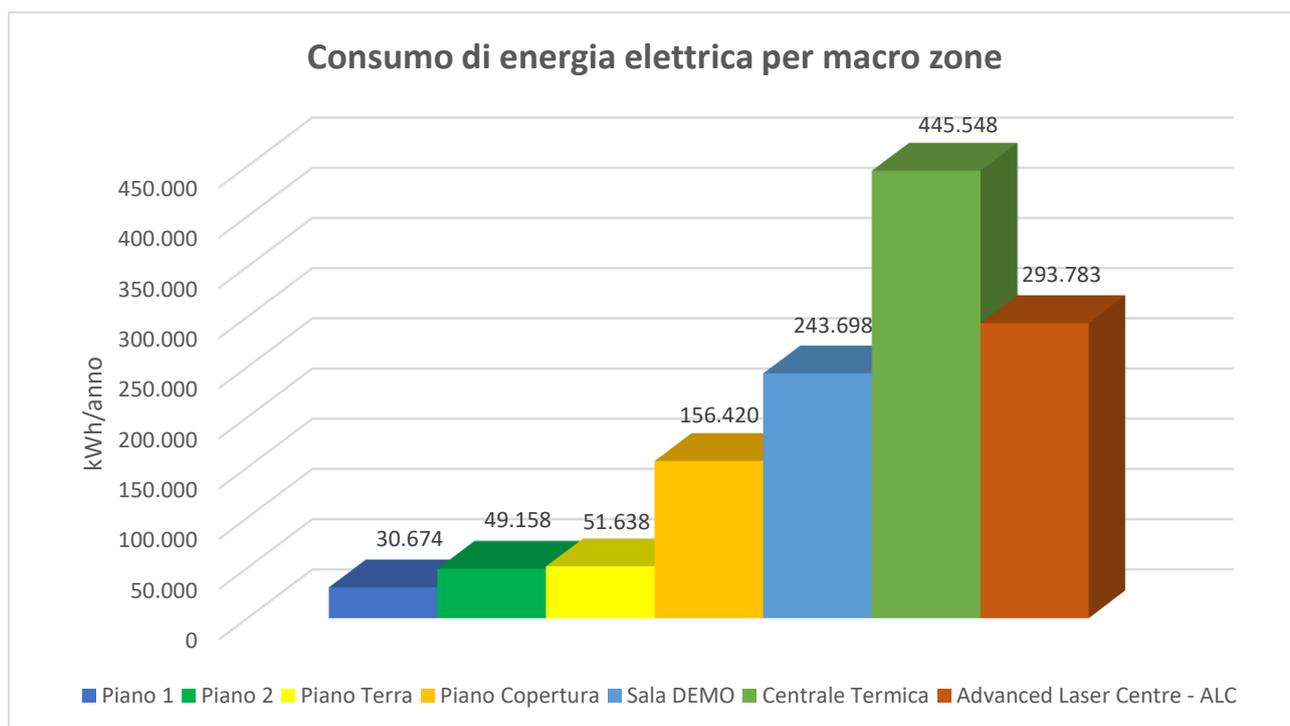


Figura 4.3: Grafico del consumo elettrico per macro zone

ZONA	CONSUMO [kWh/anno]
Piano 1	30.674
Piano 2	49.158
Piano Terra	51.638
Piano Copertura	156.420
Sala Demo – Showroom	243.698
Centrale Termica	445.548
Advanced Laser Centre – ALC	293.783
<b>Totale</b>	<b>1.270.919</b>

Tabella 4.5: Consumo elettrico per macro zone

### Consumo energetico per categorie

Un altro metodo per valutare i consumi energetici è quello di misurarli e suddividerli secondo i vettori energetici.

Secondo quanto riportato sul sito "<http://www.energicna.it/i-vettori-energetici/>", viene fornita la definizione di diagnosi dei vettori energetici e la classificazione degli input energetici.

La diagnosi dei vettori energetici è una valutazione sistematica e documentata, finalizzata ad ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio, di un'attività o di un processo, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati.

Gli input energetici utilizzati negli stabilimenti industriali possono essere classificati secondo il seguente schema semplificato:

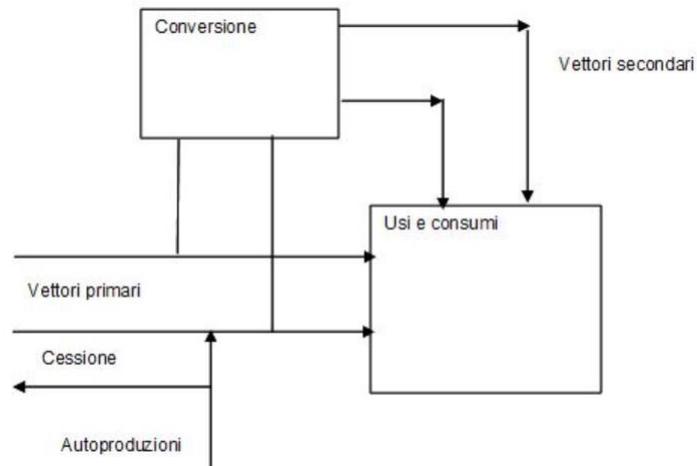


Figura 4.4: Schema di suddivisione degli input energetici

Vettori primari: input energetici che entrano nel sito in forma già utilizzabile (energia elettrica, gas naturale da rete, combustibili, carburanti, ecc.). Possono essere destinati direttamente agli usi del sito oppure essere convertiti in vettori secondari;

Vettori secondari: input energetici che, tramite una conversione interna al sito di vettori primari o di autoproduzioni, vengono utilizzati direttamente nel sito stesso (aria compressa, acqua calda, vapore, ecc.);

Autoproduzioni: input energetici che lo stabilimento produce internamente (energia da impianti fotovoltaici, biogas da digestori anaerobici, scarti di produzione termovalorizzati, ecc.). Possono essere destinati direttamente agli usi del sito oppure essere convertiti in vettori secondari.

A rigore anche l'energia elettrica BT distribuita all'interno del sito dovrebbe essere considerato vettore secondario in quanto prodotta dalla trasformazione del vettore primario energia elettrica MT. Si è però preferito per chiarezza trattarla come vettore primario.

Il grafico sottostante riporta i consumi di energia elettrica suddivisi secondo quelli che sono i vettori energetici caratteristici dell'azienda di Prima Industrie.

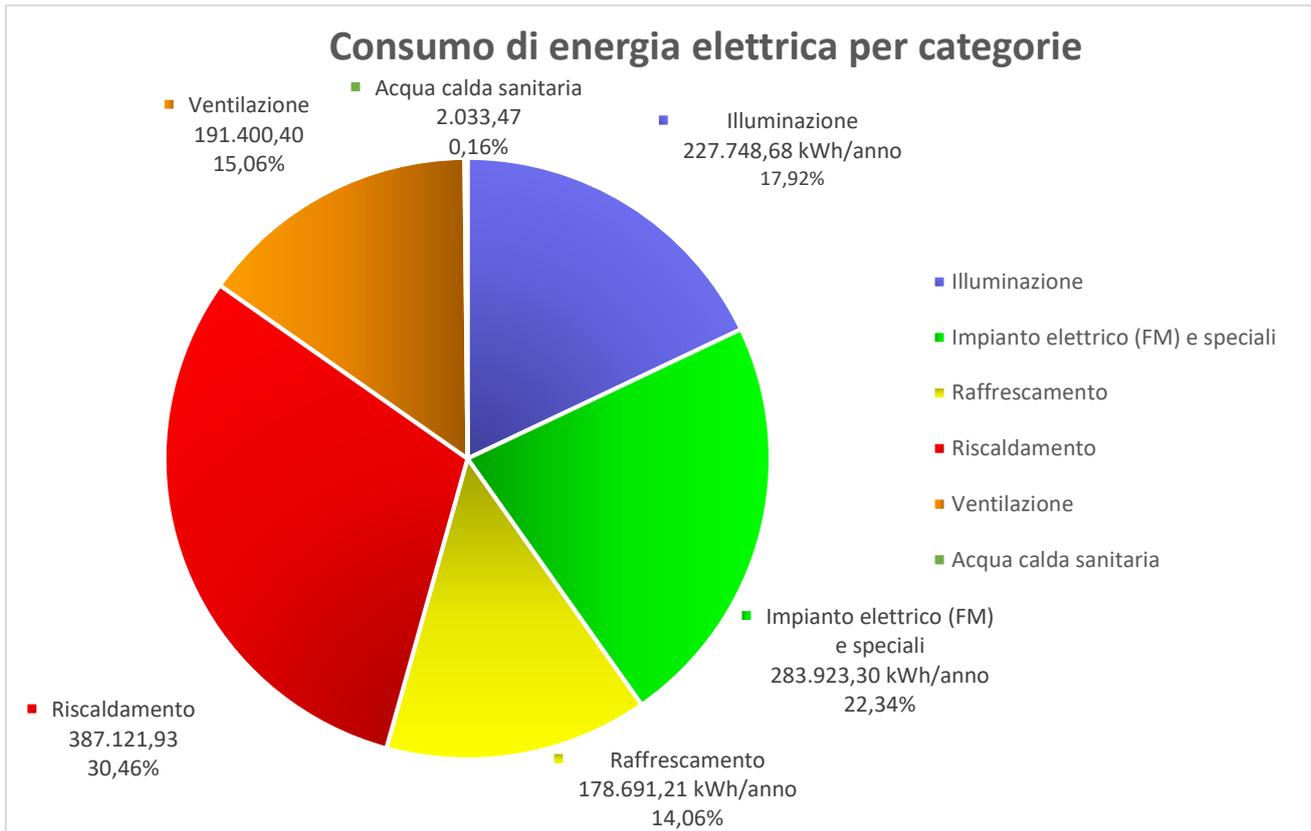


Figura 4.5: Grafico de i consumi di energia elettrica in kWh per categorie impiantistiche

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	CONSUMO [kWh/anno]
Illuminazione	227.748,68
Impianto elettrico (FM) e speciali	283.923,30
Raffrescamento	178.691,21
Riscaldamento	387.121,93
Ventilazione	191.400,40
Acqua Calda Sanitaria	2.033,47
<b>Totale</b>	<b>1.270.919</b>

Tabella 4.6: Consumo di energia elettrica per ogni tipologia di impianto

Salta subito all'occhio la fetta più consistente che è caratterizzata dal consumo in fase di riscaldamento, che copre ben il 30,46 % del totale dei consumi ed è pari a 387.121,93 kWh/anno, contro il 14,06 % del raffrescamento, pari a 178.691,21 kWh/anno.

In secondo luogo troviamo la categoria dell'impianto elettrico, cioè della forza motrice e degli impianti speciali. Il dispendio energetico è rilevante e si avvicina a quello del riscaldamento, essendo pari al 22,34% del totale, cioè 283.923,30 kWh/anno.

Ventilazione e illuminazione si pongono quasi sullo stesso piano, essendo rispettivamente pari a 191.400,40 kWh/anno e 227.748,68 kWh/anno.

Il consumo meno rilevante è quello accreditato all'acqua calda sanitaria, che copre soltanto lo 0,16% del totale.

## Costo di energia elettrica per fascia oraria in €

Per chiarire in termini economici quanto spiegato nella sezione sovrastante è utile analizzare il costo annuale in €, rilevato dalle fatture di energia elettrica.

Nella tabella seguente vengono quindi mostrati i consumi mensili in € suddivisi per fasce orarie, dell'anno di esercizio 2020:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT (€/anno)
<b>Fascia F1 (€/mese)</b>	13.577,9	11.034,8	7.353,7	2.896,0	9.176,6	9.505,0	14.674,3	6.708,5	11.849,1	12.515,2	13.686,8	13.282,9	126.260,9
<b>Fascia F2 (€/mese)</b>	4.787,3	4.700,0	2.849,0	1.154,1	2.451,7	2.715,4	3.800,5	2.684,0	3.626,2	3.873,9	3.999,3	4.243,5	40.884,8
<b>Fascia F3 (€/mese)</b>	7.906,8	5.952,5	4.237,9	2.198,7	3.720,4	4.554,2	5.543,5	4.525,6	4.946,9	5.327,3	6.477,2	8.770,4	64.161,6
<b>TOT (€/mese)</b>	26.272,1	21.687,3	14.440,6	6.248,8	15.348,8	16.774,6	24.018,4	13.918,1	20.422,2	21.716,4	24.163,2	26.296,8	231.307,3

*Tabella 4.7: Consumi mensili in € suddivisi per fasce orarie dell'anno di esercizio 2020*

Dalla tabella emergono i seguenti dati

Fascia F1 tot = 126.260,9 €/anno

Fascia F2 tot = 40.884,9 €/anno

Fascia F3 tot = 64.161,6 €/anno

Consumo Tot= 231.307,3 €/anno

E di seguito il grafico:

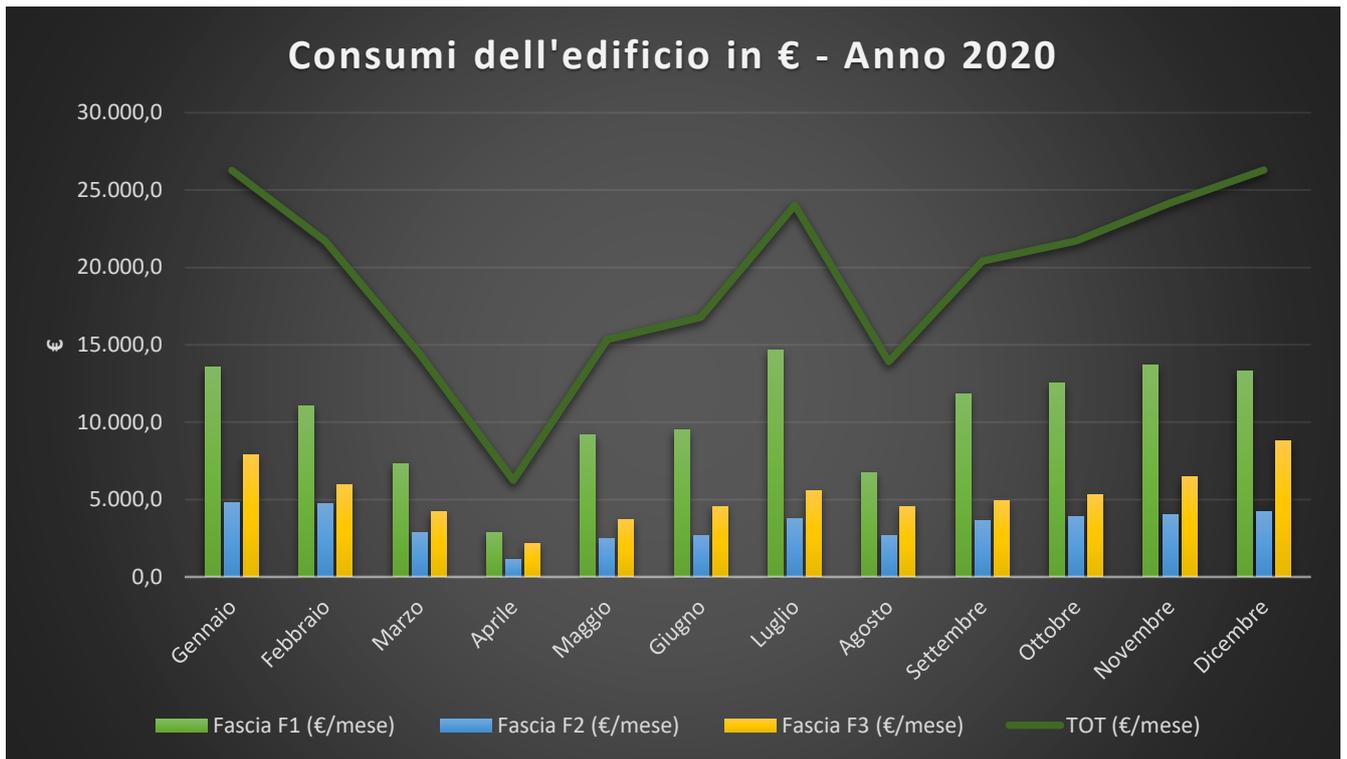


Figura 4.6: Grafico dei consumi dell'edificio in € - Anno 2020

L'andamento mostrato è lo stesso dei consumi in kWh/anno e le considerazioni a riguardo sono le stesse esplicate in precedenza, dal momento che il costo è stato ricavato moltiplicando i consumi per il costo medio dell'energia elettrica, pari a 0,182 €/kWh.

Nel seguente grafico sono riportati i consumi suddivisi per fascia oraria e sono evidenziate le percentuali dei consumi di ogni fascia.

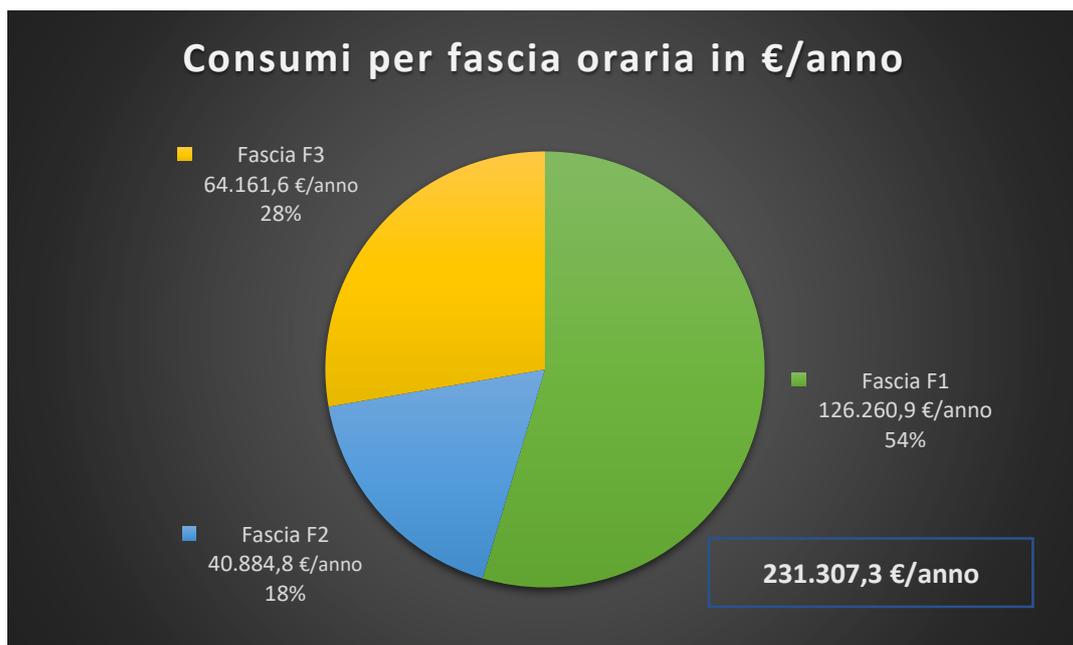


Figura 4.7: Grafico dei consumi per fascia oraria in kWh/anno

	Tempo [h]	Tempo [%]	Consumi [€/anno]	Consumi [%]	Stato edificio
<b>Fascia F1</b>	55	33%	126.260,9	54,6%	ATTIVO
<b>Fascia F2</b>	41	24%	40.884,8	17,7%	STAND-BY
<b>Fascia F3</b>	72	43%	64.161,6	27,7%	STAND-BY
<b>TOTALE</b>	168		<b>231.307,3</b>		

Tabella 4.8: Suddivisione dei consumi in €/anno e del monte ore di esercizio per fasce orarie

In questa tabella sono riportate la suddivisione del monte ore settimanale delle rispettive fasce orarie e i rispettivi consumi in €/anno.

Stato edificio	Consumi	Tempo
ATTIVO	54,6%	33%
STAND-BY	45,4%	67%

Tabella 4.9: Suddivisione percentuale dei consumi e del monte ore di esercizio per i due diversi stati dell'edificio

### Costo energetico per macro zone

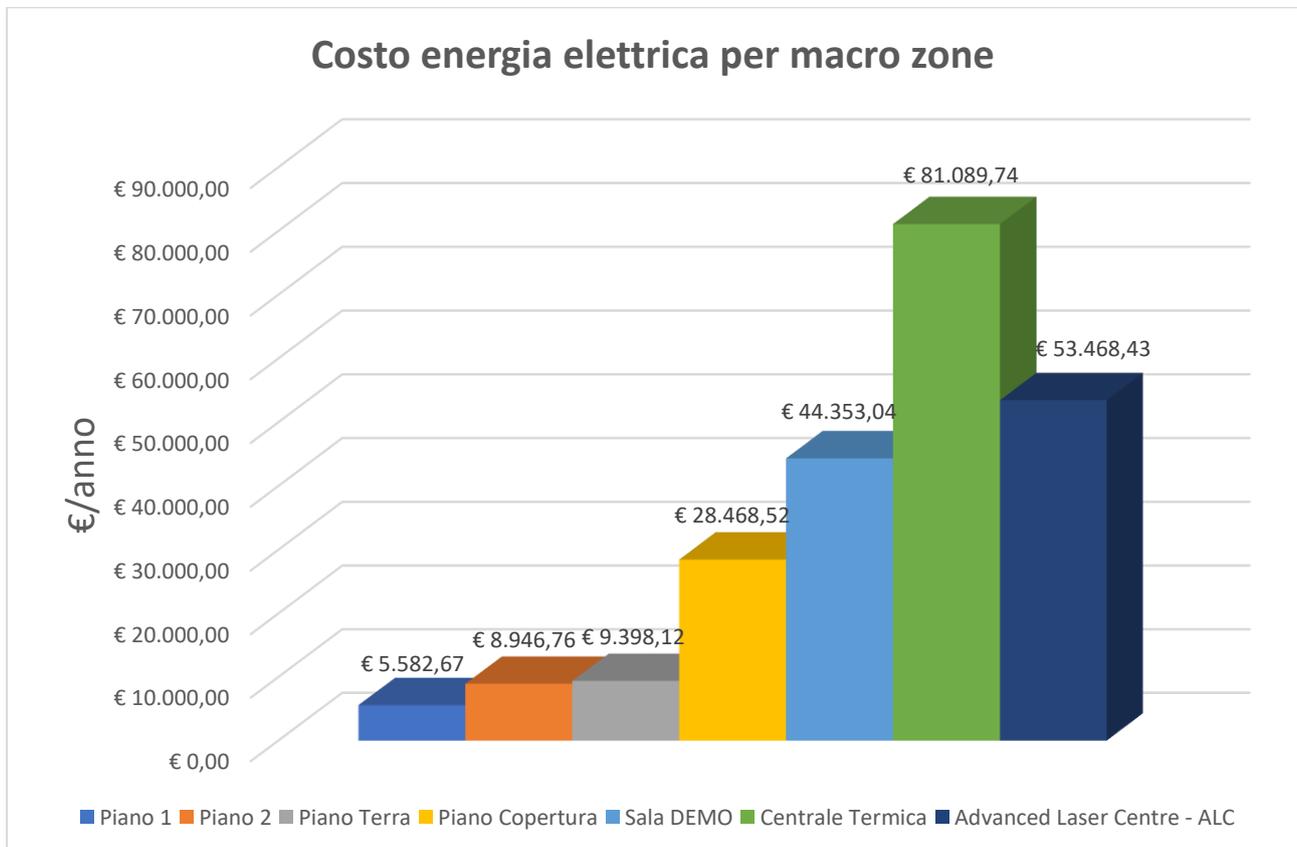


Figura 4.8: Grafico del costo dell'energia elettrica per macro zone

ZONA	CONSUMO [€/anno]
Piano 1	5.582,67
Piano 2	8.946,76
Piano Terra	9.398,12
Piano Copertura	28.468,52
Sala Demo – Showroom	44.353,04
Centrale Termica	81.089,74
Advanced Laser Centre – ALC	53.468,74
<b>Totale</b>	<b>231.307,26</b>

Tabella 4.10: Costo dell'energia elettrica per macro zone

### Costo energetico per categorie

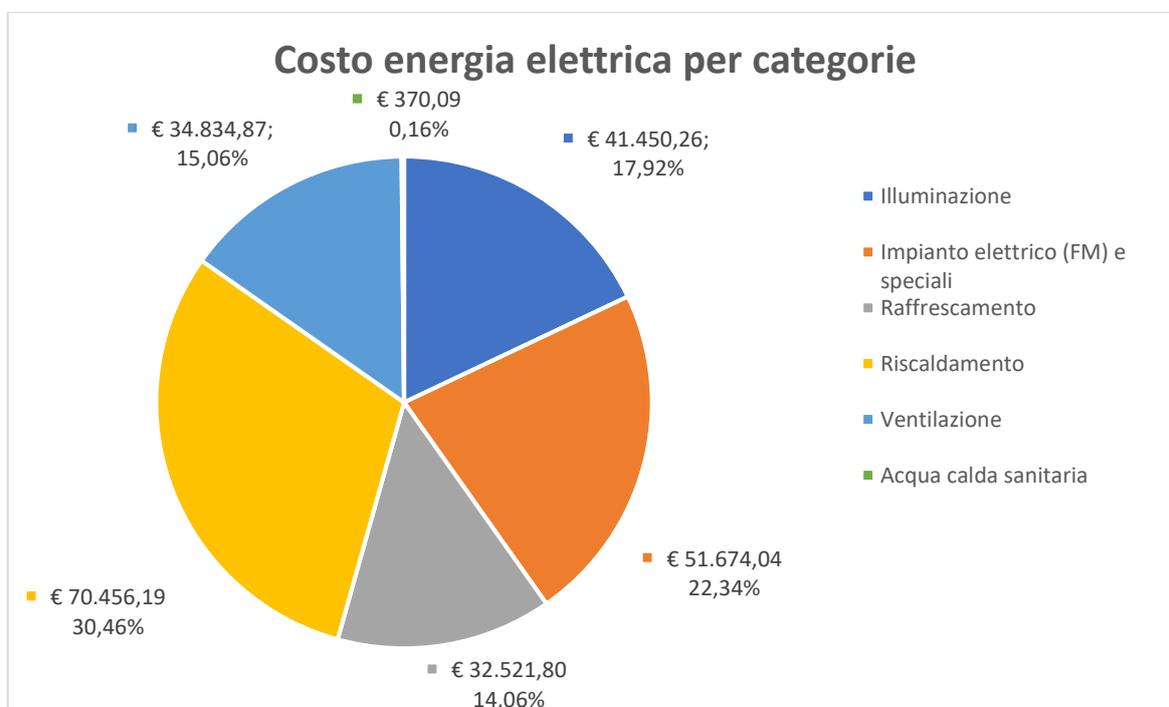


Figura 4.9: Grafico del costo dell'energia elettrica per categorie impiantistiche

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	CONSUMO [€/anno]
Illuminazione	41.450,26
Impianto elettrico (FM) e speciali	51.674,04
Raffrescamento	32.521,80
Riscaldamento	70.456,19
Ventilazione	34.834,87
Acqua Calda Sanitaria	370,09
<b>Totale</b>	<b>231.307,26</b>

Tabella 4.11: Consumo in €/anno per ogni tipologia di impianto

## Riepilogo dati

Consumo di energia elettrica del 2020: 1.270.919 kWh/anno

Costo dell'energia elettrica del 2020: 231.307,26 €/anno

Costo medio di energia elettrica: 0,182 €/kWh

## 4.2 Confronto edificio attuale ed edificio tradizionale

### Confronto consumi

Dopo aver identificato nel dettaglio i consumi annuali in kWh e in €, l'attività di monitoraggio dei consumi viene ora condotta attraverso lo sviluppo di due indagini complementari: è utile utilizzare i dati trovati al fine di confrontarli con i consumi di un edificio tradizionale, ovvero un edificio classificato secondo classi energetiche inferiori, che non dispone di sistemi avanzati di risparmio energetico.

Secondo l'APE (Attestato di Prestazione Energetica), lo stabilimento di Prima Industrie risulta essere appartenente alla classe energetica più elevata, in particolare l'insieme degli uffici appartiene alla classe A1, mentre lo showroom alla classe A2.

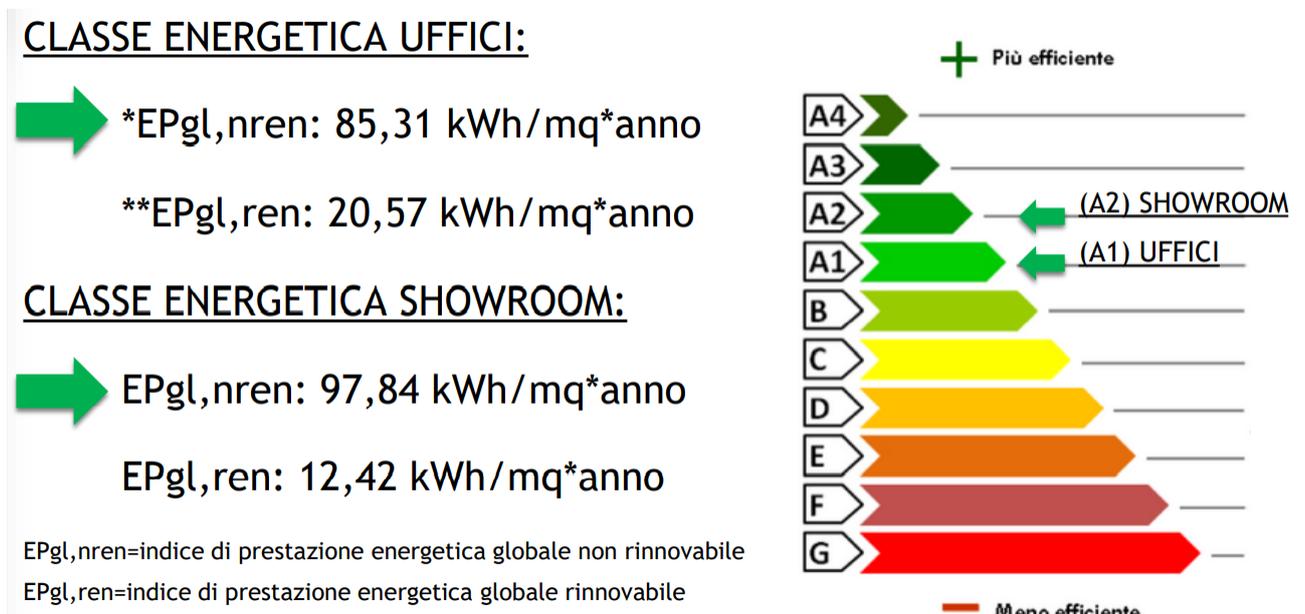


Figura 4.10: Classe energetica degli uffici e dello showroom

Per la valutazione dei consumi inerenti all'edificio tradizionale vengono effettuate alcune ipotesi riguardo alla geometria e all'involucro edilizio che ne influenzano le proprietà termo fisiche e le capacità di isolamento, e ipotesi di calcolo riguardanti i sistemi energetici e impiantistici a servizio

dell'edificio, considerando ogni tipologia di impianto più energivora rispetto ad un edificio di classe A.

In particolare, il confronto viene effettuato con il vecchio stabilimento di Prima Industrie di Via Antonelli, che incarna perfettamente le caratteristiche di un edificio tradizionale. L'edificio presenta un impianto di illuminazione con soltanto lampade a neon o alogene ed è quindi sprovvisto di lampade a LED a basso consumo.

Allo stesso modo, per quanto riguarda l'impianto di riscaldamento e raffrescamento, l'ipotesi è di avere una caldaia a gas e dei condizionatori tradizionali. Questo comporterà un considerevole aumento dei consumi dal momento che la pompa di calore consente un notevole risparmio energetico in fase di riscaldamento e condizionamento. (e pozzi geotermici)

Per la produzione di acqua calda sanitaria, invece di considerare l'apporto dei pannelli solari, viene considerato l'utilizzo di un classico boiler alimentato a gas. Questo comporterà un consistente aumento dei consumi, dal momento che l'energia solare è percepita come gratuita.

I consumi del riscaldamento e della produzione di acqua calda sanitaria dell'edificio tradizionale sono stati rilevati dalle fatture e vengono forniti in  $\text{Sm}^3$  - standard metri cubi - e risultano essere pari a:

- Riscaldamento =  $122.452,90 \frac{\text{Sm}^3}{\text{anno}}$
- Acqua calda sanitaria =  $4.424 \frac{\text{Sm}^3}{\text{anno}}$

Al fine di avere un corretto confronto, è utile trasformare tali consumi in kWh. Considerando che la caldaia è alimentata a  $\text{CH}_4$  - metano - dobbiamo considerare il suo PCI - Potere Calorifico Inferiore - per poter trovare il fattore di conversione.

$$\text{PCI}_{\text{CH}_4} = 38,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Sm}^3}$$

$$38,5 \frac{\text{MJ}}{\text{Sm}^3} \cdot \frac{1}{3600} \frac{\text{MJ}}{\text{Sm}^3} \cdot 1000 \frac{\text{KJ}}{\text{MJ}} = 10,694 \frac{\text{kWh}}{\text{Sm}^3}$$

- Riscaldamento =  $122.452,90 \frac{\text{Sm}^3}{\text{anno}} \cdot 10,694 \frac{\text{kWh}}{\text{Sm}^3} = 1.309.565,69 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$
- Acqua calda sanitaria =  $4.424 \frac{\text{Sm}^3}{\text{anno}} \cdot 10,694 \frac{\text{kWh}}{\text{Sm}^3} = 47.312,22 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$

Gli aspetti gestionali e manutentivi del sistema "edificio-impianti" vengono ipotizzati uguali, così come l'impianto di ventilazione, che risulta essere praticamente uguale tra i due edifici.

L'utilizzo della forza motrice dell'impianto elettrico viene ipotizzata uguale; quello che cambia è l'utilizzo di trasformatori differenti: per l'edificio attuale si utilizzano i trasformatori green, già citati in precedenza.

Quando un trasformatore è alimentato si generano delle perdite a vuoto, identificate come  $P_0$ . Per calcolare il risparmio dovuto all'utilizzo si può fare riferimento alla tabella delle perdite a vuoto di un trasformatore standard con classe di isolamento 24kV.

Considerando che il trasformatore è alimentato 365 giorni all'anno e 24/24 h, si può calcolare il consumo dovuto alle perdite a vuoto di un trasformatore – in gergo trafo - standard rispetto ad uno a perdite ridotte (come quello installato in Prima Industrie).

Per il calcolo delle perdite a vuoto del trasformatore standard di Fase 3 e di Fase 1, si è considerato come riferimento un classico trasformatore in resina della GBE e, come si evince dalla scheda tecnica, le perdite a vuoto sono pari a:

- $P_{0\_trafo\_ST\_FASE3} = 4000 \text{ W};$

PERDITE STANDARD CLASSE 24 kV / STANDARD LOSSES CLASS 24 kV														
Livello Isolamento MT / Rated Voltage HV			24 kV		Classe Isolamento MT / Insulation Class HV						FI 50 kV BIL 95 kV			
Livello Isolamento BT / Rated Voltage LV			1,1 kV		Classe Isolamento BT / Insulation Class LV						FI 3 kV			
Frequenza / Frequency			50+60 Hz		Regolazione MT / Tappings HV						$\pm 2 \times 2,5\%$			
TS3R17-TS3R24 (CoBk)	UK 4%	KVA	UK (120°C) %	$P_0$ (W)	$P_{cc}$ 662 (75°C) (W)	$P_{cc}$ 66-81 (120°C) (W)	$I_0$ %	LwA (dB(A))	LpA (dB(A))	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	Kg
		50	4	300	1400	1570	2,74	58	49	1040	670	1100	520	430
		100	4	400	1600	1750	2,15	59	50	1040	670	1150	520	570
		160	4	580	2200	2500	1,97	62	53	1070	670	1200	520	820
		200	4	690	2600	2980	1,92	64	54	1250	670	1300	520	950
		250	4	800	3000	3450	1,73	65	55	1250	670	1300	520	1100
		315	4	950	3700	4170	1,72	67	57	1250	670	1300	520	1250
		400	4	1100	4400	4900	1,51	68	58	1330	820	1500	670	1470
		500	4	1350	4900	5550	1,16	69	58	1330	820	1550	670	1740
		630	4	1600	6100	6900	1,08	70	59	1360	820	1650	670	2000
		50	6	360	1600	1750	2,4	58	50	1040	670	900	520	400
		100	6	460	1800	2050	2,1	59	50	1070	670	1100	520	530
		160	6	650	2600	2900	2	62	53	1250	670	1150	520	760
		200	6	770	3000	3350	1,87	64	55	1250	670	1200	520	880
		250	6	880	3300	3800	1,78	65	55	1250	670	1300	520	1020
		315	6	1050	4100	4650	1,65	67	57	1330	820	1300	670	1160
		400	6	1200	4800	5500	1,48	68	58	1330	820	1400	670	1360
		500	6	1450	5800	6550	1,2	69	59	1360	820	1500	670	1610
		630	6	1650	6800	7600	1,06	70	59	1410	820	1550	670	1850
		800	6	2000	8300	9400	0,9	72	61	1570	1000	1700	820	2190
		1000	6	2300	9600	11000	0,8	73	62	1570	1000	1750	820	2610
		1250	6	2800	11500	13000	0,7	75	63	1740	1000	1950	820	3020
		1600	6	3100	14000	16000	0,65	76	63	1740	1000	2200	820	3530
		2000	6	4000	16000	18000	0,6	78	65	1860	1300	2250	1070	4160
		2500	6	5000	20000	23000	0,56	81	68	2010	1300	2300	1070	4950
		3150	6	6000	23500	28000	0,5	83	70	2100	1300	2450	1070	5940
		4000	7+8	7000	26600	29930	0,4	86	72	2260	1300	2500	1070	8100
		5000	7+8	8100	29400	33100	0,36	88	74	2380	1500	2680	1250	10100

Figura 4.11: Scheda tecnica delle perdite a vuoto di un trasformatore standard

Le perdite a vuoto del trasformatore da 2000 kVA in esercizio di Fase 3 risultano essere pari a:

- $P_{0\_trafo\_PI\_FASE3} = 2600 \text{ W};$



AZIENDA CON SISTEMA QUALITA' CERTIFICATO DA DNV  
=UNI EN ISO 9001/2008=

### SCHEDA TECNICA TRASFORMATORE in RESINA:

Trasformatore di n/s costruzione trifase, nucleo composto da lamierini a cristalli orientati, primario inglobato in RESINA e secondario impregnato secondo NORMA EN50588-1 (ai sensi del Regolamento UE N.548/2014) in vigore dal 1°Luglio:

POS.1	UM	DATA	ACCESSORI STANDARD:
Quantità	Nr.	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basette per variazione tensione primaria</li> <li>Morsetti per il collegamento A.T.</li> <li>Piastre per il collegamento B.T.</li> <li>Ruote orientabili</li> <li>Golfari di sollevamento</li> <li>Morsetto di messa a terra</li> <li>Nr.3 termo-sonde PT100 cablate in cassetta</li> <li>Nr.1 centralina Tecsystem T-154</li> </ul>
Potenza nominale	KVA	2000	
Serie	ECODESIGN 2015		
Tipo	RESINA		
Frequenza	Hz	50	
Tensione Primaria	V	22000	
Variazione sul Primario	5 pos.	± 2 x 2,5%	
Tensione Secondaria a vuoto	V	400	
Connessione Primaria	Triangolo		
Connessione Secondaria	stella+n		
Gruppo CEI	Dyn11		
Raffreddamento	AN		
Istallazione	INTERNA		
Materiale degli avvolgimenti	AL/AL		
Classe d'isolamento Primaria	kV	24/50/125	
Classe d'isolamento Secondaria	kV	1,1-3-10	
Altitudine (s.l.m.)	mt	≤ 1000	
Temperatura Ambiente	°C	+40°	
Sovratemperatura Max	°C	+100°	
Temperatura Sistema Isolante	F/F (+155° C)		
LwA	dB	70	
LpA	dB	61	
Grado di Protezione	IP00 (senza box)		
Classi Ambientali e Climatiche	E3 - C2 - F1		
Perdite a vuoto	W	2600	
Perdite a carico a 120°C	W	16000	
Io	%	0,5	
Tensione di cc	%	6	
<b>DIMENSIONI E PESI INDICATIVI</b>			
Lunghezza	mm	1870	
Larghezza	mm	1310	
Altezza	mm	2310	
Interasse Ruote	mm	1070 x 1070	
Peso Totale	kg	4570	

Figura 4.12: Scheda tecnica del trasformatore di Fase 3

Considerando quanto detto sopra, si può calcolare l'energia consumata dal trasformatore durante l'arco dell'anno per le perdite a vuoto ( $E_0$ ).

- $$E_{0\_trafo\_ST\_FASE3} = 4000 \text{ W} \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}} = 35.040 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$$
- $$E_{0\_trafo\_PI\_FASE3} = 2600 \text{ W} \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}} = 22.776 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$$

Da qui si trova facilmente l'energia risparmiata in Fase 3 per tutto l'arco dell'anno.

- $$E_{0\_ risp\_FASE3} = E_{0\_trafo\_ST\_FASE3} - E_{0\_trafo\_PI\_FASE3} = 35.040 - 22.776 = 12.264 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$$

Gli stessi ragionamenti vengono effettuati per il trasformatore di Fase 1 da 400 kVA, le cui perdite a vuoto risultano essere:

- $P_{0\_trafo\_PI\_FASE1} = 675 \text{ W};$



Distribuito da Bticino

CATALOGO GENERALE

CATALOGO GENERALE > Trasformatori in resina > Trasformatori classe d'isolamento 24kV



### HG4AIAGBA

Trasformatore in resina - classe d'isolamento 24kV - P= 400kVA - Vprim= 20kV - Vsec= 400V - **Po= 675W** - Pk= 4500W - Uk= 6%

### Caratteristiche tecniche

Marchio	BTicino
Norma di Riferimento	IEC 60076-11 e EN 50708
Tensione	20kV/400V
Potenza (VA)	400kVA
Potenza (W)	4500W
Curva d'intervento	
Altezza	1520mm
Larghezza	1400mm
Profondità	850mm
Serie	Trasformatori in resina

Figura 4.13: Scheda tecnica del trasformatore di Fase 1

Invece per il trasformatore tradizionale le perdite sono pari a:

- $P_{0\_trafo\_ST\_FASE1} = 1200 \text{ W};$

PERDITE STANDARD CLASSE 24 kV / STANDARD LOSSES CLASS 24 kV													
Livello Isolamento MT / Rated Voltage HV		24 kV		Classe Isolamento MT / Insulation Class HV						FI 50 kV BIL 95 kV			
Livello Isolamento BT / Rated Voltage LV		1,1 kV		Classe Isolamento BT / Insulation Class LV						FI 3 kV			
Frequenza / Frequency		50+60 Hz		Regolazione MT / Tappings HV						± 2 x 2,5%			
Uk	KVA	Uk	Po	Pcc	Pcc	I <sub>0</sub>	LwA	LpA	A	B	C	D	Kg
		(120°C) %	(W)	68E (73°C) (W)	68-98 (120°C) (W)	%	(dB(A))	(dB(A))	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
Uk 4%	50	4	300	1400	1570	2,74	58	49	1040	670	1100	520	430
	100	4	400	1600	1750	2,15	59	50	1040	670	1150	520	570
	160	4	580	2200	2500	1,97	62	53	1070	670	1200	520	820
	200	4	690	2600	2980	1,92	64	54	1250	670	1300	520	950
	250	4	800	3000	3450	1,73	65	55	1250	670	1300	520	1100
	315	4	950	3700	4170	1,72	67	57	1250	820	1400	670	1250
	400	4	1100	4400	4900	1,51	68	58	1330	820	1500	670	1470
	500	4	1350	4900	5550	1,16	69	58	1330	820	1550	670	1740
	630	4	1600	6100	6900	1,08	70	59	1360	820	1650	670	2000
	Uk 6%	50	6	360	1600	1750	2,4	58	50	1040	670	900	520
100		6	460	1800	2050	2,1	59	50	1070	670	1100	520	530
160		6	650	2600	2900	2	62	53	1250	670	1150	520	760
200		6	770	3000	3350	1,87	64	55	1250	670	1200	520	880
250		6	880	3300	3800	1,78	65	55	1250	670	1300	520	1020
315		6	1050	4100	4650	1,65	67	57	1330	820	1300	670	1160
400		6	1200	4800	5500	1,48	68	58	1330	820	1400	670	1360
500		6	1450	5800	6550	1,2	69	59	1360	820	1500	670	1610
630		6	1650	6800	7600	1,06	70	59	1410	820	1550	670	1850
800		6	2000	8300	9400	0,9	72	61	1570	1000	1700	820	2190
1000	6	2300	9600	11000	0,8	73	62	1570	1000	1750	820	2610	
1250	6	2800	11500	13000	0,7	75	63	1740	1000	1950	820	3020	
1600	6	3100	14000	16000	0,65	76	63	1740	1000	2200	820	3530	
2000	6	4000	16000	18000	0,6	78	65	1860	1300	2250	1070	4160	
2500	6	5000	20000	23000	0,56	81	68	2010	1300	2300	1070	4950	
3150	6	6000	23500	28000	0,5	83	70	2100	1300	2450	1070	5940	
4000	7+8	7000	26600	29930	0,4	86	72	2260	1300	2500	1070	8100	
5000	7+8	8100	29400	33100	0,36	88	74	2380	1500	2680	1250	10100	

Figura 4.14: Scheda tecnica delle perdite a vuoto di un trasformatore standard

Ora si calcola l'energia consumata dal trasformatore durante l'arco dell'anno per le perdite a vuoto ( $E_0$ ).

- $E_{0\_trafo\_ST\_FASE1} = 1200 \text{ W} \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}} = 10.512 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$
- $E_{0\_trafo\_PI\_FASE1} = 675 \text{ W} \cdot 365 \frac{\text{giorni}}{\text{anno}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{giorno}} = 5.913 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$

Da qui si trova facilmente l'energia risparmiata in Fase 3 per tutto l'arco dell'anno.

- $E_{0\_risp\_FASE1} = E_{0\_trafo\_ST\_FASE1} - E_{0\_trafo\_PI\_FASE1} = 10.512 - 5.913 = 4.599 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$

Ora si può trovare l'energia totale risparmiata:

- $E_{0\_risp\_TOT} = E_{0\_risp\_FASE1} + E_{0\_risp\_FASE3} = 12.264 + 4.599 = 16.863 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$

FASE 1	P=400 kVA
	Po,tr_st_fase1 [W]
	1200
	Po,tr_PI_fase1 [W]
	675

FASE 3	P=2000 kVA
	Po,tr_st_fase3 [W]
	4000
	Po,tr_PI_fase3 [W]
	2600

Tabella 4.12: Specifiche dei trasformatori di Fase 1 e Fase 3

Nella tabella sottostante vengono riportati a confronto i consumi dell'edificio attualmente in esercizio di Prima Industrie, ovvero l'edificio di classe A di Via Pianezza e il vecchio stabilimento di Via Antonelli.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	CONSUMO EDIFICIO ATTUALE [kWh/anno]	CONSUMO EDIFICIO TRADIZIONALE [kWh/anno]	RISPARMIO [kWh/anno]
Illuminazione	227.748,68	277.349,00	49.600,32
Impianto elettrico (FM) e speciali	283.923,30	300.786,30	16.863,00
Raffrescamento	178.691,21	208.969,00	30.277,79
Riscaldamento	387.121,93	1.309.565,69	922.443,77
Ventilazione	191.400,40	191.400,40	0,00
Acqua calda sanitaria	2.033,47	47.312,22	45.278,75
<b>TOTALE</b>	<b>1.270.919,00</b>	<b>2.335.382,62</b>	<b>1.064.463,62</b>

Tabella 4.13: Consumi dell'edificio attuale, tradizionale e risparmio energetico in kWh/anno

Come emerge dalla tabella, il consumo dell'edificio tradizionale risulta essere pari a 2.335.382,62 kWh/anno: è decisamente superiore rispetto all'edificio attuale e si nota che la differenza principale sta nel sistema con cui vengono riscaldati gli ambienti. Ciò si traduce con un risparmio complessivo pari a 1.064.463,62 kWh/anno.

#### Confronto costi

Dopo aver effettuato un'analisi attenta e un confronto sui consumi, risulta necessario confrontare anche i costi energetici.

Come ci si poteva attendere, i costi energetici dell'edificio tradizionale sono chiaramente maggiori per ogni tipologia di impianto, ad esclusione dell'impianto di ventilazione che presenta lo stesso costo.

Per calcolare i costi energetici sono stati considerati i costi medi dell'energia elettrica e del gas naturale:

- costo medio energia elettrica:  $0,182 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$
- costo medio gas naturale:  $0,7 \frac{\text{€}}{\text{Sm}^3}$

Il delta maggiore dei costi risulta essere quello dell'impianto di riscaldamento, infatti il costo medio del gas naturale è molto maggiore rispetto a quello dell'energia elettrica che alimenta la pompa di calore.

Anche l'impianto di illuminazione a LED dell'edificio green consente un notevole risparmio in termini di Euro, così come la produzione di acqua calda sanitaria, grazie all'energia gratuita fornita dal sole.

Nella tabella sottostante vengono riportati i costi energetici dei due edifici a confronto per ogni tipologia di impianto.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	COSTO EDIFICIO ATTUALE [€/anno]	COSTO EDIFICIO TRADIZIONALE [€/anno]	RISPARMIO [€/anno]
Illuminazione	41.450,26	50.477,52	9.027,26
Impianto elettrico (FM) e speciali	51.674,04	54.743,11	3.069,07
Raffrescamento	32.521,80	38.032,36	5.510,56
Riscaldamento	70.456,19	85.717,03	15.260,84
Ventilazione	34.834,87	34.834,87	0,00
Acqua calda sanitaria	370,09	3.096,80	2.726,71
<b>TOTALE *</b>	<b>231.307,26</b>	<b>425.039,64</b>	<b>193.732,38</b>

Tabella 4.14: Costo dell'edificio attuale, tradizionale e risparmio in €/anno

\*Questo calcolo è stato eseguito senza considerare il contributo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico. In seguito si vedrà il risparmio da tale fonte.

Dal confronto sul totale dei costi, rispettivamente di 231.307,26 €/anno per l'edificio attuale e di 425.039,64 €/anno per l'edificio tradizionale, il risparmio conseguito risulta essere di 193.732,38 €/anno.

È stato realizzato un grafico a barre per un confronto visivo immediato dei consumi in termini di costo.

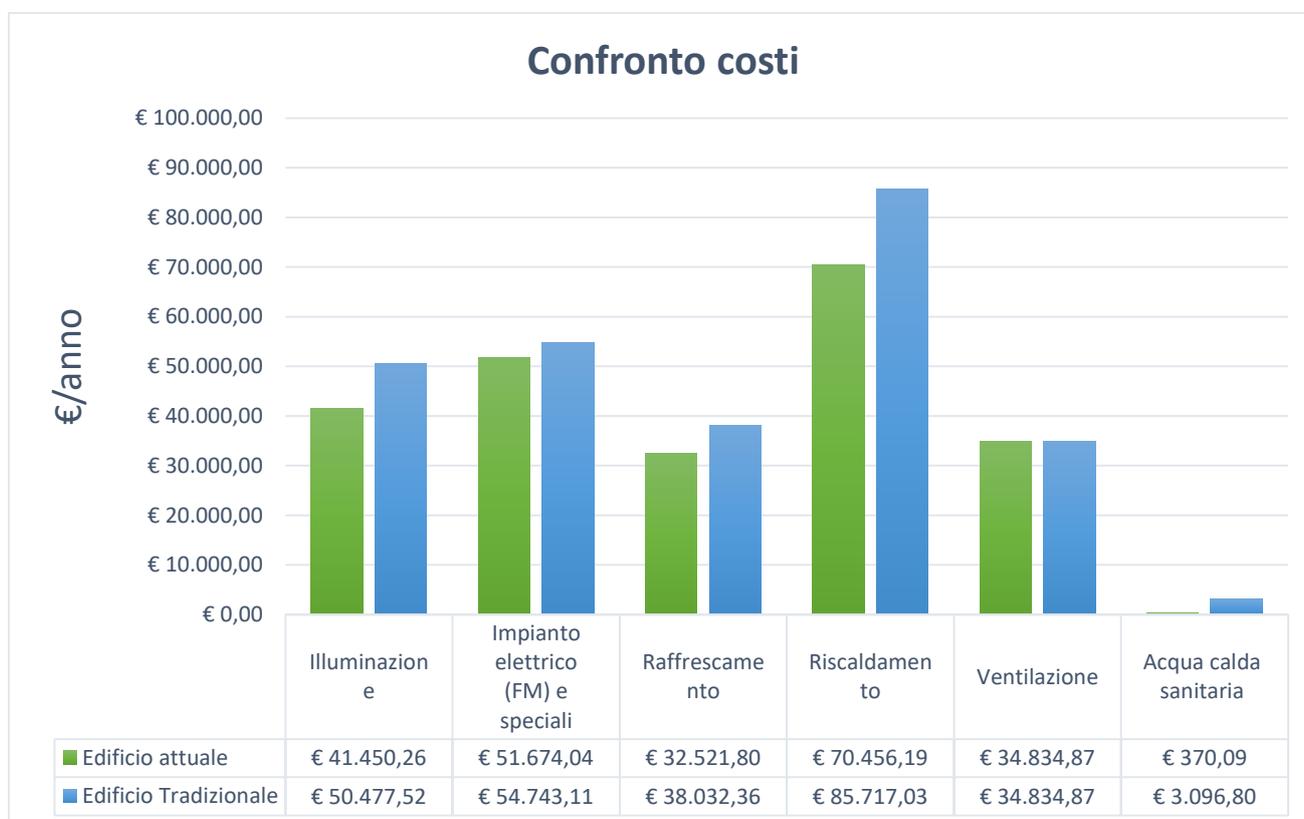


Figura 4.15: Confronto dei costi delle diverse tipologie impiantistiche tra l'edificio attuale e tradizionale

## Confronto emissioni di CO<sub>2</sub>

Nel seguente paragrafo vengono calcolate le emissioni di CO<sub>2</sub>, necessarie per la produzione dell'energia di ogni tipologia impiantistica, rispettivamente dell'edificio attuale e dell'edificio tradizionale.

Il calcolo della CO<sub>2</sub> viene utilizzato per potere confrontare e sommare insieme i contributi di diversi combustibili, in particolare per stimare l'impronta di carbonio associata ad un'attività umana.

Per il calcolo della CO<sub>2</sub> per produrre 1 kWh elettrico si è fatto affidamento alle fatture di energia elettrica, in modo tale da rilevare il mix energetico utilizzato per la produzione di energia elettrica venduta sul mercato. Ogni percentuale delle fonti primarie utilizzate nel mix ha un suo fattore di emissione, e la loro somma, pesata sulla percentuale del mix, permette di stimare il quantitativo di CO<sub>2</sub>.

Il mix energetico del fornitore è costituito da fonti rinnovabili, carbone, gas naturale, prodotti petroliferi, energia nucleare e altri fonti, secondo quanto riportato nella tabella sottostante. Ai fini del calcolo si fa riferimento ai dati più aggiornati.

Mix Energetico	Composizione del mix energetico utilizzato per la produzione dell'energia elettrica nei due anni precedenti per l'energia venduta da Eni gas e luce			Sistema elettrico italiano nei due anni precedenti	
	I semestre 2017	II semestre 2017	2018	2017	2018
	(dato consuntivo Eni)	(dato consuntivo Eni)	(dato pre consuntivo)	(dato consuntivo)	(dato pre consuntivo)
Fonti primarie utilizzate					
Fonti rinnovabili	7,71%	11,33%	14,17%	36,42%	40,83%
Carbone	19,79%	18,99%	17,87%	13,69%	12,47%
Gas naturale	62,27%	59,92%	57,51%	42,63%	39,06%
Prodotti petroliferi	1,09%	1,04%	0,76%	0,76%	0,54%
Nucleare	4,94%	4,68%	5,30%	3,62%	4,11%
Altre fonti	4,20%	4,04%	4,38%	2,88%	2,99%

Figura 4.16: Composizione del mix energetico del fornitore

I dati inerenti ai fattori di emissione di anidride carbonica sono forniti dall'ISPRA, ovvero l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Sono stati utilizzati i dati più aggiornati, cioè quelli del 2019, e sono state riportate in tabella altre annate per un confronto sulle emissioni.

Combustibili	1990	2017	2018	2019
Solidi	876,9	870,0	884,5	908,9
Gas naturale + biometano	535,0	370,7	369,3	368,3
Gas derivati	1.816,4	1.498,4	1.651,2	1.414,5
Prodotti petroliferi	683,5	547,9	544,4	536,4
Altri combustibili	1.231,6	132,3	131,5	131,2

Tabella 4.15: Fattori di emissione di anidride carbonica forniti dall'ISPRA

Le emissioni di CO<sub>2</sub> riferite alla quota di combustibili per la produzione elettrica. Il fattore di emissione del gas naturale comprende la quota di produzione elettrica da biometano che non ha emissioni di anidride carbonica.

Dai calcoli si ottiene che la produzione di 1 kWh elettrico produce 0,3841 kg CO<sub>2</sub>, mentre 1 m<sup>3</sup> di CH<sub>4</sub> produce 3,938 kg CO<sub>2</sub>, utilizzato dall'impianto di riscaldamento dell'edificio tradizionale.

Secondo questi criteri di conversione si è potuto stimare il quantitativo annuale di emissioni per l'edificio attuale e l'edificio tradizionale. Nella tabella sottostante vengono riportati i valori di emissioni in CO<sub>2</sub> equivalente per ogni tipologia impiantistica dei due edifici a confronto.

<b>TIPOLOGIA DI IMPIANTO</b>	<b>EMISSIONI EDIFICIO ATTUALE [tonCO<sub>2</sub>/ANNO]</b>	<b>EMISSIONI EDIFICIO TRADIZIONALE [tonCO<sub>2</sub>/anno]</b>	<b>RISPARMIO [tonCO<sub>2</sub>/ANNO]</b>
Illuminazione	87,47	106,52	19,05
Impianto elettrico (FM) e speciali	109,04	115,52	6,48
Raffrescamento	68,63	80,26	11,63
Riscaldamento	148,68	482,31	333,64
Ventilazione	73,51	73,51	0,00
Acqua calda sanitaria	0,78	17,43	16,64
<b>TOTALE</b>	<b>488,10</b>	<b>875,53</b>	<b>387,43</b>

Tabella 4.16: Emissioni in ton CO<sub>2</sub>/anno dell'edificio attuale, tradizionale e del risparmio conseguito

Come già si notava nelle tabelle precedenti, il peso più rilevante è rappresentato ovviamente dal riscaldamento.

Il confronto fra il totale delle emissioni tra i due edifici consente di stimare che il quantitativo di emissioni di CO<sub>2</sub> evitate è pari a:

$$\text{Emissioni}_{\text{CO}_2\text{ evitate}} = 387,43 \frac{\text{ton}_{\text{CO}_2}}{\text{anno}}$$

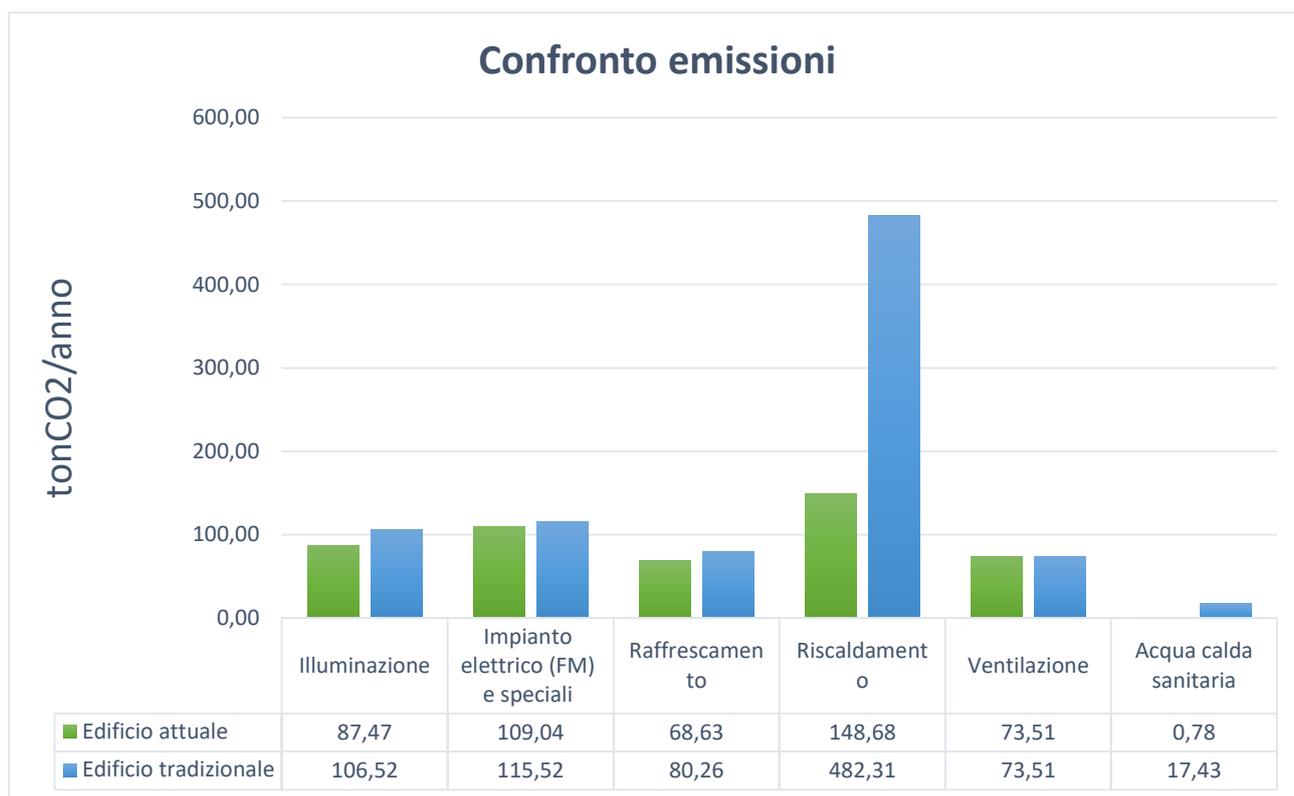


Figura 4.17: Confronto tra le emissioni dell'edificio attuale e l'edificio tradizionale

Anche in questo caso il calcolo è stato eseguito senza considerare il contributo dell'impianto fotovoltaico.

### 4.3 Energia prodotta dell'impianto FTV

Dalla rilevazione delle fatture fornite è stato possibile ricavare la producibilità mensile dell'impianto fotovoltaico di Prima Industrie, dell'anno di esercizio 2020.

Riportando sul grafico i kWh mensili, si può avere un'idea di quello che è stato l'andamento della produzione di energia fotovoltaica.

# 59 540 kWh/anno

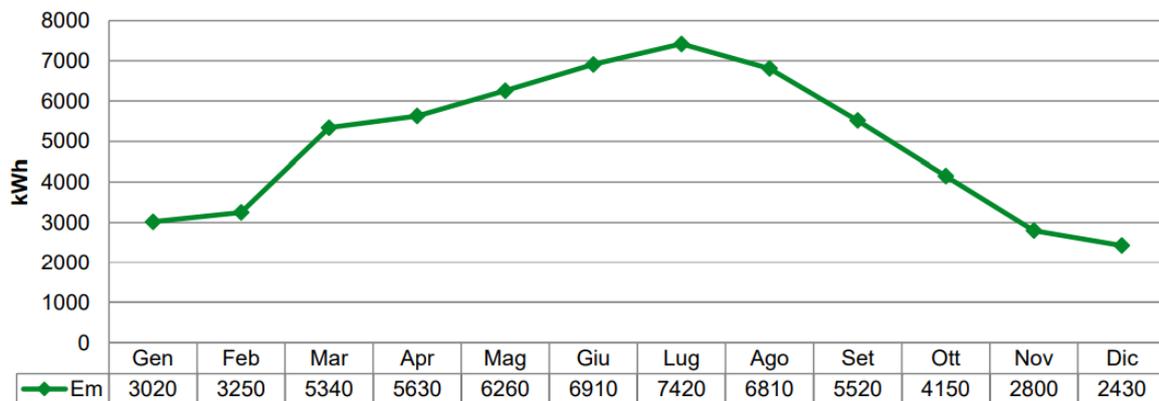


Figura 4.18: Produzione di energia fotovoltaica

Il totale prodotto dall'impianto risulta essere pari a 59.540 kWh/anno. La producibilità si mostra essere sottotono rispetto agli anni precedenti, in concomitanza con l'anomalia della produzione e dei consumi dell'anno corrente, il tutto dovuto al lockdown.

La produzione di energia elettrica da parte del fotovoltaico è volta al soddisfacimento del fabbisogno energetico della sola illuminazione; l'impianto ne copre soltanto una percentuale.

Essendo il fabbisogno elettrico della zona uffici pari a 91.034 kWh/anno, il 40 % verrà coperto dal fotovoltaico, come mostrato nel grafico sottostante.

Consumo di energia zona uffici: 91034 kWh/anno  
Produzione impianto fotovoltaico: 59540 kWh/anno\*

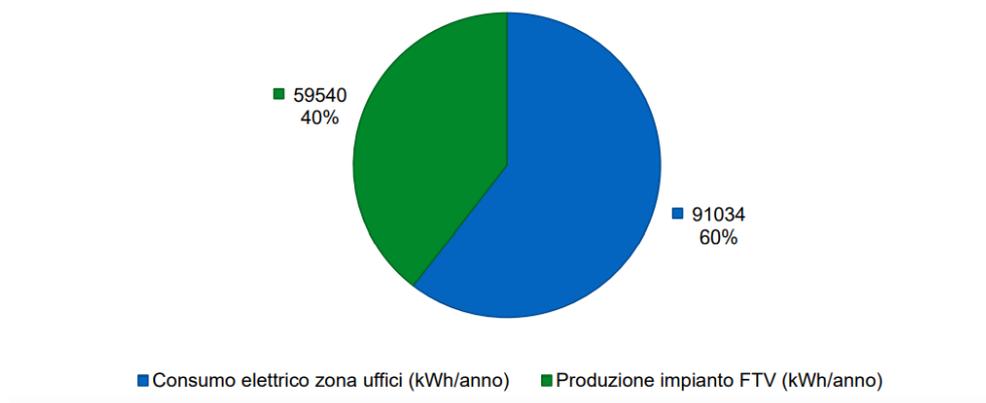


Figura 4.19: Grafico sulla produzione dell'impianto fotovoltaico rispetto al consumo degli uffici

A questo punto è possibile completare l'analisi economica considerando l'apporto dell'impianto fotovoltaico.

Partendo dai seguenti dati: costo medio dell'energia elettrica è possibile calcolare il risparmio annuale in €/anno.

- Producibilità FTV -  $E_{FTV} = 59.540 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}}$
- costo medio energia elettrica -  $C_{el} = 0,182 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$
- fattore di conversione:  $0,3841 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{kWh}}$

è possibile calcolare il risparmio annuale in €/anno

$$\text{Risparmio}_{FTV} = E_{FTV} \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} * C_{el} \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 59.540 * 0,182 = 10.836,28 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

e le tonnellate di CO<sub>2</sub> evitate in un anno.

$$\text{Ton CO}_2\text{_{evitate}} = 59.540 \frac{\text{kWh}}{\text{anno}} * 0,3841 \frac{\text{kg}_{CO_2}}{\text{kWh}} = 22,87 \frac{\text{ton}_{CO_2}}{\text{anno}}$$

Nella tabella sottostante viene riassunto quanto appena calcolato.

	<b>kWh/anno</b>	<b>€/anno</b>	<b>Ton CO<sub>2</sub>_evitate/anno</b>
<b>FOTOVOLTAICO</b>	59.540	10.836,28	22,87

Tabella 4.17: Producibilità e risparmio dell'impianto fotovoltaico

Dopo aver considerato l'apporto dell'energia solare, è stato quindi possibile calcolare con esattezza il consumo dell'illuminazione e di conseguenza il risparmio annuale complessivo in kWh/anno.

<b>TIPOLOGIA DI IMPIANTO</b>	<b>CONSUMO EDIFICIO ATTUALE [kWh/anno]</b>	<b>CONSUMO EDIFICIO TRADIZIONALE [kWh/anno]</b>	<b>RISPARMIO [kWh/anno]</b>
Illuminazione	168.208,68	277.349,00	109.140,32
Impianto elettrico (FM) e speciali	283.923,30	300.786,30	16.863,00
Raffrescamento	178.691,21	208.969,00	30.277,79
Riscaldamento	387.121,93	1.309.565,69	922.443,77
Ventilazione	191.400,40	191.400,40	0,00
Acqua calda sanitaria	2.033,47	47.312,22	45.278,75
<b>TOTALE</b>	<b>1.211.379,00</b>	<b>2.335.382,62</b>	<b>1.124.003,62</b>

Tabella 4.18: Consumo dell'edificio attuale, tradizionale e del conseguente risparmio energetico in kWh/anno

## 4.4 Analisi Economica

In questa sezione si procede al calcolo del risparmio economico conseguito considerando l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico.

La spesa al netto dell'edificio attuale risulta essere pari a:

SPESA ANNUA EDIFICIO ATTUALE:	231.307,26 €/anno -
PRODUZIONE FOTOVOLTAICO:	10.836,28 €/anno =
<b>SPESA NETTA EDIFICIO ATTUALE</b>	<b>220.470,98 €/anno</b>

Se questo dato viene confrontato con la spesa annuale netta dell'edificio tradizionale, otteniamo un risparmio pari a 46.430,7 €/anno.

SPESA ANNUA EDIFICIO TRADIZIONALE	266.901,68 €/anno -
<b>SPESA NETTA EDIFICIO ATTUALE</b>	<b>220.470,98 €/anno =</b>
<b>RISPARMIO ANNUO</b>	<b>46.430,7 €/anno</b>

In un'ottica futura, è utile valutare il risparmio energetico complessivo considerando la vita utile dell'edificio, che per convenzione viene considerata di 30 anni.

RISPARMIO ANNUO	46.430,7 €/anno x
VITA UTILE DELL'EDIFICIO	30 anni =
<b>RISPARMIO COMPLESSIVO</b>	<b>1.392.921 €</b>

Considerando i costi del Capex di Fase 1 e Fase 2, ovvero i siti in esercizio al momento dello studio energetico, si è fatta una valutazione economica sul costo effettivo della rilocalizzazione.

CAPEX FASE1+FASE2	12.500.000,00 € -
RISPARMIO COMPLESSIVO	1.392.921,00 € =
<b>COSTO EFFETTIVO FASE1+FASE2</b>	<b>11.107.079,00 €</b>

## 4.5 Analisi ambientale

In questo paragrafo si procede al calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> evitate, considerando l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Le emissioni nette dell'edificio attuale risultano essere pari a:

EMISSIONI CO <sub>2</sub> EDIFICIO ATTUALE:	488,10 ton CO <sub>2</sub> /anno -
TONN CO <sub>2</sub> EVITATE DA FTV:	22,87 ton CO <sub>2</sub> /anno =
<b>EMISSIONI NETTE EDIFICIO ATTUALE</b>	<b>465,23 ton CO<sub>2</sub>/anno</b>

Se questo dato viene confrontato con le emissioni annuali nette dell'edificio tradizionale, otteniamo 410,3 ton CO<sub>2</sub>/anno evitate.

EMISSIONI ANNUE EDIFICIO TRADIZIONALE	875,53 ton CO <sub>2</sub> /anno -
<b>EMISSIONI NETTE EDIFICIO ATTUALE</b>	<b>465,23 ton CO<sub>2</sub>/anno =</b>
<b>EMISSIONI COMPLESSIVE EVITATE</b>	<b>410,30 ton CO<sub>2</sub>/anno</b>

Nella tabella riassuntiva sottostante viene indicato quanto appena descritto:

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	EMISSIONI EDIFICIO ATTUALE [tonCO <sub>2</sub> /ANNO]	EMISSIONI EDIFICIO TRADIZIONALE [tonCO <sub>2</sub> /anno]	RISPARMIO [tonCO <sub>2</sub> /ANNO]
Illuminazione	64,60	106,52	41,92
Impianto elettrico (FM) e speciali	109,04	115,52	6,48
Raffrescamento	68,63	80,26	11,63
Riscaldamento	148,68	482,31	333,64
Ventilazione	73,51	73,51	0,00
Acqua calda sanitaria	0,78	17,43	16,64
<b>TOTALE</b>	<b>465,23</b>	<b>875,53</b>	<b>410,30</b>

Tabella 4.19: Emissioni in tonCO<sub>2</sub>/anno dell'edificio attuale, tradizionale e del risparmio conseguito

## 5. Progettazione

### 5.1 Ampliamento del sistema BEMS per una corretta diagnosi energetica.

Per poter migliorare l'efficienza energetica è necessaria una corretta diagnosi energetica che identifichi adeguatamente il profilo dei consumi di edifici adibiti ad uso civile, industriale, pubblico o privato. La diagnosi individua se un'organizzazione può avere un'opportunità di risparmio energetico e può migliorare il proprio trend dei consumi.

Per fare questo si necessita di una serie di operazioni di rilievo di dati sia sulle apparecchiature del ciclo produttivo che sugli impianti dei servizi generali, questo al fine di rendere possibile l'analisi delle condizioni standard di esercizio e di valutare e calcolare possibili interventi migliorativi per aumentare l'efficienza energetica in sede di utilizzo e produzione al fine di ridurre i consumi energetici: nuove apparecchiature, installazione di convertitori di frequenza, uso di fonti rinnovabili.

#### **QUADRO NORMATIVO**

##### **D.Lgs. 115/08, D.Lgs102/14 e s.m.i.**

Il D.Lgs. 115/08 definisce «diagnosi energetica» (in maniera equivalente, sarà usato anche il termine «audit energetico») una procedura sistematica volta a:

- fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati;
- individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici;
- riferire in merito ai risultati.

Successivamente al decreto citato è stato pubblicato sulla G.U. serie generale 165 del 18-07-2014, il decreto legislativo nr. 102 del 4 luglio 2014, attuativo della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, in vigore dal 19 luglio 2014.

Il decreto stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica che concorrono al conseguimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico definito all'articolo 3 (riduzione, entro l'anno 2020, di 20 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio dei consumi di energia primaria, pari a 15,5 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio di energia finale, conteggiati a partire dal 2010, in coerenza con la Strategia Energetica Nazionale).

Le aziende sia che sono a forte consumo energetico dovranno dotarsi di una diagnosi energetica secondo quanto segue:

Le imprese a forte consumo di energia dovranno eseguire una diagnosi energetica, condotta da società di servizi energetici, esperti in gestione dell'energia o auditor energetici, nei siti produttivi localizzati sul territorio nazionale entro il 5 dicembre 2015 e successivamente ogni 4 anni. Alternativamente le imprese a forte consumo di energia dovranno dotarsi di un sistema di gestione conforme alla norma **ISO 50001** (art. 8).

### **La norma UNI CEI EN 16247**

Il documento di riferimento per la redazione di una diagnosi energetica a cui devono essere sottoposte obbligatoriamente le grandi imprese e le imprese energivore, è la normativa UNI CEI EN 16247.

Di seguito vengono analizzate le cinque parti in cui la norma è suddivisa:

1. UNI CEI EN 16247 - 1:2012

Parte 1: Requisiti generali

La presente norma definisce i requisiti, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche. Si applica a tutte le forme di aziende ed organizzazioni, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l'esclusione delle singole unità immobiliari residenziali. Definisce inoltre i requisiti generali a tutte le diagnosi energetiche.

2. UNI CEI EN 16247 - 2:2014

Parte 2: Edifici

La presente norma è applicabile alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici. Essa definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica di una diagnosi energetica relativa ad un edificio o ad un gruppo di edifici, escludendo le singole residenze private.

3. UNI CEI EN 16247 - 3:2014

Parte 3: Processi

La presente norma definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica di una diagnosi energetica nell'ambito di un processo, relativamente a:

- organizzare e condurre una diagnosi energetica
- analizzare i dati ottenuti con la diagnosi energetica
- riportare e documentare i risultati della diagnosi energetica.

La norma si applica ai luoghi in cui l'uso di energia è dovuto al processo.

4. UNI CEI EN 16247 - 4:2014

Parte 4: Trasporto

La presente norma determina i requisiti, la metodologia e la reportistica specifici per le diagnosi energetiche nel settore dei trasporti e affronta ogni situazione in cui viene effettuato uno spostamento, non importa chi sia l'operatore (compagnia pubblica o privata)

o se l'operatore si dedica esclusivamente al trasporto oppure no). Le procedure descritte si applicano alle diverse modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, aereo), oltre che ai differenti ambiti (locale, a lunga distanza) e all'oggetto trasportato (fondamentalmente merci e persone).

#### 5. UNI CEI EN 16247 - 5:2015

Parte 5: Competenze dell'auditor energetico

La presente norma specifica le competenze che l'auditor energetico o un team di auditor energetici deve possedere per effettuare in maniera efficace diagnosi energetiche conformi ai requisiti della parte 1 (aspetti generali delle diagnosi) eventualmente integrata dalle parti specifiche per i settori edifici, processi e trasporti. (Questa nuova figura non deve essere confusa con quella di "auditor" di sistema attiva nel mondo dei sistemi di gestione dell'energia, della qualità o dell'ambiente e che ha un ruolo del tutto diverso).

Come primo step viene identificato quindi il confine del sistema, ovvero il confine che comprende al suo interno tutte le aree associate all'oggetto sottoposto ad audit (sia all'interno che all'esterno) in cui l'energia sia consumata o prodotta.

L'energia consumata, espressa per vettore energetico, è quella fornita agli impianti tecnici attraverso il confine di sistema, per soddisfare gli usi presi in considerazione o per produrre elettricità. L'energia fornita può essere calcolata o misurata. Gli usi energetici comprendono riscaldamento, condizionamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione. L'energia prodotta invece, è identificata come calore o elettricità generati all'interno del confine del sistema e può essere utilizzata entro i confini del sistema o esportata.

Per una attenta diagnosi energetica della parte 2, la raccolta dei dati deve essere adeguata e l'auditor energetico deve organizzare e raccogliere i dati inerenti ai vettori energetici presenti e disponibili; i dati connessi all'energia: quindi l'energia consegnata, prodotta ed esportata, per ogni vettore di energia (ad esempio, identificare il flusso energetico per un'unità di cogenerazione, o per impianti fotovoltaici; dati relativi al consumo di energia (o letture con relativa periodo) di qualsiasi contatore disponibile e i dati per singolo contatore.

Monitorare e misurare i vettori energetici è un adempimento per cui Prima Industrie è soggetto obbligato secondo l'Art.8 del D.Lgs. 102/2014 (Diagnosi Energetica), considerata "conforme" se viene rispettata la già citata norma tecnica **UNI CEI EN 16247**.

In secondo luogo, il Gruppo Prima Industrie ha un forte interesse nella realizzazione di un **cruscotto energetico** dinamico che monitori gli andamenti delle categorie energetiche principali e i relativi risparmi energetici.

Le soluzioni previste per soddisfare i punti sopracitati prevedono che siano introdotti idonei strumenti di misura per contabilizzare i consumi delle categorie delle seguenti macro aree:

- **Officina** (Capannone Produttivo C): è necessario il monitoraggio dell'illuminazione sulle sezioni Normale/ Continuità di sicurezza, e il consumo energetico degli aerotermi.

La valutazione sul dispendio energetico della FM (solo blindo sbarre) risulta già presente.

- **Servizi informatici**: è necessario monitorare il quadro dei server e la linea Privilegiata degli uffici.
- **Sezioni UTA**: è necessario suddividere il consumo energetico della ventilazione tra uffici, mensa, spogliatoi e ALC (Advanced Laser Centre).

Al fine di individuare dove installare gli appositi strumenti di misura per contabilizzare i consumi, è stato necessario studiare gli schemi unifilari di ogni quadro elettrico del progetto esecutivo di Fase 3 e degli as built di Fase 2 e lo schema a blocchi, dove vi sono riportati tutti i quadri elettrici.

Lo schema unifilare di un impianto tecnico elettrificato è una rappresentazione schematica dello stesso, avente lo scopo di mostrare il percorso che le vie cavo compiono nell'atto di collegare le differenti parti del circuito. Grazie a questo schema è possibile individuare le varie utenze della linea e valutare se e dove installare gli strumenti di misura idonei.

La prima analisi è stata fatta sugli schemi unifilari dei quadri del Capannone produttivo, in particolare:

- **QDC – C**: Quadro Distribuzione Capannone C
- **QSC – C**: Quadro Servizio Capannone C

Dal primo schema si evince che la linea alimenta tutte le blindosbarre e i carriponte, di conseguenza è stato installato uno strumento multifunzione (multimetro) per valutare il dispendio energetico della Forza Motrice.

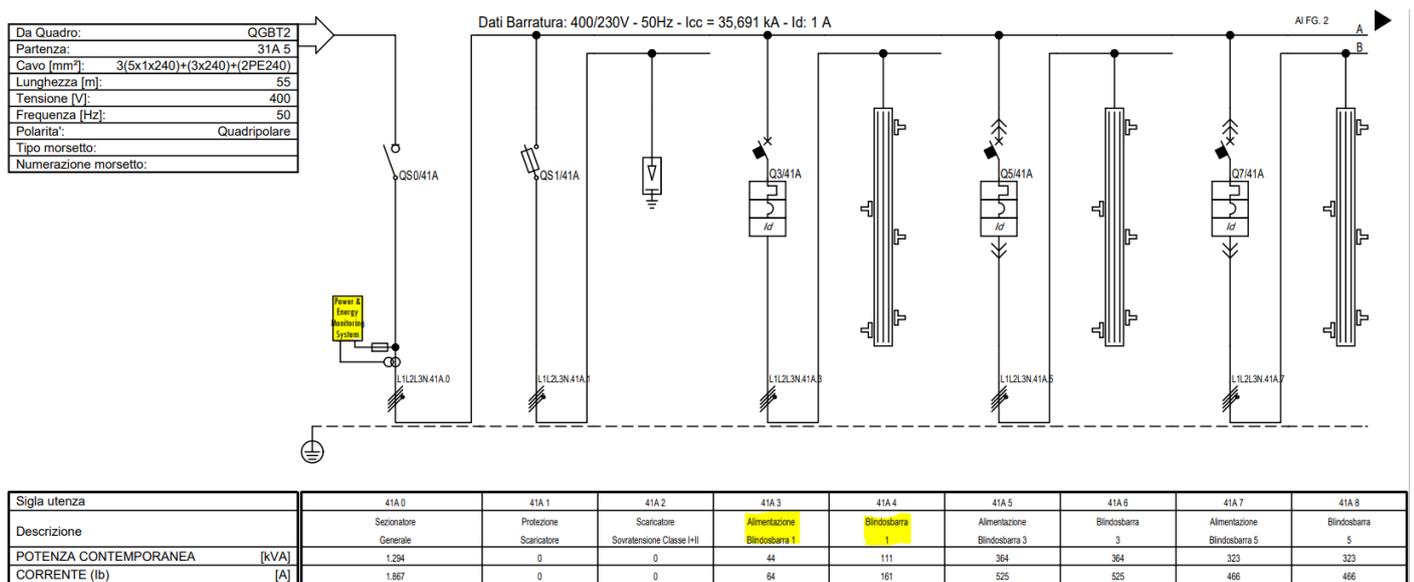


Figura 5.1: Schema unifilare del Quadro distribuzione del Capannone C

Lo schema unifilare del Quadro Servizio Capannone C, evidenzia invece che tra le utenze della linea ci sono sia l'alimentazione delle blindoluci, l'alimentazione delle dorsali degli aerotermi, sia altre piccole utenze come l'illuminazione dei WC.

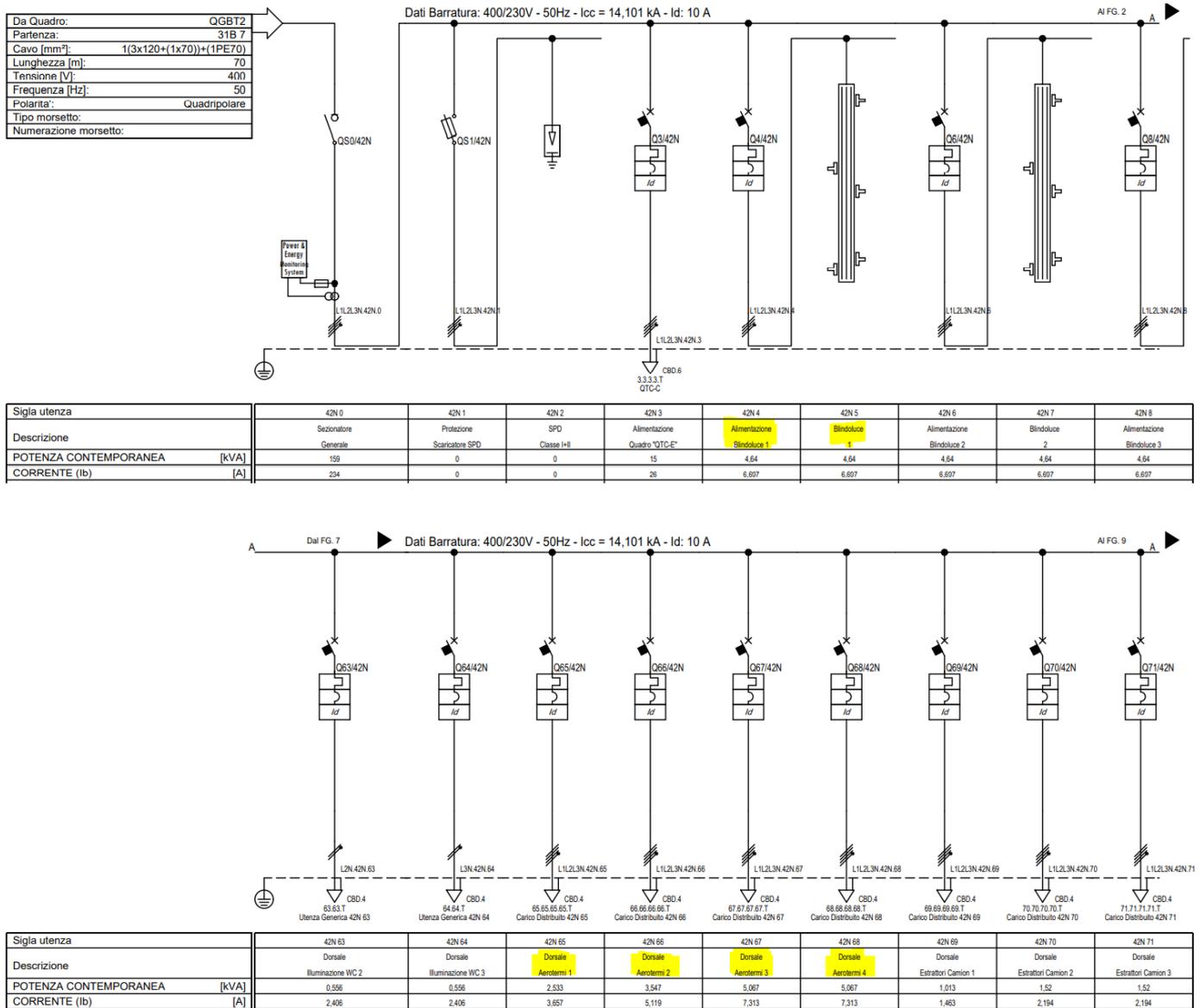


Figura 5.2: Schema unifilare Quadro servizio Capannone C

Sono stati quindi necessari degli interventi sull'impianto elettrico al fine di isolare determinati vettori energetici, precedentemente in stato di separazione (quindi da aggregare) o inglobati sotto altre utenze.

In particolare, per monitorare i consumi dell'illuminazione e degli aerotermi del Capannone produttivo è stata prevista l'installazione di 55 PowerTag sul QSC-C (uno per ogni circuito), invece per soddisfare gli altri monitoraggi sono stati installati due misuratori multifunzione, rispettivamente sui quadri QTC-B, ovvero il Quadro Tecnologico Copertura Palazzina B, al fine di monitorare il consumo energetico della ventilazione del capanno Additive, e sul quadro dei server.

In allegato viene fornita l'immagine dello schema a blocchi completo con particolare riferimento ai misuratori multifunzione installati.

La scelta dei PowerTag e dei misuratori multifunzione è ricaduta sui modelli forniti da Schneider Electric.

### **Power tag**

PowerTag è un sensore di monitoraggio wireless che misura energia e potenza, provvedendo a fornire misure in tempo reale. Tramite il suo utilizzo si può beneficiare della gestione completa dei carichi stabilendo subito se l'utenza in questione non è in funzione a causa dell'interruttore o del carico stesso. La completa gestione dei carichi permette di intervenire velocemente in caso di disservizio grazie ad allarmi di sovracorrente, perdita di tensione, guasto del carico, inviati in tempo reale e direttamente via mail.

La facilità di installazione prevede il fatto che PowerTag può essere installato in quadri già esistenti, integrando il quadro senza doverlo sostituire, e senza quindi stravolgere l'impianto elettrico. Ciò si traduce anche in una riduzione dei costi di installazione.

## PowerTag E 63 A



*Figura 5.3: PowerTag montato direttamente sull'interruttore*

PowerTag si collega direttamente al sistema BMS, consentendo la gestione dell'energia e l'analisi del consumo energetico. Tale strumento è certificato secondo la normativa **ISO50001** e la sua precisione di misura è di classe 1, secondo la normativa **CEI 61557-12**.

## Caratteristiche tecniche

Caratteristiche generali			
Tensione nominale	Un	Fase-neutro	230 V CA $\pm$ 20 %
		Fase-fase	400 V CA $\pm$ 20 %
Frequenza			50/60 Hz
Corrente max	I <sub>max</sub>		63 A
Corrente base di riferimento	I <sub>b</sub>		10 A
Corrente di saturazione			130 A
Consumo max		1P+N	$\leq$ 1 VA
		3P/3P+N	$\leq$ 2 VA
Corrente di avvio	I <sub>st</sub>		40 mA
Caratteristiche aggiuntive			
Temperatura di funzionamento			Da -25°C a +60°C
Temperatura di immagazzinaggio			Da -40°C a +85°C
Categoria sovratensione		Secondo IEC 61010-1	Cat. III
Categoria misura		Secondo IEC 61010-2-30	Cat. III
Grado di inquinamento			3
Altitudine d'impiego			$\leq$ 2000 m
Grado di protezione		Solo apparecchio	IP20
		IK	05
Comunicazione RF			
Banda ISM 2.4 GHz			Da 2.4 GHz a 2.4835 GHz
Canali		Secondo IEEE 802.15.4	Da 11 a 26
Isotropic Radiated Power		Equivalente (EIRP)	0 dBm
Tempo max di trasmissione			< 5ms
Occupazione canale		Messaggi trasmessi ogni	5 secondi min
Caratteristiche delle funzioni di misura			
Funzioni		Categoria performance secondo IEC 61557-12	
Potenza attiva	P	1	Da 9 W a 63 kW
Energia attiva	E <sub>a</sub>	1	Totale e parziale da 0 a 99999999.9 kWh
Corrente	I	1	da 2 A a 63 A
Tensione	U	0.5	Un $\pm$ 20 %
Fattore di potenza	PFA	1	da 0 a 1

Figura 5.4: Scheda tecnica PowerTag

### Misuratori multifunzione

I misuratori multifunzione sono una gamma di misuratori ideati per la pratica gestione della rete, che soddisfano ogni gestione dei costi e dell'energia. Sono ideali per le applicazioni di misurazione dell'energia e monitoraggio della rete e mirano a migliorare la disponibilità e l'affidabilità dell'impianto di distribuzione dell'energia elettrica.



Figura 5.4: Misuratore multifunzione

Oltre ad analizzare i consumi per verificare il corretto addebito dell'energia consumata, misurano i diversi parametri elettrici per comprendere lo stato di salute e di attività dell'impianto. Il costante monitoraggio della rete identifica la qualità dell'energia assorbita e consente di ottimizzare il profilo di carico e di conseguenza il profilo tariffario, garantendo un'efficienza e un utilizzo ottimale delle apparecchiature.

Le misurazioni dei multimetri sono direttamente collegate col sistema BMS, consentendo la gestione dell'energia e l'analisi del consumo energetico in tempo reale.

Grazie a questi interventi sull'impianto elettrico, dovuti all'ampliamento dell'attività produttiva dell'azienda, è possibile effettuare una corretta diagnosi energetica inerenti ai consumi dell'edificio ed è possibile visualizzare tali consumi sul sistema domotico di controllo dell'energia, nonché sul cruscotto energetico.

## 5.2 Cruscotto Energetico

Il progetto finale è stato la realizzazione di una dashboard capace di monitorare gli andamenti giornalieri, mensili e annuali dei risparmi energetici dell'edificio in esercizio e i risparmi derivanti da ogni tipologia impiantistica dell'azienda.

Tale dashboard è mostrata in forma digitale sul sistema di monitoraggio domotico BEMS e quindi può essere controllabile da remoto. Inoltre il cruscotto energetico è presentato in forma fisica su alcuni monitor collocati in punti strategici. Questi monitor possono quindi essere visibili e accessibili

dai dipendenti ma soprattutto garantiscono prestigio e immagine all'azienda poiché possono essere notati dai visitatori e dai clienti.

Per procedere alla progettazione bisogna monitorare e raccogliere tutti i consumi energetici per le varie funzioni dell'insediamento e confrontarli con quelli di un edificio non convenzionale.

Considerando gli obiettivi riguardo alla creazione della dashboard, l'azienda è interessata al monitoraggio e alla visualizzazione di tre pagine digitali secondo la seguente logica.

1. Pagina che visualizza il risparmio energetico totale dell'intero stabilimento.  
La suddetta slide conterrà una foto dello stabile, il banner Green Means, e i dati sul risparmio dell'anno corrente e dell'anno precedente. Ogni dato fornito sarà indicato secondo le seguenti unità di misura: kWh/anno, €/anno, ton CO<sub>2</sub>/anno, TEP/anno.
2. Pagina che visualizza i sei risparmi principali in relazione alle sei diverse tipologie impiantistiche dell'azienda. L'impaginazione prevista è quindi di sei celle e ogni cella specificherà la categoria dell'impianto con un titolo e un logo apposito, e indicherà i risparmi dell'anno corrente ed eventualmente anche dell'anno precedente, secondo le stesse unità di misura indicate in precedenza.
3. Pagina che visualizza quattordici risparmi inerenti all'efficienza energetica totale, suddivisa secondo alcune sottocategorie.

La richiesta prevede che le pagine 1 e 2 vengano proiettate su schermi disposti a livello strategico all'interno dell'azienda, mentre l'insieme delle tre pagine sia visualizzabile su dispositivi come computer o smartphone delle figure manageriali dell'azienda.

Un ulteriore scopo della creazione di queste slide è quello di integrarle all'interno della pagina Web di Prima Industrie per una più ampia diffusione di questo tipo di informazioni.

Per questo progetto si considerano tutte e tre le Fasi di Prima Industrie in esercizio, secondo uno scenario dei consumi che vede Fase 1 in pieno regime, come negli anni antecedenti al 2020, e Fase 2 e Fase 3 con un dispendio energetico ipotizzato anch'esso in pieno regime. In un futuro prossimo, tali valori verranno forniti precisamente da fatture di energia e misuratori multifunzione collocati su ogni quadro. In questo modo si potrà monitorare l'andamento reale dello stabilimento e visualizzarlo sulla dashboard dinamica.

## Scenario dei consumi

	kWh/anno
Fase 1	<b>1.189.663</b>
Fase 2+3 (previsione)	<b>3.000.000</b>
Fase 1+2+3 (previsione)	<b>4.189.663</b>

Tabella 5.1: Scenario dei consumi delle tre Fasi in esercizio

A tal proposito è utile avere un promemoria della metratura dello stabilimento:

DESCRIZIONE AREE	area (m <sup>2</sup> )
UFFICI HQTC (Fase 1)	880
SALA DEMO (Fase 1)	2.235
CAPANNONE PRODUTTIVO (Fase 3)	10.800
UFFICI (Fase 2)	1.356
TOTALE	15.271

DESCRIZIONE AREE	area (m <sup>2</sup> )
FASE 1	3.115
FASE 2+3	12.156
TOTALE	15.271

Tabella 5.2. Tabella 5.3: Descrizione delle metrature dello stabilimento

Dalla tabella si può intuire facilmente che Fase 2 e Fase 3 coprono la maggior parte dei consumi, specialmente l'officina produttiva in termini di forza motrice e climatizzazione, dal momento che ha un'estensione di 10.800 m<sup>2</sup>.

Partendo dal totale dei consumi di tutto lo stabilimento in esercizio, ovvero 4.189.663 kWh/anno, si è ricavato il totale dei costi, che ammonta a 762.518,67 €/anno. Per la suddivisione del costo energetico di ogni tipologia di impianto, si è ipotizzato di utilizzare la stessa che si era utilizzata nel Capitolo 5 per Fase 1 e Fase 2 in esercizio.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	Valore % COSTO EDIFICIO PRIMA INDUSTRIE
ILLUMINAZIONE	17,92%
IMPIANTO ELETTRICO (FM) E SPECIALI	22,34%
RAFFRESCAMENTO	14,06%
RISCALDAMENTO	30,47%
VENTILAZIONE	15,06%
PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA	0,16%
BEMS	0,00%

Tabella 5.4: Suddivisione percentuale del costo per ogni tipologia di impianto

Nella tabella successiva vengono quindi riportati il costo dell'intero edificio di Prima Industrie, in caso di esercizio a pieno regime, il costo dell'edificio tradizionale e il risparmio annuale. Non viene ancora considerato il contributo dell'impianto fotovoltaico, che vedremo in seguito.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	COSTO EDIFICIO PRIMA INDUSTRIE	COSTO EDIFICIO TRADIZIONALE	RISPARMIO
ILLUMINAZIONE	€ 136.613,47	€ 244.742,02	€ 108.128,55
IMPIANTO ELETTRICO (FM) E SPECIALI	€ 170.351,34	€ 173.386,68	€ 3.035,34
RAFFRESCAMENTO	€ 107.218,70	€ 170.282,29	€ 63.063,59
RISCALDAMENTO	€ 232.321,29	€ 425.353,97	€ 193.032,68
VENTILAZIONE	€ 114.826,82	€ 158.087,94	€ 43.261,12
PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA	€ 1.187,05	€ 15.181,78	€ 13.994,73
BEMS	€ -	€ 15.001,37	€ 15.001,37
<b>Totale</b>	<b>€ 762.518,67</b>	<b>€ 1.202.036,04</b>	<b>€ 439.517,38</b>

Tabella 5.5: Costo e risparmio per ogni tipologia impiantistica

Per il BEMS si è considerato un costo pari a zero, dal momento che il suo utilizzo non comporta costi, mentre invece l'edificio tradizionale vede un costo di 15.001,37 €/anno, poiché non possiede uno strumento di domotica intelligente che regoli e ottimizzi i consumi di energia.

Una volta individuato il risparmio in termini di costo, è possibile convertirlo in termini energetici in kWh/anno, dividendo per il costo medio dell'energia elettrica che è pari 0,182 €/kWh.

È interessante esprimere la valutazione delle tonnellate di CO<sub>2</sub> e dei TEP (Tonnellate Equivalenti di Petrolio) che segue gli stessi criteri di calcolo del Capitolo 5.

- $E_{AC\_Fase1+Fase2} = 100.861,36$  kWh/anno - Producibilità annua degli impianti fotovoltaici di Fase 1 + Fase 2

Considerando il contributo degli impianti fotovoltaici di Fase 1 e Fase 2, che risultano essere rispettivamente di 59.540 kWh/anno secondo l'ultima fattura di energia, e di 41.321,36 kWh/anno secondo i calcoli effettuati nel capitolo 4, il risparmio annuo totale cresce a 457.874,15 €/anno.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	kWh/anno	€/anno	ton CO2/anno	TEP/anno
Illuminazione	594.112,90	108.128,55	228,17	51,08
Trasformatori	16.677,69	3.035,34	6,41	1,43
Sistema di condizionamento - HVAC	1.644.820,82	299.357,39	631,70	141,42
Fotovoltaico	100.861,36	18.356,77	38,74	8,67
Solare Termico	76.894,14	13.994,73	29,53	6,61
BEMS	82.425,10	15.001,37	31,66	7,09
<b>Totale</b>	<b>2.515.792,01</b>	<b>457.874,15</b>	<b>966,20</b>	<b>216,31</b>

Tabella 5.6: Risparmio annuo per ogni categoria di impianto secondo le diverse unità di misura

Dividendo questi valori per 365 giorni/anno si ottengono i risparmi giornalieri delle macrocategorie impiantistiche dell'azienda. La dashboard dinamica si aggiornerà quotidianamente con i valori misurati dai multimetri ed i criteri di calcolo utilizzati.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	kWh/giorno	€/giorno	kg CO2/giorno	TEP/giorno
Illuminazione	1.627,71	€ 296,24	0,63	0,14
Trasformatori	45,69	€ 8,32	0,02	0,004
Sistema di condizionamento - HVAC	4.506,36	€ 820,16	1,73	0,39
Fotovoltaico	276,33	€ 50,29	0,11	0,02
Solare Termico	210,67	€ 38,34	0,08	0,02
BEMS	225,82	€ 41,10	0,09	0,02
<b>Totale</b>	<b>6.892,58</b>	<b>€ 1.254,45</b>	<b>2,65</b>	<b>0,59</b>

Tabella 5.7: Risparmio giornaliero per ogni categoria di impianto secondo le diverse unità di misura

Sulla base di alcuni calcoli effettuati dal software Edilclima e di alcune valutazioni effettuate dallo studio di progettisti, è stato possibile suddividere alcune tipologie impiantistiche in sottocategorie; come ad esempio la gestione smart del BEMS, la regolazione automatica e l'accensione automatica della luce, che consentono di risparmiare numerosi kWh/anno rispetto ad un edificio tradizionale. Allo stesso modo anche la ventilazione variabile, le pompe a portata variabile, i recuperatori di calore dell'UTA e le valvole dei ventilconvettori sono soluzioni impiantistiche all'avanguardia che permettono allo stabilimento di risparmiare una grossa quantità di energia, oltre che ammortizzare i costi ed evitare elevate emissioni di CO<sub>2</sub>.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	kWh/anno	€/anno	kg CO2/anno	toe/anno	Valore %
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	100.861,36	18.356,77	38,74	8,67	4,01%
IMPIANTO SOLARE TERMICO	76.894,14	13.994,73	29,53	6,61	3,06%
GESTIONE SMART BEMS	61.818,82	11.251,03	23,74	5,32	2,46%
REGOLAZIONE AUTOMATICA LUCE	12.363,76	2.250,21	4,75	1,06	0,49%
ACCENSIONE AUTOMATICA LUCE	8.242,51	1.500,14	3,17	0,71	0,33%
ILLUMINAZIONE - LED	594.113	108.128,55	228,17	51,08	23,62%
TRASFORMATORI GREEN	16.677,69	3.035,34	6,41	1,43	0,66%
FREE COOLING - VENTILAZIONE VARIABILE	51.948,58	9.454,64	19,95	4,47	2,06%
GEOTERMIA SANITARIA	34.743,49	6.323,31	13,34	2,99	1,38%
GEOTERMIA RISCALDAMENTO	1.274.523,73	231.963,32	489,48	109,58	50,66%
GEOTERMIA CONDIZIONAMENTO	234.964,15	42.763,47	90,24	20,20	9,34%
VALVOLE VENTILCONVETTORI	17.371,74	3.161,66	6,67	1,49	0,69%
POMPE PORTATA VARIABILE	13.897,39	2.529,33	5,34	1,19	0,55%
RECUPERATORI DI CALORE	17.371,74	3.161,66	6,67	1,49	0,69%
<b>TOTALE</b>	<b>2.515.792,01</b>	<b>457.874,15</b>	<b>966,20</b>	<b>216,31</b>	<b>100,00%</b>

Tabella 5.8: Risparmio annuo delle sottocategorie

Dividendo questi valori per 365 giorni/anno si ottengono i risparmi giornalieri delle sottocategorie impiantistiche dell'azienda. La dashboard dinamica si aggiornerà quotidianamente con i valori misurati dai multimetri ed i criteri di calcolo utilizzati.

TIPOLOGIA DI IMPIANTO	kWh/giorno	€/giorno	kg CO2/giorno	toe/giorno	Valore %
IMPIANTO FOTOVOLTAICO	276,33	50,29	0,11	0,02	4,01%
IMPIANTO SOLARE TERMICO	210,67	38,34	0,08	0,02	3,06%
GESTIONE SMART BMS	169,37	30,82	0,07	0,01	2,46%
REGOLAZIONE AUTOMATICA LUCE	33,87	6,16	0,01	0,003	0,49%
ACCENSIONE AUTOMATICA LUCE	22,58	4,11	0,01	0,002	0,33%
ILLUMINAZIONE - LED	1.627,71	296,24	0,63	0,14	23,62%
TRASFORMATORI GREEN	45,69	8,32	0,02	0,00	0,66%
FREE COOLING - VENTILAZIONE VARIABILE	142,32	25,90	0,05	0,01	2,06%
GEOTERMIA SANITARIA	95,19	17,32	0,04	0,01	1,38%
GEOTERMIA RISCALDAMENTO	3.491,85	635,52	1,34	0,30	50,66%
GEOTERMIA CONDIZIONAMENTO	643,74	117,16	0,25	0,06	9,34%
VALVOLE VENTILCONVETTORI	47,59	8,66	0,02	0,00	0,69%
POMPE PORTATA VARIABILE	38,08	6,93	0,01	0,00	0,55%
RECUPERATORI DI CALORE	47,59	8,66	0,02	0,00	0,69%
<b>TOTALE</b>	<b>6.892,58</b>	<b>1.254,45</b>	<b>2,65</b>	<b>0,59</b>	<b>100%</b>

Tabella 5.9: Risparmio giornaliero delle sottocategorie

I softwaristi di Schneider Electric stanno lavorando alla grafica della dashboard dinamica che verrà implementata sul sistema BEMS. La dashboard è per ora provvisoria e viene presentata con le seguenti pagine grafiche. La prima pagina mostra il risparmio annuale totale dello stabilimento secondo le unità di misura fornite e i risparmi delle categorie impiantistiche ecosostenibili.

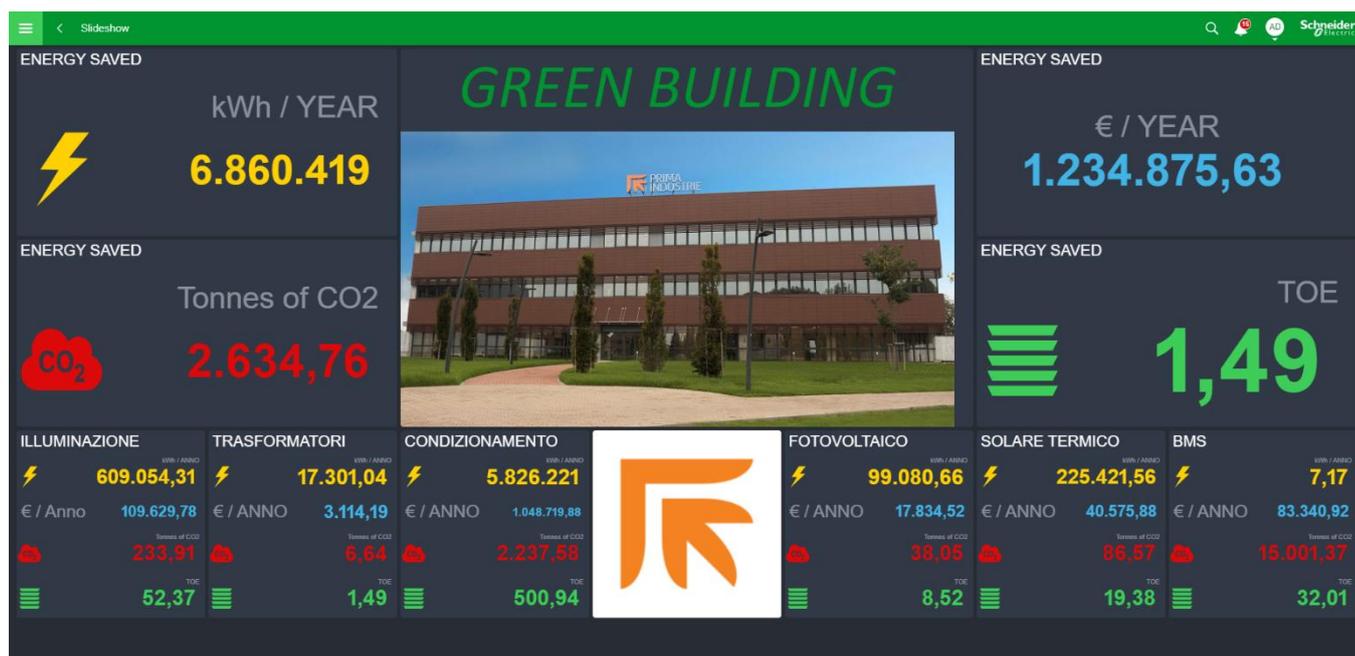


Figura 5.5: Prima pagina grafica della dashboard

La seconda pagina grafica mostra i valori di risparmio energetico delle sottocategorie impiantistiche rispetto a sistemi tradizionali di generazione di energia.



Figura 5.6: Seconda pagina grafica che visualizza i risparmi energetici delle sottocategorie

## 6. Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di analizzare i consumi energetici e risparmi negli impianti termo-idraulici ed elettrici di uno stabilimento produttivo ad alta efficienza energetica.

Come ci si poteva aspettare, i maggiori consumi energetici sono quelli derivanti dall'impianto di climatizzazione. È quindi di fondamentale importanza la scelta di un adeguato impianto al fine di risparmiare un'elevata quantità di kWh/anno, che si traduce in un risparmio in termini di emissioni di gas serra e di conseguenza di risparmio economico. La scelta delle pompe di calore si è rivelata azzeccata in questo senso. Infatti l'edificio tradizionale di Prima Industrie, situato in Corso Francia a Collegno, consuma molto di più rispetto all'edificio attuale.

La rilocalizzazione dell'impresa ha permesso di adottare da zero soluzioni ecosostenibili e innovative per tutte le tipologie impiantistiche installate. L'impiego di trasformatori green e delle lampade a tecnologia LED ha abbassato notevolmente il consumo energetico. L'illuminazione degli uffici è coperta in gran parte dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, che vedrà un ulteriore apporto di energia quando l'impianto di Fase 2 sarà allacciato alla rete. Una nota può essere dedicata all'installazione di ulteriori pannelli: la copertura dello stabilimento produttivo ammonta a circa 10.000 m<sup>2</sup> e potrebbe essere sfruttata in futuro per ampliare il campo fotovoltaico. La copertura di tale stabilimento però presenta un notevole coefficiente di trasmissione della luce, che consente quindi apporti solari interni gratuiti all'officina produttiva. L'installazione di un campo fotovoltaico su tale copertura impedirebbe al flusso solare di attraversare i pannelli in lamiera coibentata. Allo stesso modo anche l'ampliamento dei pannelli solari termici, con 12 nuovi moduli, consentirà di coprire praticamente per intero il fabbisogno di acqua calda sanitaria.

L'innovazione principale consiste nell'impiego e nell'utilizzo del sistema di gestione intelligente dell'energia, il sistema BEMS. Come si è potuto notare, tale sistema è la chiave del risparmio energetico dello stabilimento.

## 7. Bibliografia e sitografia

<https://www.sertec-engineering.com/blog/prima-industrie-headquarters-and-tech-center-fase-1/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Facciata\\_ventilata](https://it.wikipedia.org/wiki/Facciata_ventilata)

<https://www.helion.ch/it/la-pompa-di-calore-acqua-acqua-riscaldare-con-lacqua-di-falda/>

<http://www.risparmiare-energia.com/pompe-di-calore-riscaldamento-e-acqua-sanitaria/>

<http://esercitazioni.depetrinis.altervista.org/wp-content/uploads/2014/05/esempio-di-relazione-tecnica.pdf>

<https://cdn.archilovers.com/projects/5654f279-6251-4a1e-a744-817272f843f5.pdf>

<https://www.primaindustrie.com/it/>

<http://www.allco.it/en/architettura/prod/trasmittanza-termica/trasmittanza-termica/>

[Specifica Smart Building – Schneider Electric](#)

<http://www.thinkactive.eu/sustain/wp-content/uploads/2018/07/APPROFONDIMENTI-IN-ENERGETICA.pdf>

<https://www.penetron.it/>

[https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_it#:~:te](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_it#:~:te)

[http://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2002\\_4\\_11\\_ca](http://www.soc.chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2002_4_11_ca)

[https://www.amiat.it/images/File/Appalti/AVVISI/2010/PA\\_21\\_10/E.RT.pdf](https://www.amiat.it/images/File/Appalti/AVVISI/2010/PA_21_10/E.RT.pdf)

<https://www.se.com/it/it/product-range/63626-powertag/?selected-node-id=21517070574#overview>

[https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=LEESCAB241AI.pdf&p\\_Doc\\_Ref=LEESCAB241AI](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=LEESCAB241AI.pdf&p_Doc_Ref=LEESCAB241AI)

<https://www.se.com/it/it/product-range-presentation/61274-powerlogic-pm3200/?parent-subcategory-id=4115&filter=business-6-distribuzione-elettrica-mt&selected-node-id=12146169265#tabs-top>

[https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/Rapporto317\\_2020.pdf](https://www.isprambiente.gov.it/files2020/pubblicazioni/rapporti/Rapporto317_2020.pdf)

[Bilancio di sostenibilità 2017 – Prima Industrie](#)

[Bilancio di sostenibilità 2019 – Prima Industrie](#)

<https://www.primaadditive.com/it/products/>

A. Capozzoli, slides del corso Energetica dell'Edificio, corso di Laurea in Ingegneria Energetica , A.A. 2015-1016.

A. Gagliardi, "Dimensionamento di un impianto fotovoltaico per un utente residenziale.