

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Energetica

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

## **Analisi e miglioramento delle prestazioni energetiche di un'azienda tessile**



**Relatore**

prof. Salvatore Mancò

**Candidato**

Vito Cammarata

Dicembre 2019

---

## Sommario

---

Il lavoro svolto è finalizzato alla ricerca di soluzioni attuabili per ridurre il consumo energetico dell'azienda tessile Remmert S.p.A. L'azienda è una delle aziende leader nel mercato del nastro tessuto fisso ed elastico in Italia e all'estero, operando in diversi settori: articoli per arredamento e abbigliamento, calzature, pelletterie, articoli medicali e nastri industriali di vario tipo. La produzione del nastro presenta delle fasi a valle dell'acquisizione del filato: la tintura, fase presente solo nel caso si decida di comprare filato greggio e tingerlo in azienda, l'orditura, fase in cui il filato viene trasferito in maniera ordinata su dei subbi che successivamente si posizionano sul telaio, la tessitura, fase principale in cui si produce il nastro tramite l'uso dei telai, e infine il finissaggio, fase in cui il nastro subisce trattamenti per migliorarne le caratteristiche. Vi è un'ulteriore fase che è la tintura del nastro finito, ma limitata solo a particolari nastri, come le cinture di sicurezza.



**REMMERT S.p.A**  
*Tessiamo la passione dal 1874*

L'azienda presenta impianti obsoleti, privi di qualsiasi misuratore. Per tale motivo, durante il lavoro di tesi, l'azienda in questione si è resa disponibile all'acquisto di strumenti di misura necessari al fine di acquisire dati da cui dedurre i consumi e i fabbisogni di energia, termica ed elettrica. Coi dati acquisiti dagli strumenti di misura e con quelli ricavati dai consumi, reperibili dalle fatture e dai dati dei distributori, è stata fatta un'analisi al fine di caratterizzare energeticamente l'azienda. Dopo l'acquisizione dei dati e la loro elaborazione, sono stati pensati dei possibili interventi di riqualificazione energetica.

Il lavoro di tesi si compone di tre parti:

- Analisi energetica ed economica dei consumi.
- Caratterizzazione energetica.
- Analisi ed elaborazione delle misure effettuate.

Nel primo capitolo si riporta un breve quadro delle politiche energetico-ambientali a livello mondiale, europeo e italiano.

Nel secondo capitolo viene presentata l'azienda con la descrizione delle linee produttive, dei principali vettori energetici e del loro utilizzo.

Nel terzo capitolo si effettua l'analisi dei consumi, vengono create le caratterizzazioni energetiche per l'energia elettrica e per il gas naturale e vengono validati i modelli trovati.

Nel quarto capitolo vengono descritti gli strumenti usati, vengono analizzati e spiegati i dati acquisiti e la loro elaborazione ai fini di quantificare l'energia termica richiesta dallo stabilimento per il riscaldamento.

Nel quinto capitolo sono riportate le conclusioni finali e le proposte per migliorare le prestazioni energetiche e di comfort ambientale dell'azienda. Gli interventi proposti sono in linea con le idee e le intenzioni dell'azienda, che, col tempo, vuole puntare a ridurre al minimo i costi per le forniture energetiche e a migliorare il comfort dei suoi dipendenti.

---

## Indice

---

<b>Elenco delle tabelle</b>	VII
<b>Elenco delle figure</b>	VIII
<b>1 Introduzione</b>	1
1.1 Sviluppo sostenibile . . . . .	2
1.1.1 The 17 sustainable development goals . . . . .	3
1.2 Strategie e politiche per una crescita sostenibile . . . . .	6
1.2.1 L'Accordo di Parigi . . . . .	6
1.2.2 L'impegno dell'Unione Europea . . . . .	7
1.2.3 L'Italia . . . . .	9
1.3 Sostenibilità e Industria 4.0 . . . . .	10
<b>2 Remmert S.p.A</b>	12
2.1 Lo stabilimento . . . . .	14
2.2 Processo produttivo . . . . .	15
2.2.1 Reparti . . . . .	16

2.3	Fattori energetici principali . . . . .	35
2.3.1	Energia elettrica . . . . .	37
2.3.2	Energia termica . . . . .	40
2.3.3	Controllo dell'umidità . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Analisi dei consumi</b>	<b>47</b>
3.1	Analisi preliminare . . . . .	47
3.1.1	Energia elettrica . . . . .	48
3.1.2	Gas naturale . . . . .	56
3.1.3	Analisi consumi ultimi anni . . . . .	59
3.1.4	Analisi economica ultimi anni . . . . .	61
3.2	Caratterizzazione energetica . . . . .	65
3.2.1	Energy drivers . . . . .	66
3.2.2	Ricerca di un legame lineare tra consumi ed energy driver . . . . .	66
3.2.3	Energia elettrica . . . . .	69
3.2.4	Gas naturale . . . . .	82
3.2.5	Validazione del modello . . . . .	91
<b>4</b>	<b>Strumenti di misura utilizzati e analisi dei dati</b>	<b>95</b>
4.1	Dataloggers . . . . .	95
4.1.1	Datalogger EL-USB-2 . . . . .	96
4.1.2	Applicazione . . . . .	97
4.1.3	Datalogger EL-USB-TC-LCD . . . . .	98
4.1.4	Applicazione . . . . .	99
4.2	Misuratore di portata a ultrasuoni . . . . .	100
4.2.1	Principio di funzionamento . . . . .	101
4.2.2	Applicazione . . . . .	103
4.3	Analizzatore di rete portatile . . . . .	105
4.3.1	Applicazione . . . . .	106

4.4	Misure effettuate . . . . .	107
4.4.1	Datalogger EL-USB-2 . . . . .	107
4.4.2	Datalogger EL-USB-TC-LCD . . . . .	119
4.4.3	Misuratore di portata a ultrasuoni . . . . .	122
4.4.4	Analizzatore di rete portatile . . . . .	123
4.5	Analisi dati delle centrali termiche . . . . .	130
4.5.1	CT Bono . . . . .	131
4.5.2	CT Seveso . . . . .	137
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>142</b>
5.1	Proposte di miglioramento . . . . .	144
	<b>Bibliografia</b>	<b>147</b>
	<b>Siti Web consultati</b>	<b>148</b>

---

## Elenco delle tabelle

---

3.1	Consumi - riassuntivo ultimi anni . . . . .	59
3.2	Costi - riassuntivo ultimi anni . . . . .	61
4.1	Datalogger di temperatura e umidità - specifiche tecniche . . . . .	96
4.2	Datalogger da termocoppie - specifiche tecniche . . . . .	98
4.3	Misuratore di portata a ultrasuoni - specifiche tecniche . . . . .	101

---

## Elenco delle figure

---

1.1	Sviluppo sostenibile . . . . .	2
1.2	The 17 sustainable development goals . . . . .	3
1.3	Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile . . . . .	9
2.1	Remmert SpA - Logo . . . . .	12
2.2	Martinetto Group - Logo . . . . .	13
2.3	Remmert SpA - Ingresso . . . . .	14
2.4	Remmert SpA - Vista dall'alto . . . . .	15
2.5	Remmert SpA - Processo produttivo . . . . .	16
2.6	Remmert SpA - Reparti . . . . .	17
2.7	Magazzino filati . . . . .	18
2.8	Magazzino filati - albero . . . . .	19
2.9	Reparto orditura - rocche di filato su cantre . . . . .	20
2.10	Reparto orditura - orditoio sezionale . . . . .	20
2.11	Reparto orditura - orditoio sezionale moderno . . . . .	21
2.12	Reparto orditura - subbi . . . . .	21
2.13	Reparto tessitura cinture . . . . .	22
2.14	Reparto tessitura cinture - zoom nastro tessuto . . . . .	23

2.15	Reparto tessitura etichette . . . . .	23
2.16	Reparto tessitura etichette - telaio Jacquard moderno . . . . .	24
2.17	Reparto confezionamento e spedizione . . . . .	25
2.18	Reparto tessitura nastri ed elastici . . . . .	26
2.19	Reparto tessitura nastri ed elastici - telaio . . . . .	26
2.20	Reparto tessitura navette . . . . .	27
2.21	Reparto tessitura navette - cartone forato . . . . .	28
2.22	Reparto tessitura navette - telaio movimentato da cartoni forati . . . . .	28
2.23	Reparto tessitura navette - telaio movimentato digitalmente . . . . .	29
2.24	Reparto tessitura navette - zoom nastro tessuto . . . . .	29
2.25	Reparto tintoria . . . . .	30
2.26	Reparto tintoria - scarico macchina . . . . .	31
2.27	Reparto finissaggio - calandre a vapore . . . . .	32
2.28	Reparto finissaggio - calandre a gas . . . . .	32
2.29	Magazzino semilavorati . . . . .	33
2.30	Reparto tintoria cinture - ingresso macchina . . . . .	34
2.31	Reparto tintoria cinture - uscita macchina . . . . .	35
2.32	Remmert SpA - Ubicazione centrali termiche e cabina elettrica . . . . .	36
2.33	Trasformatore - Dati targa . . . . .	37
2.34	Cabina elettrica . . . . .	38
2.35	Inverter FV . . . . .	39
2.36	CT Bono . . . . .	41
2.37	CT Bono - Pompe di mandata . . . . .	42
2.38	CT Bono - dati targa . . . . .	42
2.39	CT Seveso . . . . .	43
2.40	CT Seveso - Pompe di mandata . . . . .	44
2.41	CT GV - GV 1.047 kW . . . . .	45
2.42	CT GV - GV 698 kW . . . . .	45

2.43	Sistema di umidificazione . . . . .	46
3.1	Energia elettrica - consumo annuale per fasce . . . . .	48
3.2	Energia elettrica - consumo mensile . . . . .	49
3.3	Energia elettrica - Carpet plot consumo 2017-oggi . . . . .	50
3.4	Energia elettrica - Carpet plot consumo 2018 . . . . .	51
3.5	Energia elettrica - Consumo settimana giugno 2018 . . . . .	52
3.6	Energia elettrica - Consumo settimana dicembre 2018 . . . . .	53
3.7	Energia elettrica - Consumo reparto orditura 3 turni . . . . .	53
3.8	Energia elettrica - Carpet plot consumo 2019 . . . . .	54
3.9	Energia elettrica - Consumo settimana giugno 2019 . . . . .	55
3.10	Energia elettrica - Consumo settimana ottobre 2019 . . . . .	55
3.11	Gas - consumo mensile . . . . .	56
3.12	Gas - consumo giornaliero . . . . .	57
3.13	Gas - consumo nel mese di giugno 2018 . . . . .	58
3.14	Gas - consumo nel mese di dicembre 2018 . . . . .	58
3.15	Consumi 2016 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	59
3.16	Consumi 2017 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	60
3.17	Consumi 2018 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	60
3.18	Costi 2016 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	62
3.19	Costi 2017 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	62
3.20	Costi 2018 - ripartizione fonti energetiche . . . . .	63
3.21	Andamento PUN e PSV (fonte: GME) . . . . .	64
3.22	Correlazione tra energia elettrica e temperatura media esterna . . . . .	69
3.23	Correlazione tra energia elettrica e radiazione solare . . . . .	70
3.24	Correlazione tra energia elettrica e umidità media esterna . . . . .	70
3.25	Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali . . . . .	71
3.26	Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate . . . . .	71
3.27	Analisi regressione con variabile: ore lavorate . . . . .	72

3.28	Andamento regressione con variabile: ore lavorate . . . . .	72
3.29	Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali per i giorni festivi	73
3.30	Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate per i giorni festivi . . . .	74
3.31	Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali per i giorni feriali	74
3.32	Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate per i giorni feriali . . . .	75
3.33	Analisi regressione bi-variabile giorni feriali . . . . .	76
3.34	Andamento regressione bi-variabile . . . . .	77
3.35	Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali su base settimanale	78
3.36	Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate su base settimanale . . . .	78
3.37	Analisi regressione bi-variabile su base settimanale . . . . .	79
3.38	Andamento regressione bi-variabile su base settimanale . . . . .	79
3.39	Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali su base mensile	80
3.40	Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate su base mensile . . . . .	80
3.41	Analisi regressione bi-variabile su base mensile . . . . .	81
3.42	Andamento regressione bi-variabile su base mensile . . . . .	81
3.43	Correlazione tra gas naturale e temperatura media esterna . . . . .	82
3.44	Correlazione tra gas naturale e radiazione solare . . . . .	83
3.45	Correlazione tra gas naturale e umidità media esterna . . . . .	83
3.46	Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali . . . . .	84
3.47	Correlazione tra gas naturale e ore lavorate . . . . .	84
3.48	Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali con $k_s$ e $k_d$ . . . .	86
3.49	Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali su base settimanale	87
3.50	Analisi regressione mono-variabile su base settimanale . . . . .	87
3.51	Andamento regressione bi-variabile su base settimanale . . . . .	88
3.52	Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali su base mensile .	89
3.53	Analisi regressione mono-variabile su base mensile . . . . .	89
3.54	Andamento regressione bi-variabile su base mensile . . . . .	90
3.55	Validazione modello consumi elettrici con dati 2018-2019 . . . . .	91

3.56	Validazione modello consumi di gas naturale con dati 2018-2019 . . . . .	91
3.57	CUSUM tabulare - gas naturale . . . . .	93
3.58	CUSUM tabulare - energia elettrica . . . . .	94
4.1	Datalogger di temperatura e umidità . . . . .	96
4.2	Applicazione datalogger di temperatura e umidità . . . . .	97
4.3	Applicazione datalogger di temperatura e umidità . . . . .	97
4.4	Datalogger da termocoppie . . . . .	98
4.5	Termocoppie Type T . . . . .	99
4.6	Applicazione datalogger di temperatura e umidità . . . . .	99
4.7	Misuratore di portata a ultrasuoni - set strumenti . . . . .	100
4.8	Misuratore di portata a ultrasuoni . . . . .	101
4.9	Misuratore di portata a ultrasuoni - schema . . . . .	102
4.10	Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni . . . . .	103
4.11	Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni - tubo mandata CT Bono	104
4.12	Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni - tubo ritorno CT Seveso	104
4.13	Analizzatore di rete portatile . . . . .	105
4.14	Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni . . . . .	106
4.15	Ambiente esterno - temperatura misurata . . . . .	107
4.16	Magazzino filati - temperatura misurata . . . . .	108
4.17	Reparto tessitura cinture - temperatura misurata . . . . .	108
4.18	Reparto tessitura etichette - temperatura misurata . . . . .	109
4.19	Reparto orditura - temperatura misurata . . . . .	109
4.20	Reparto tessitura navette - temperatura misurata . . . . .	110
4.21	Uffici - temperatura misurata . . . . .	110
4.22	Reparto imballaggio e spedizione - temperatura misurata . . . . .	111
4.23	Reparto tessitura nastri ed elastici - temperatura misurata . . . . .	111
4.24	Reparto tintoria cinture - temperatura misurata . . . . .	112
4.25	Reparto tintoria e finissaggio - temperatura misurata . . . . .	112

4.26	Ambiente esterno - umidità misurata . . . . .	113
4.27	Magazzino filati - umidità misurata . . . . .	114
4.28	Reparto tessitura cinture - umidità misurata . . . . .	114
4.29	Reparto tessitura etichette - umidità misurata . . . . .	115
4.30	Reparto orditura - umidità misurata . . . . .	115
4.31	Reparto tessitura navette - umidità misurata . . . . .	116
4.32	Uffici - umidità misurata . . . . .	116
4.33	Reparto imballaggio e spedizione - umidità misurata . . . . .	117
4.34	Reparto tessitura nastri ed elastici - umidità misurata . . . . .	117
4.35	Reparto tintoria cinture - umidità misurata . . . . .	118
4.36	Reparto tintoria e finissaggio - umidità misurata . . . . .	118
4.37	CT Bono - temperatura di mandata . . . . .	119
4.38	CT Bono - temperatura di ritorno . . . . .	119
4.39	CT Seveso - temperatura di mandata . . . . .	120
4.40	CT Seveso - temperatura di ritorno . . . . .	120
4.41	CT Bono - Delta T . . . . .	121
4.42	CT Seveso - Delta T . . . . .	121
4.43	CT Bono - portata . . . . .	122
4.44	CT Seveso - portata . . . . .	123
4.45	Reparto tessitura nastri ed elastici - Potenza elettrica . . . . .	124
4.46	Reparto tessitura nastri ed elastici - Potenza elettrica giornaliera . . . . .	124
4.47	Reparto tintoria e finissaggio - Potenza elettrica . . . . .	125
4.48	Reparto tintoria e finissaggio - Potenza elettrica giornaliera . . . . .	125
4.49	Diagramma vettoriale delle correnti in un circuito . . . . .	127
4.50	Rappresentazione grafica delle relazioni che legano correnti e potenze in un circuito . . . . .	128
4.51	Reparto tessitura nastri ed elastici - fattore di potenza . . . . .	129
4.52	Reparto tintoria e finissaggio - fattore di potenza . . . . .	129

4.53	CT Bono - andamento portata e delta T . . . . .	131
4.54	CT Bono - andamento potenza . . . . .	131
4.55	CT Bono - correlazione tra potenza e delta T . . . . .	132
4.56	CT Bono - correlazione tra potenza e gradi giorno . . . . .	132
4.57	CT Bono - correlazione tra energia e gradi ora . . . . .	133
4.58	CT Bono - andamento potenza con portata costante . . . . .	133
4.59	CT Bono - andamento potenza periodo 1 . . . . .	134
4.60	CT Bono - andamento potenza periodo 2 . . . . .	134
4.61	CT Bono - andamento potenza periodo 3 . . . . .	134
4.62	CT Bono - firma energetica . . . . .	136
4.63	CT Bono - caratteristica energetica . . . . .	136
4.64	CT Seveso - andamento portata e delta T . . . . .	137
4.65	CT Seveso - andamento potenza . . . . .	137
4.66	CT Seveso - correlazione tra potenza e delta T . . . . .	138
4.67	CT Seveso - correlazione tra potenza e delta T filtrato . . . . .	138
4.68	CT Seveso - correlazione tra potenza e gradi giorno . . . . .	139
4.69	CT Seveso - correlazione tra energia e gradi ora . . . . .	139
4.70	CT Seveso - andamento potenza con portata costante . . . . .	140
4.71	CT Seveso - andamento potenza periodo 1 . . . . .	140
4.72	CT Seveso - andamento potenza periodo 2 . . . . .	140
4.73	CT Seveso - firma energetica . . . . .	141
4.74	CT Seveso - caratteristica energetica . . . . .	141

# CAPITOLO 1

---

## Introduzione

---

Lo scopo del lavoro effettuato è presentare le possibilità di miglioramento delle prestazioni energetiche e ambientali di un'azienda del settore tessile, partendo dall'analisi dei consumi, passando dai dati misurati e dalla loro elaborazione, per approdare all'identificazione dei possibili interventi di riqualificazione energetica.

La tesi si inserisce all'interno del contesto della gestione dei sistemi energetici definito nella norma ISO 50001 "Sistemi di gestione dell'energia – Requisiti e linee guida per l'uso", che richiede di osservare e comprendere i consumi di un determinato sistema per ottimizzarli e di conseguenza ridurli il più possibile. L'attenzione nei confronti del consumo è diventata oggi fondamentale: non solo per aver maggior competitività sul mercato, ma anche perché a livello mondiale è sempre più richiesto alle aziende di impegnarsi in ambito ambientale e sociale.

L'azienda presso cui ho effettuato il lavoro di tesi è la Remmert S.p.A., azienda tessile appartenente a Martinetto Group, sita in San Maurizio Canavese (TO), fortemente orientata verso la ricerca, lo sviluppo, la produzione e il commercio di nastri tessuto.

Martinetto Group con quasi 20 milioni di euro di fatturato rappresenta la più grossa realtà italiana nel campo del nastro tessuto, spaziando dalla produzione di garze medicali, alle imbragature di sollevamento per grossi carichi, fino ai nastri per adornare i capi delle griffe più prestigiose.

## 1.1 Sviluppo sostenibile

Ci sono tante definizioni di "Sostenibilità" e di "Sviluppo Sostenibile", ma sicuramente la più famosa è quella del Rapporto Bruntland, documento pubblicato nel 1987 dalla World Commission on Environment and Development (WCED):

*"Lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future"*

In tale definizione, come si può vedere, non si parla propriamente dell'ambiente in quanto tale, quanto più ci si riferisce al benessere delle persone, e quindi anche alla qualità ambientale. Con il passare del tempo, dunque, il concetto si è evoluto e, partendo da una visione centrata preminentemente sugli aspetti ecologici, ha assunto un significato più generale. Nel 2002, il World Summit on Sustainable Development (WSSD) di Johannesburg ha ampliato il concetto di Sviluppo Sostenibile come integrazione di tre dimensioni, strettamente collegate tra loro.



Figura 1.1: Sviluppo sostenibile

Attualmente la sostenibilità racchiude in sé l'idea di un benessere ambientale, sociale ed economico preferibilmente crescente, con la prospettiva di lasciare ai posteri una qualità della vita non inferiore a quella attuale.

### 1.1.1 The 17 sustainable development goals

Il 25 Settembre 2015 l'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU), con l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, ha fornito un programma d'azioni, costituito da 17 macro-aree, per rendere il mondo più sostenibile entro il 2030.



Figura 1.2: The 17 sustainable development goals

Gli obiettivi sono volti a diminuire la fame nel mondo, distribuire meglio le risorse idriche, far uscire i paesi sottosviluppati dalla povertà e ridurre la mortalità infantile. Si intende inoltre incrementare l'uso di energie rinnovabili e la realizzazione di strutture resistenti ai cambiamenti climatici, oltre a migliorare l'educazione, diminuire le disuguaglianze di genere e far fronte al riscaldamento globale.

Vengono elencati di seguito gli obiettivi che più interessano il settore energetico, sia direttamente che indirettamente.

**7: Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni.**

L'energia è un elemento centrale per quasi tutte le sfide e le opportunità più importanti che il mondo si trova oggi ad affrontare. Che sia per lavoro, sicurezza, cambiamento climatico, produzione alimentare o aumento dei redditi, l'accesso all'energia è essenziale. *"L'energia sostenibile è un'opportunità - trasforma la vita, l'economia e il pianeta."*

**9: Costruire un'infrastruttura resiliente e promuovere l'innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile.**

Gli investimenti in infrastrutture – trasporti, irrigazione, energia e tecnologie dell'informazione e della comunicazione – sono cruciali per realizzare lo sviluppo sostenibile e per rafforzare le capacità delle comunità in molti paesi. Si riconosce ormai da tempo che la crescita della produttività e dei redditi, così come migliori risultati nella sanità e nell'istruzione, richiedono investimenti nelle infrastrutture. Lo sviluppo industriale inclusivo e sostenibile è la prima fonte di generazione di reddito; esso permette un aumento rapido e sostenuto del tenore di vita delle persone e fornisce soluzioni tecnologiche per un'industrializzazione che rispetti l'ambiente. Il progresso tecnologico è alla base degli sforzi per raggiungere obiettivi legati all'ambiente, come l'aumento delle risorse e l'efficienza energetica. Senza tecnologia e innovazione, non vi sarà industrializzazione, e senza industrializzazione non vi sarà sviluppo.

**12: Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo.**

Per consumo e produzione sostenibili si intende la promozione dell'efficienza delle risorse e dell'energia, di infrastrutture sostenibili, così come la garanzia dell'accesso ai servizi di base, a lavori dignitosi e rispettosi dell'ambiente e a una migliore

qualità di vita per tutti. La sua attuazione contribuisce alla realizzazione dei piani di sviluppo complessivi, alla riduzione dei futuri costi economici, ambientali e sociali, al miglioramento della competitività economica e alla riduzione della povertà. Il consumo e la produzione sostenibile puntano a "fare di più e meglio con meno", aumentando i benefici in termini di benessere tratti dalle attività economiche, attraverso la riduzione dell'impiego di risorse, del degrado e dell'inquinamento nell'intero ciclo produttivo, migliorando così la qualità della vita. Ciò coinvolge stakeholder differenti, tra cui imprese, consumatori, decisori politici, ricercatori, scienziati, rivenditori, mezzi di comunicazione e agenzie di cooperazione allo sviluppo. È necessario, per questo, un approccio sistematico e cooperativo tra soggetti attivi nelle filiere, dal produttore fino al consumatore. Ciò richiede inoltre di coinvolgere i consumatori in iniziative di sensibilizzazione al consumo e a stili di vita sostenibili, offrendo loro adeguate informazioni su standard ed etichette, e coinvolgendoli, tra le altre cose, nell'approvvigionamento pubblico sostenibile.

### **13: Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico.**

Il cambiamento climatico interessa i paesi di tutti i continenti. Esso sta sconvolgendo le economie nazionali, con costi alti per persone, comunità e paesi oggi, e che saranno ancora più gravi un domani. Le persone stanno sperimentando gli impatti significativi del cambiamento climatico, quali ad esempio il mutamento delle condizioni meteorologiche, l'innalzamento del livello del mare e altri fenomeni meteorologici ancora più estremi. Le emissioni di gas a effetto serra, derivanti dalle attività umane, sono la forza trainante del cambiamento climatico e continuano ad aumentare. Attualmente sono al loro livello più alto nella storia. Se non si prendono provvedimenti, si prevede che la temperatura media della superficie terrestre aumenterà nel corso del XXI secolo e probabilmente aumenterà di 3°C in questo secolo. Attualmente ci sono soluzioni accessibili e flessibili per permettere ai paesi di diventare economie più pulite e resistenti. Il ritmo del cambiamento sta accelerando dato che sempre più persone utilizzano energie rinnovabili e mettono

in pratica tutta una serie di misure che riducono le emissioni e aumentano gli sforzi di adattamento. Attualmente, l'energia rappresenta il principale responsabile del cambiamento climatico con circa il 60% delle emissioni di gas serra globali.

## 1.2 Strategie e politiche per una crescita sostenibile

### 1.2.1 L'Accordo di Parigi

L'Accordo di Parigi è un accordo tra gli stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), riguardo la riduzione di emissione di gas serra, e la finanza, a partire dall'anno 2020. Il contenuto dell'accordo è stato negoziato dai rappresentanti di 196 stati alla XXI Conferenza delle Parti dell'UNFCCC in Francia e sottoscritto il 12 dicembre 2015. A novembre 2018, 195 membri dell'UNFCCC hanno firmato l'accordo e 184 hanno deciso di farne parte.

L'obiettivo di lungo periodo dell'Accordo di Parigi è quello di contenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto della soglia di 2 °C oltre i livelli pre-industriali, e di limitare tale incremento a 1,5 °C, poiché questo ridurrebbe sostanzialmente i rischi e gli effetti dei cambiamenti climatici. Di seguito alcuni degli elementi chiave concordati dai governi:

- **Mitigazione.** Mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli pre-industriali come obiettivo a lungo termine. Puntare a limitare l'aumento a 1,5°C, dato che ciò ridurrebbe in misura significativa i rischi e gli impatti dei cambiamenti climatici. Fare in modo che le emissioni globali raggiungano il livello massimo al più presto possibile, pur riconoscendo che per i paesi in via di sviluppo occorrerà più tempo.
- **Trasparenza.** Riunirsi ogni cinque anni per stabilire obiettivi più ambiziosi in base alle conoscenze scientifiche. Riferire agli altri Stati membri e all'opinione pubblica cosa si sta facendo per raggiungere gli obiettivi fissati. Segnalare i progressi compiuti

verso l'obiettivo a lungo termine attraverso un solido sistema basato sulla trasparenza e la responsabilità.

- **Adattamento.** Rafforzare la capacità delle società di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici. Fornire ai paesi in via di sviluppo un sostegno internazionale continuo e più consistente all'adattamento.
- L'accordo riconosce il ruolo dei soggetti interessati che non sono parti dell'accordo nell'affrontare i cambiamenti climatici, comprese le città, altri enti a livello sub-nazionale, la società civile, il settore privato e altri ancora. Essi sono invitati a:
  - intensificare i loro sforzi e sostenere le iniziative volte a ridurre le emissioni;
  - ridurre la vulnerabilità agli effetti negativi dei cambiamenti climatici.

## **1.2.2 L'impegno dell'Unione Europea**

L'Unione Europea (UE) vanta una salda posizione di partenza quando si tratta di sviluppo sostenibile ed è anche fortemente impegnata, insieme ai suoi paesi membri, ad assumere il ruolo di apripista nell'attuazione dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite. L'UE ha fissato i suoi obiettivi per ridurre progressivamente le emissioni di gas a effetto serra fino al 2050. Gli obiettivi fondamentali in materia di clima e di energia sono stabiliti nel:

- Pacchetto per il clima e l'energia 2020.
- Quadro per le politiche dell'energia e del clima 2030

### **Pacchetto per il clima e l'energia 2020**

Il pacchetto 2020 è una serie di norme vincolanti volte a garantire che l'UE raggiunga i suoi obiettivi in materia di clima ed energia entro il 2020. Il pacchetto definisce tre obiettivi principali:

- taglio del 20% delle emissioni di gas a effetto serra (rispetto ai livelli del 1990);
- 20% del fabbisogno energetico ricavato da fonti rinnovabili;
- miglioramento del 20% dell'efficienza energetica.

### **Quadro 2030 per il clima e l'energia**

Il quadro 2030 per il clima e l'energia comprende obiettivi politici a livello dell'UE per il periodo dal 2021 al 2030. I principali sono:

- ridurre le emissioni di gas a effetto serra prodotte in tutti i settori economici di almeno il 40%, rispetto ai livelli del 1990;
- una quota almeno del 32% di energia rinnovabile;
- un miglioramento almeno del 32,5% dell'efficienza energetica.

Il quadro è stato adottato dal Consiglio europeo nell'ottobre 2014. Gli obiettivi in materia di energie rinnovabili e di efficienza energetica sono stati rivisti al rialzo nel 2018.

### **Strategia a lungo termine per il 2050**

Il 28 novembre 2018 l'UE ha presentato la sua visione strategica a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra entro il 2050.

La strategia evidenzia come l'Europa possa avere un ruolo guida per conseguire un impatto climatico zero, investendo in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e armonizzando gli interventi in settori fondamentali, quali la politica industriale, la finanza o la ricerca - garantendo nel contempo equità sociale per una transizione giusta.

Facendo seguito agli inviti formulati dal Parlamento europeo e dal Consiglio europeo, la visione della Commissione per un futuro a impatto climatico zero interessa quasi tutte le politiche dell'UE ed è in linea con l'obiettivo dell'accordo di Parigi di mantenere l'aumento della temperatura mondiale ben al di sotto i 2°C e di proseguire gli sforzi per mantenere tale valore a 1,5°C.

### 1.2.3 L'Italia

L'Italia si è attrezzata per mettersi in linea con l'Europa, ideando la Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile (SNSvS) dell'ottobre 2017, per declinare gli obiettivi strategici dell'Agenda 2030.



Figura 1.3: Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile

Da un punto di vista energetico, il mezzo usato dall'Italia è la Strategia Energetica Nazionale (SEN), che è lo strumento per promuovere un'industrializzazione inclusiva e sostenibile e, a seguito della modifica della Direttiva dell'UE 95/2014, incoraggia le imprese a adottare pratiche sostenibili e a integrare le informazioni sulla sostenibilità nei loro resoconti annuali. In questo contesto, le certificazioni ISO 14001 e ISO 50001 potranno diventare un elemento cruciale, in quanto indicatori scelti per valutare il grado di sostenibilità delle aziende. La SEN si può riassumere in 3 punti:

- **Phase Out.** L'obiettivo è la chiusura degli impianti termoelettrici a carbone entro il 2025. La SEN prevede un'accelerazione nella decarbonizzazione del sistema

energetico, cominciando con l'uso del carbone per intervenire poi gradualmente su tutto il settore, al fine di conseguire i vantaggi ambientali e sanitari e contribuire al raggiungimento degli obiettivi europei di riduzione delle emissioni climalteranti.

- **Fonti rinnovabili.** Ad oggi l'Italia ha già raggiunto gli obiettivi firmati in sede europea per il 2020, con una penetrazione del 17,5% sui consumi complessivi rispetto a un target al 2020 del 17%. L'obiettivo da raggiungere entro il 2030, ambizioso ma perseguibile, è del 28% di rinnovabili sui consumi complessivi.
- **Efficienza Energetica.** L'obiettivo della SEN è di favorire le iniziative che presentano il miglior rapporto costi/benefici al fine di raggiungere nel 2030 il 30% di risparmio rispetto alla previsione. Tutti i settori sono coinvolti nel processo di efficientamento.

### 1.3 Sostenibilità e Industria 4.0

Nello scenario industriale moderno, il tema della sostenibilità ricopre un ruolo fondamentale. Fin dagli anni '80 il tema della sostenibilità ambientale ha costituito una delle maggiori sfide per le industrie italiane, aprendo nuovi scenari e creando molteplici possibilità di sviluppo. Nel corso degli ultimi trent'anni, la necessità di ottemperare all'introduzione di regole e prescrizioni ha contribuito a cambiare notevolmente il settore, da una parte creando nuove opportunità e profili professionali e dall'altra avvicinando sempre di più il settore industriale al tema della sostenibilità.

Nell'era dell'*Internet of Things*, tutto ciò si rende possibile e attuabile: la sensorizzazione dei processi produttivi favorirà non solo la sostenibilità ambientale e l'efficienza energetica, ma consentirà anche il monitoraggio dell'operatore, promuovendo così anche la sostenibilità sociale.

Si definisce così l'Industria 4.0, un'evoluzione dirompente del "modo di produrre", che non ha confini settoriali o dimensionali e non è riconducibile a macchinari e impianti, ma è la combinazione di diverse tecnologie digitali, grazie alle quali si creano

interconnessioni, si rafforzano le filiere produttive e si trasformano i macchinari e gli impianti in "beni 4.0". Non si tratta, quindi, di un'unica tecnologia, ma un insieme di tecnologie che sono state indicate in modo puntuale nel *Piano nazionale Industria 4.0*, adottato dal governo italiano nel 2016, e che delimitano l'ambito di applicazione delle misure introdotte a supporto della trasformazione digitale delle imprese.

Si ha la possibilità di elevare i livelli di efficienza e sostenibilità delle imprese. Del resto, le nuove tecnologie e l'innovazione nascono e si sviluppano per dare risposte alle nuove sfide e ai bisogni emergenti della società. Si pensi, in particolare, all'utilizzo delle risorse energetiche: disporre ed elaborare in tempo reale dati che indicano il fabbisogno di energia, si traduce in una ottimizzazione dei consumi energetici e dell'uso delle materie prime e, quindi, delle emissioni, con una conseguente riduzione dell'impatto ambientale. Industria 4.0 ed efficienza energetica nelle imprese possono essere un binomio virtuoso verso la competitività. Hanno entrambe degli obiettivi comuni: l'innovazione e la trasformazione tecnologica delle aziende. In più, le tecnologie digitali e Hi-Tech generano risparmi energetici impliciti, in tutte le fasi della catena del valore. Una fabbrica sempre più connessa e automatizzata ha bisogno di essere alimentata da sistemi energetici che siano altrettanto all'avanguardia. Per questo, la Digital Transformation può fare da traino anche all'evoluzione energetica, innescando meccanismi virtuosi.

Si tratta di un approccio del tutto innovativo, sostanzialmente fondato sulla conoscenza e sulla disponibilità di informazioni che diventano a tutti gli effetti un "bene strumentale" per poter produrre in modo efficiente e per poter rispondere più efficacemente alla domanda della clientela.

## CAPITOLO 2

---

### Remmert S.p.A

---

La Remmert S.p.A è un'azienda tessile, sita in San Maurizio Canavese (TO). Viene fondata nel 1874 da Domenico Valle e Andrea Remmert e viene successivamente acquistata dalla Famiglia Martinetto che ancora oggi ne detiene la proprietà. È una delle aziende leader nel mercato del nastro tessuto fisso ed elastico in Italia e all'estero, operando in diversi settori: articoli per arredamento e abbigliamento, calzature, pelletterie, articoli medicali e nastri industriali di vario tipo.



Figura 2.1: Remmert SpA - Logo

Appartiene a Martinetto Group del quale fanno parte anche le seguenti aziende: Filmar, Mabel, PMA e Nastrificio Veneto. Martinetto Group con quasi 20 milioni di euro di fatturato rappresenta la più grossa realtà italiana nel campo del nastro tessuto, spaziando

dalla produzione di garze medicali alle imbragature di sollevamento per grossi carichi ai nastri per adornare i capi delle griffe più prestigiose.



Figura 2.2: Martinetto Group - Logo

Nel corso degli ormai 140 anni di storia, tutta Made in Italy, la Remmert ha creduto nella realizzazione di prodotti di estrema qualità, curati nei minimi dettagli, soddisfacendo le richieste dei suoi clienti. La qualità dei prodotti della Remmert è riconosciuta presso gli specialisti del settore. Dispone, infatti, di sistemi di gestione qualità ed è certificata dalla norma UNI EN ISO 9001:2008.

Oltre al sistema gestione ambientale (certificazione ISO 14001) e sistema della sicurezza (certificazione OHSAS 18001), l'azienda non ha ancora adottato un sistema di gestione specifico per l'energia (certificazione ISO 50001) né ha formalizzato una politica per la gestione dell'energia. Sono stati però già realizzati diversi interventi e strategie organizzative volte al risparmio energetico, in quanto ha in programma di ottenere la certificazione al più presto.

Non sono installati misuratori in grado di monitorare i consumi e la produzione, nemmeno nei reparti maggiormente produttivi ed energivori. Per tale motivo, per lo svolgimento del lavoro di tesi è stato richiesto l'acquisto di strumenti di misura descritti nei capitoli successivi.

## 2.1 Lo stabilimento

Lo stabilimento fa parte di un complesso industriale sito a San Maurizio Canavese (TO). Il comprensorio si sviluppa su una superficie di circa 14.000 mq. ed è composto da una serie di fabbricati che possono essere così elencati:

A Fabbricato principale sup. mq. 3.500 circa.

B Fabbricati 2<sup>a</sup> fila sup. mq. 5.000 circa.

C Fabbricato Tintoria sup. mq. 3.000 circa.



Figura 2.3: Remmert SpA - Ingresso

L'immagine seguente è stata ricavata dal software Google Earth. Alcuni degli spazi del complesso industriale sono occupate da altre attività manifatturiere.

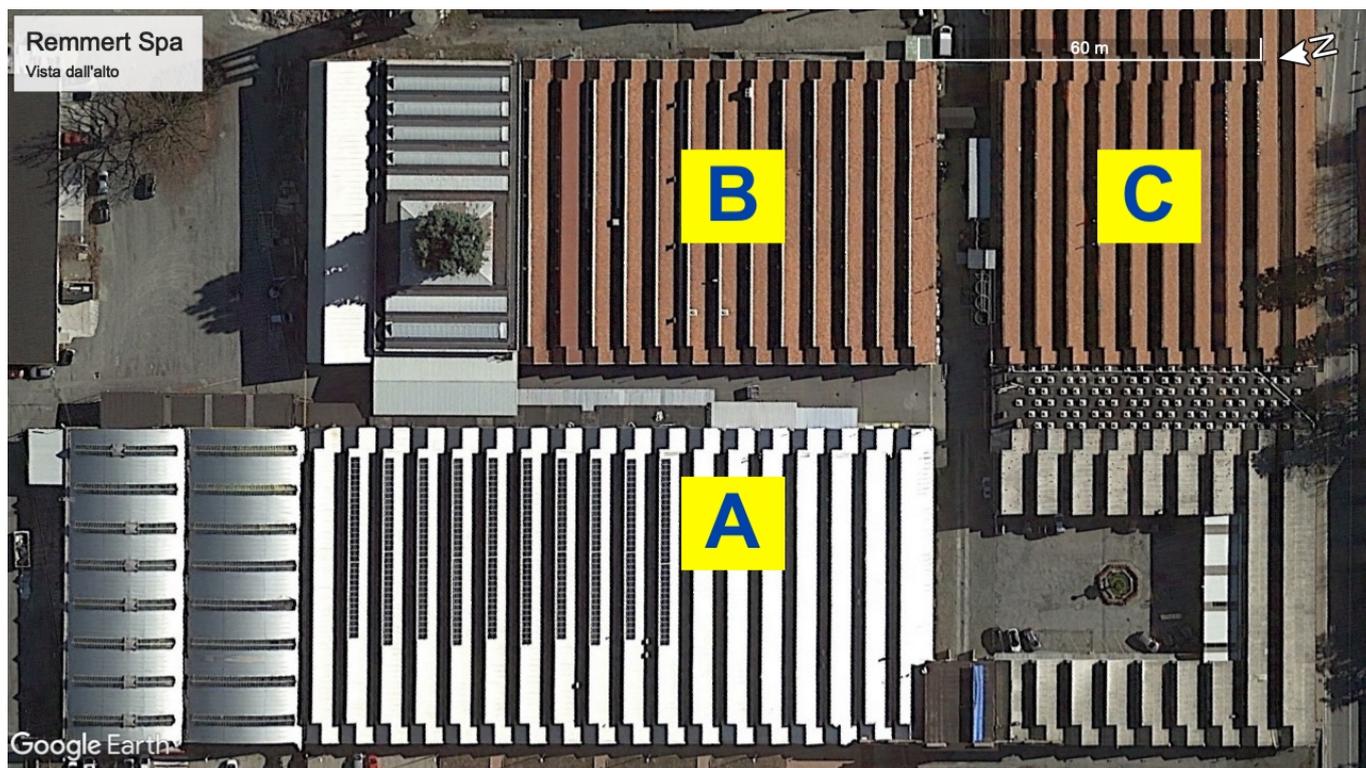


Figura 2.4: Remmert SpA - Vista dall'alto

## 2.2 Processo produttivo

Il ciclo produttivo prevede come prima fase operativa il ricevimento del materiale, generalmente filato su rocche. Avvenuto ciò, la produzione del nastro presenta le seguenti fasi: l'orditura, fase in cui il filato viene trasferito in maniera ordinata su dei subbi che successivamente si posizionano sul telaio; la tessitura, fase principale in cui si produce il nastro tramite l'uso dei telai; il finissaggio, fase in cui il nastro subisce trattamenti per migliorarne le caratteristiche. Vi è un'ulteriore fase che è la tintura del nastro finito, ma limitata solo a particolari nastri, come le cinture di sicurezza. Infine, vi è il confezionamento e la spedizione.

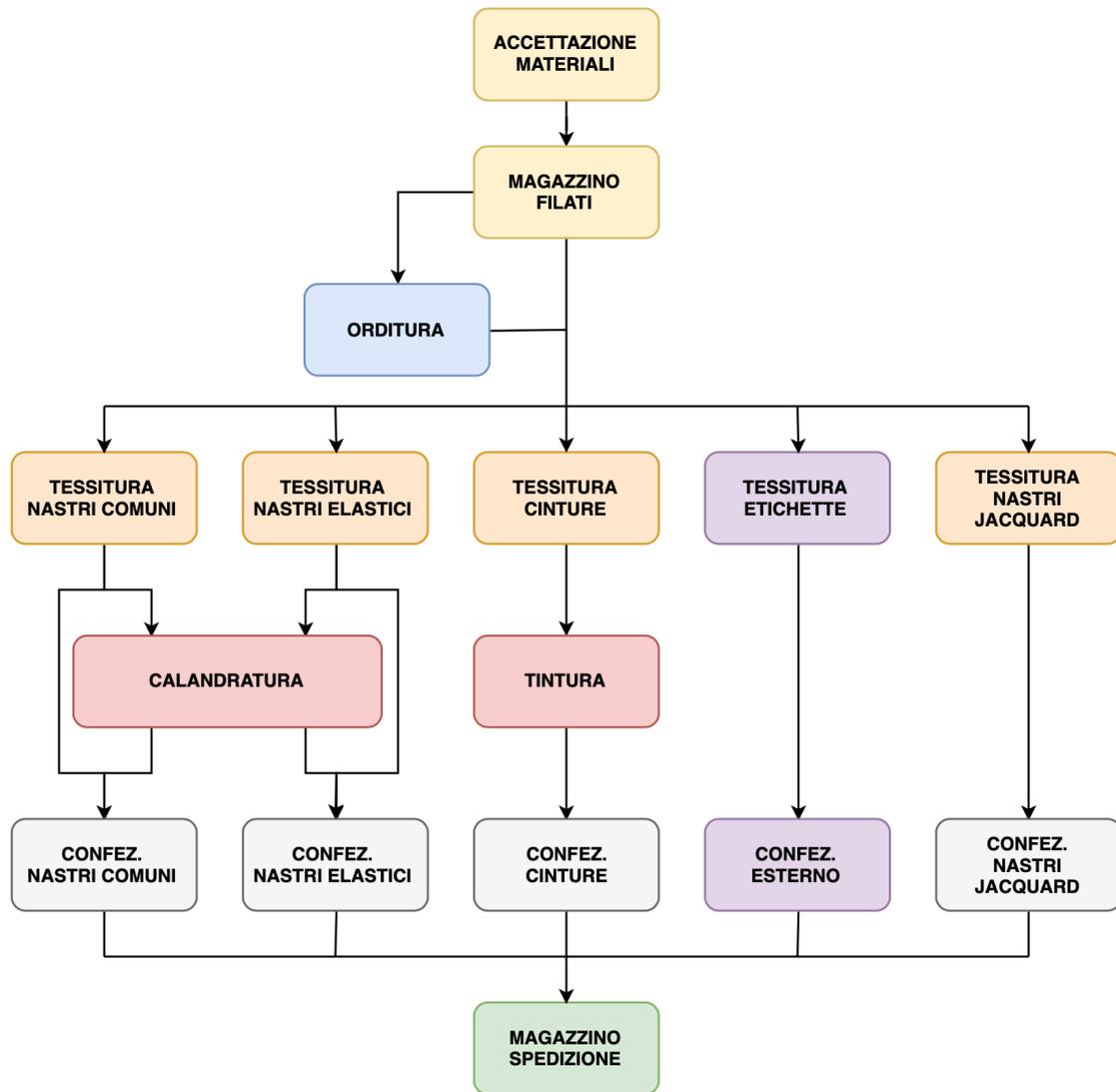


Figura 2.5: Remmert SpA - Processo produttivo

## 2.2.1 Reparti

La Remmert è divisa in 9 reparti, a seconda della lavorazione del filato e/o del nastro. Rispetto alla Figura 2.4, la Figura 2.6 è ruotata di 90°.



### [A1] Magazzino filati

Il magazzino filati contiene tutto il filato in ingresso, che, dopo essere stato scaricato ed essere stato sottoposto ai controlli previsti dal Sistema Qualità, se deliberato, viene stoccato nelle apposite aree dedicate.

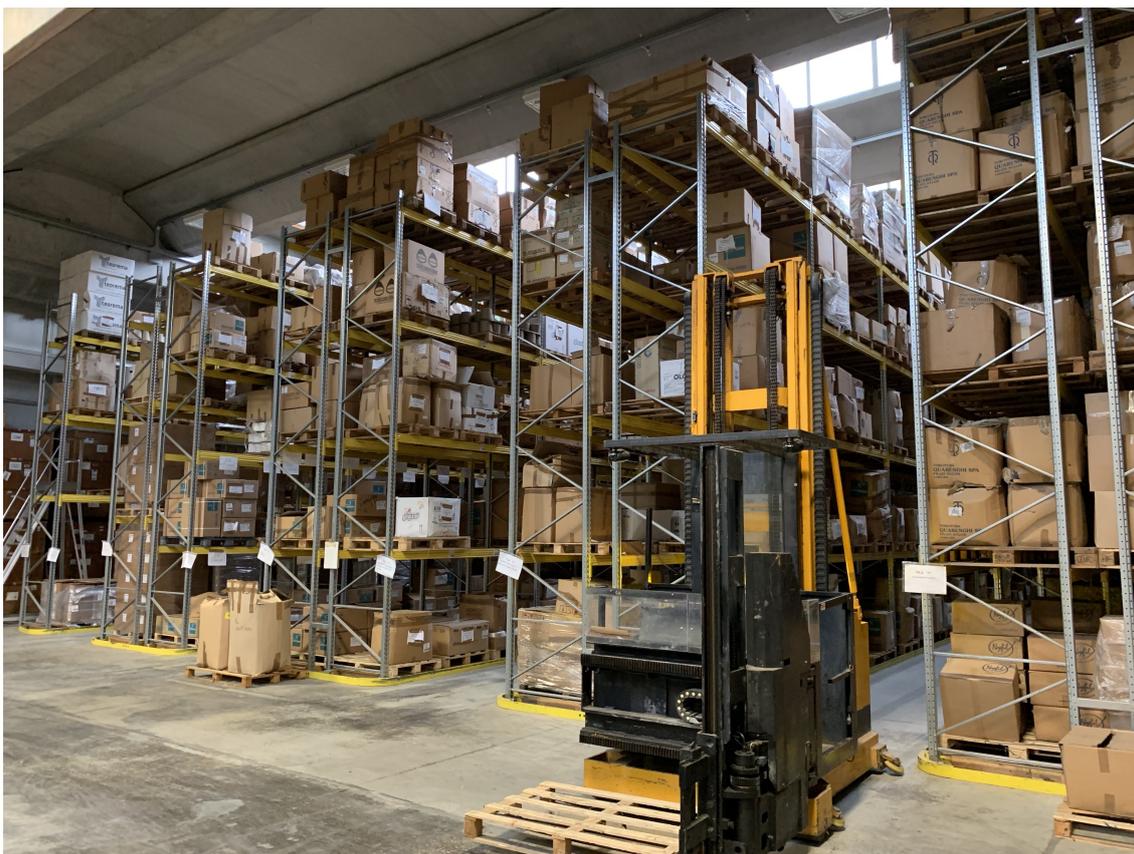


Figura 2.7: Magazzino filati

Caratteristico del magazzino filati è il grosso albero, visibile in Figura 2.8, attorno al quale è stato costruito il magazzino stesso, che vuole trasmettere tutte le attenzioni che l'azienda ha nei confronti dell'ambiente.



Figura 2.8: Magazzino filati - albero

## **[A2] Orditura**

In questo reparto, sono previste 6 fasi:

1. Imbancatura del filato in rocche sulle cantre per alimentazione del subbio
2. Passaggio dei fili di ordito dalle rocche attraverso tutti i passamenti fino al subbio
3. Controllo del filato e del numero dei fili sul subbio
4. Controllo del numero di metri che si devono avvolgere sul subbio
5. Preparazione e controllo dei subbi programmati dalla produzione
6. Controllo dell'esecuzione (planarità dei fili sul subbio)



Figura 2.9: Reparto orditura - rocche di filato su cantre



Figura 2.10: Reparto orditura - orditoio sezionale



Figura 2.11: Reparto orditura - orditoio sezionale moderno



Figura 2.12: Reparto orditura - subbi

### [A3] Tessitura cinture/etichette

In questo reparto sono previste le seguenti attività:

1. Ripristino dei telai che si fermano segnalando le eventuali falle
2. Controllare i parametri di qualità nelle lavorazioni in corso
3. Alimentare i filati di trama e/o ordito che finiscono secondo istruzioni da schede a bordo telaio
4. Prelevare le rotole di tessuto e posizionarle nelle scatole



Figura 2.13: Reparto tessitura cinture

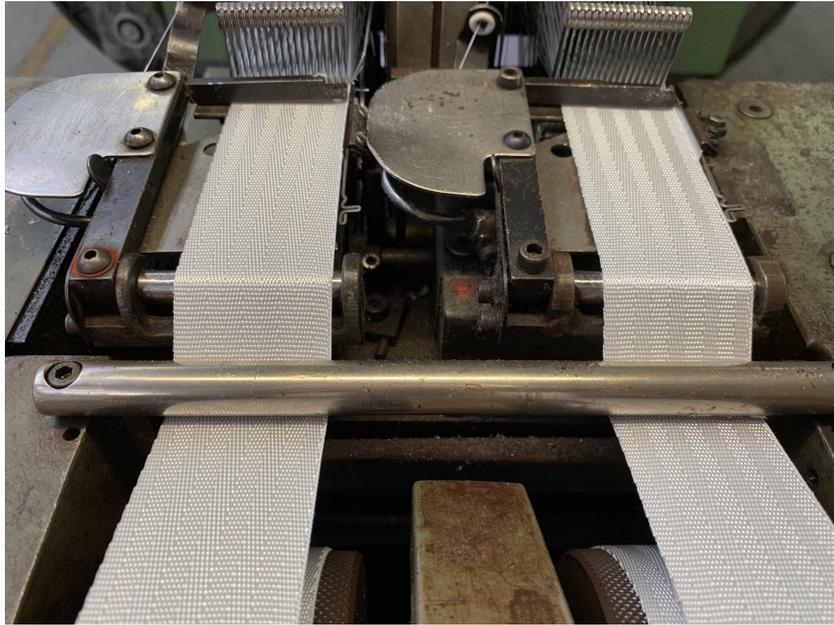


Figura 2.14: Reparto tessitura cinture - zoom nastro tessuto



Figura 2.15: Reparto tessitura etichette

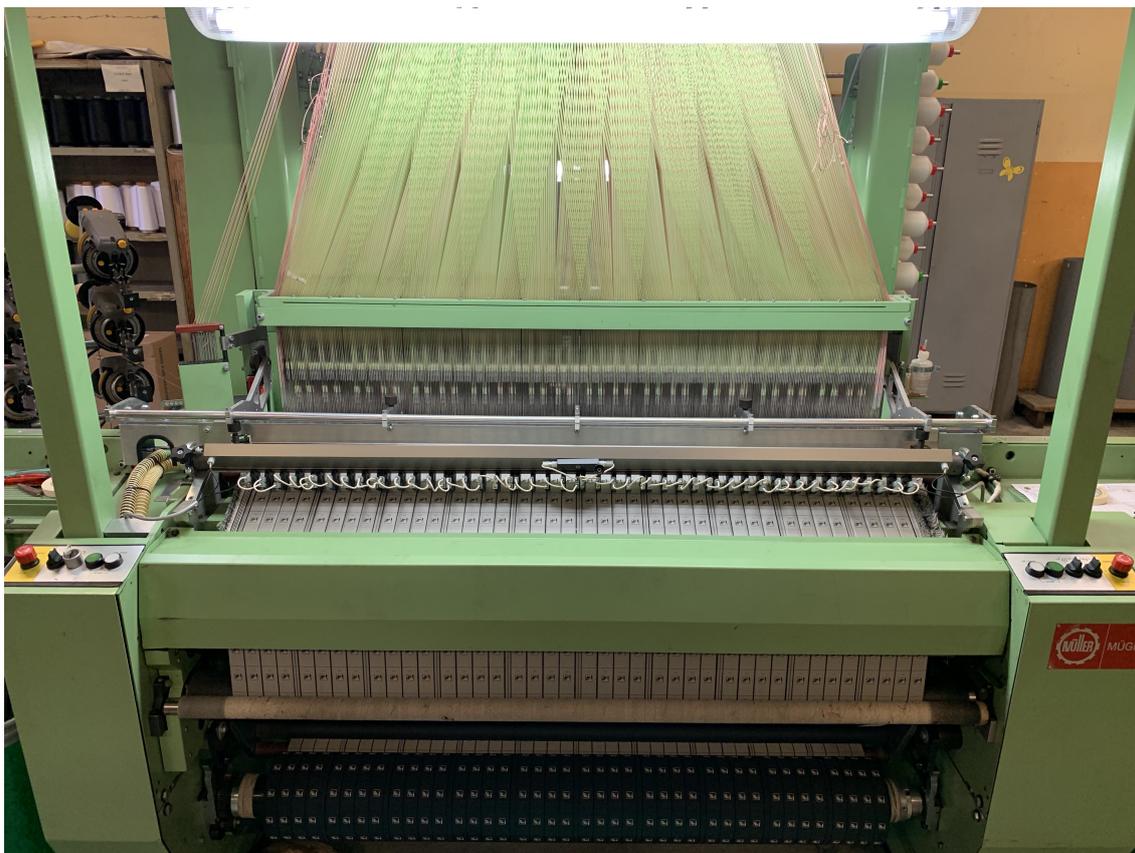


Figura 2.16: Reparto tessitura etichette - telaio Jacquard moderno

#### **[A4] Confezionamento/Spedizione**

Con confezionamento si intendono tutte le operazioni eseguite sia manualmente che con l'ausilio di macchinari appositi che permettono di approntare il prodotto finito a seconda delle esigenze del cliente. Le fasi si suddividono:

1. Prelievo del prodotto da confezionare
2. Esecuzione del confezionamento / imballaggio
3. Controllo e identificazione dei vari prodotti
4. Posizionamento delle confezioni sui bancali

La spedizione prevede l’imballaggio e la preparazione dei prodotti finiti da inviare ai clienti. Vi è inoltre la figura di responsabile del confezionamento e della spedizione che gestisce i flussi di materiale dalla produzione al confezionamento al magazzino.



Figura 2.17: Reparto confezionamento e spedizione

### **[A5] Tessitura nastri/elastici**

In questo reparto sono previste le stesse attività del reparto [A3]. Cambia solo il tipo di nastro prodotto e le specifiche dei telai.



Figura 2.18: Reparto tessitura nastri ed elastici

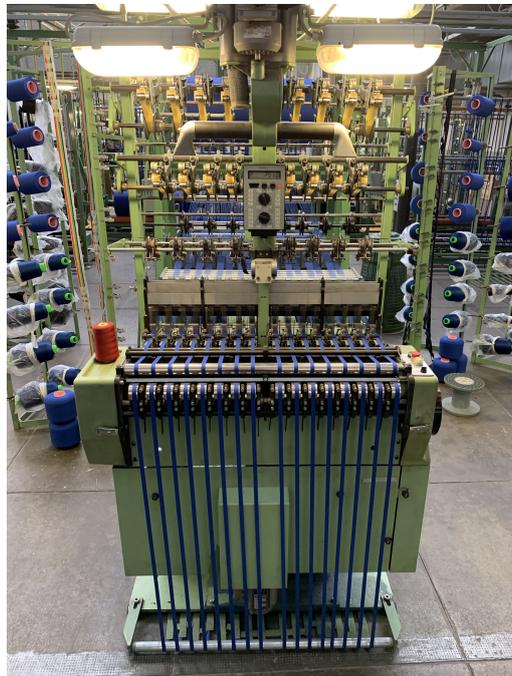


Figura 2.19: Reparto tessitura nastri ed elastici - telaio

### [A6] Tessitura navette

In questo reparto sono previste le stesse attività del reparto [A3]. Cambia solo il tipo di nastro prodotto e il telaio con cui si produce. In particolare, sono presenti dei telai Jacquard, ovvero telai che hanno la possibilità di eseguire disegni complessi tramite la movimentazione automatica dei singoli fili di ordito attraverso lo scorrimento di cartoni forati. Ad ogni filo di ordito è collegato un pesetto: se c'è un foro il pesetto cade e il filo si alza, viceversa il filo si abbassa. Per essere stata la prima applicazione ad aver utilizzato una scheda perforata, è considerato l'antenato del computer.



Figura 2.20: Reparto tessitura navette



Figura 2.21: Reparto tessitura navette - cartone forato



Figura 2.22: Reparto tessitura navette - telaio movimentato da cartoni forati



Figura 2.23: Reparto tessitura navette - telaio movimentato digitalmente



Figura 2.24: Reparto tessitura navette - zoom nastro tessuto

### [A7] Tintoria/Finissaggio

In questo reparto, l'operazione di tintura è ad esaurimento di bagno. Essa prevede:

1. Caricamento della macchina con le rocche di filo, oppure dei subbielli sul quale è stato avvolto il nastro da tingere
2. Preparazione della ricetta di tintura con l'ausilio di apposito software
3. Inserimento in macchina dei prodotti di tintura e scelta del ciclo
4. Al termine del ciclo, scarico della macchina e inserimento del materiale nell'asciugatoio



Figura 2.25: Reparto tintoria



Figura 2.26: Reparto tintoria - scarico macchina

Durante l'attività di finissaggio, che avviene mediante calandre riscaldate a vapore o a gas, è previsto:

1. Prelievo dai telai dei tessuti da calandrare
2. Passaggio dei tessuti sulle calandre
3. Controllo del tipo di stiratura richiesta a seconda del prodotto da calandrare



Figura 2.27: Reparto finissaggio - calandre a vapore

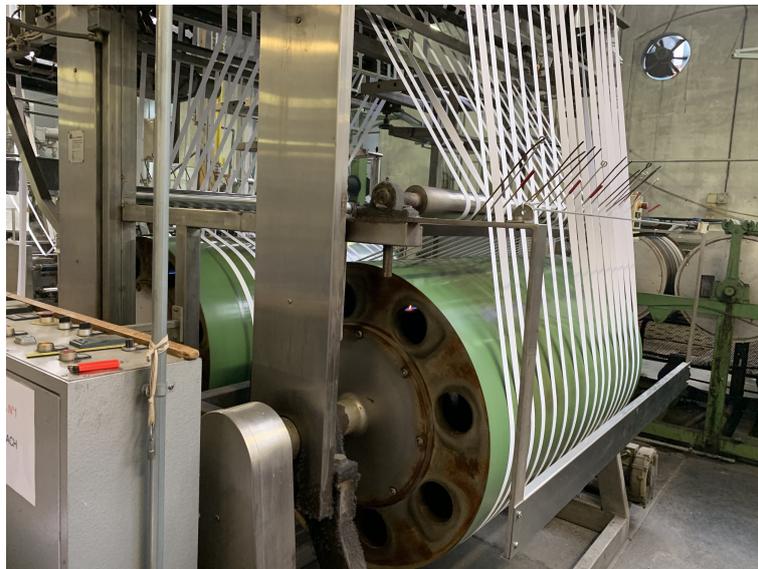


Figura 2.28: Reparto finissaggio - calandre a gas

### [A8] Magazzino semilavorati

Vengono gestiti i flussi di carico e scarico dei prodotti semilavorati. La movimentazione dei materiali all'interno dello stabilimento avviene utilizzando:

- transpallets manuali o elettrici, in funzione delle caratteristiche in peso dei materiali da movimentare;
- carrelli elevatori elettrici (carico/scarico camion all'esterno, ecc.);
- in alcune occasioni possono venire effettuati trasporti a mano, per piccoli carichi.



Figura 2.29: Magazzino semilavorati

### [A9] Tintoria cinture

Le operazioni di tintura in questo reparto sono in continuo. Tale tintura prevede:

1. Preparazione del nastro da tingere
2. Preparazione della ricetta di tintura con l'ausilio dell'apposito software
3. Inserimento in macchina dei prodotti di tintura e scelta del ciclo
4. Raccolta del materiale tinto, pronto per la confezionatura



Figura 2.30: Reparto tintoria cinture - ingresso macchina



Figura 2.31: Reparto tintoria cinture - uscita macchina

## 2.3 Fattori energetici principali

L'azienda acquista energia elettrica e gas naturale dalla rete. L'energia elettrica serve per l'azionamento di tutti i motori elettrici presenti nei telai, per l'illuminazione, per i sistemi di ventilazione e compressione e per tutti i servizi ausiliari. Il gas naturale viene usato per la produzione di acqua calda per il riscaldamento dei locali, per la produzione di vapore usato nell'attività di finissaggio e per il funzionamento diretto in alcune macchine di tintura e finissaggio.



### 2.3.1 Energia elettrica

L'uso dell'energia elettrica è prevalentemente legato alla produzione. Le principali macchine che usano energia elettrica sono i telai, gli orditoi, i compressori per la produzione di aria compressa e i ventilatori dell'unità di trattamento aria presente nel solo reparto [A5]. Oltre alla produzione, l'energia elettrica è usata per l'illuminazione dei locali, l'utilizzo di terminali PC e altri servizi ausiliari. Particolare attenzione va fatta ai telai e agli orditoi, non tanto per la potenza del motore elettrico di ogni singola macchina, ma per la quantità di macchine presenti in azienda.

#### Cabina di trasformazione

All'interno del sito è presente una cabina di trasformazione MT/BT per l'approvvigionamento elettrico. Dalla cabina si distribuisce l'energia elettrica in tutti i reparti.

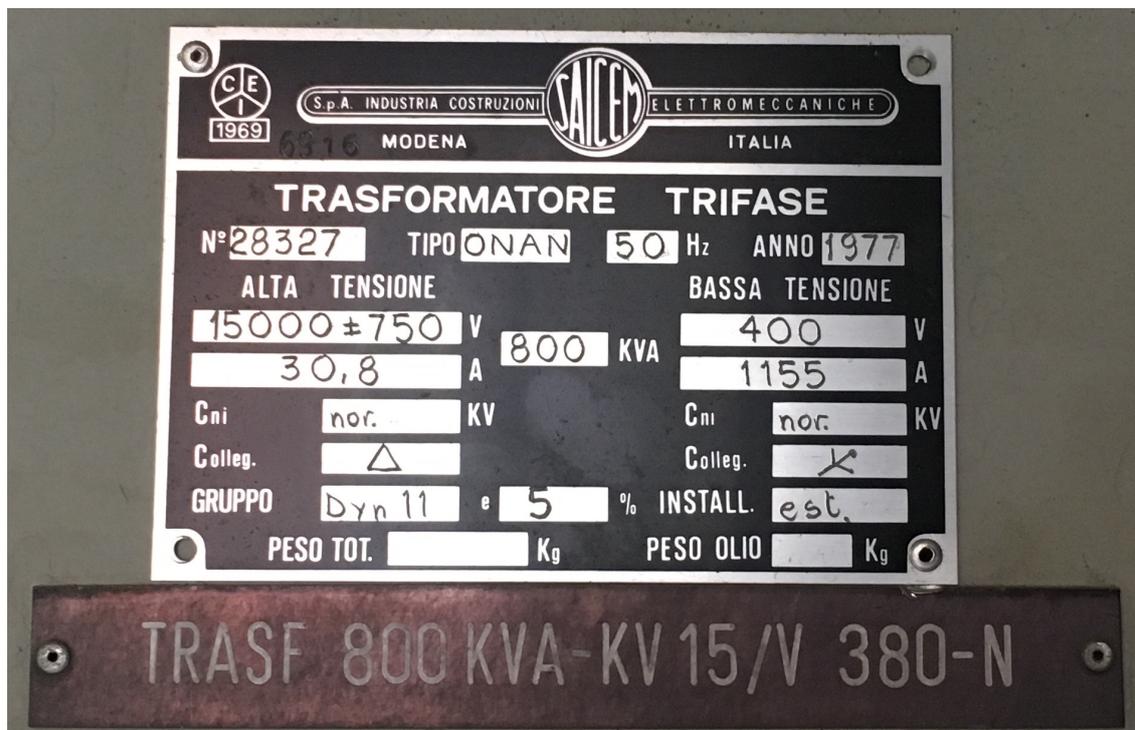


Figura 2.33: Trasformatore - Dati targa



(a) Cabina elettrica



(b) Cabina elettrica - Rifasatore

Figura 2.34: Cabina elettrica

Il rifasatore presente nella foto precedente, a causa di un guasto nel mese di luglio 2019, che ha provocato un piccolo incendio in cabina, verrà sostituito entro il 2019.

### **Impianto fotovoltaico**

E' installato sui tetti del fabbricato A un impianto fotovoltaico, visibile in Figura 2.4. L'impianto fotovoltaico ha una potenza nominale di 75,60 kW con una produzione annua attesa di 83.600 kWh. In totale sono installati 315 moduli fotovoltaici *ENERGICA SUPER POWER 60-240* certificati CEI EN 61215 da 240 W ciascuno. Hanno un orientamento di  $+12^\circ$  (Sud= $0^\circ$ , Est= $-90^\circ$ , Ovest= $+90^\circ$ ) e un'inclinazione di  $+30^\circ$  rispetto all'orizzonte. La conversione della corrente continua generata dai pannelli in corrente alternata a 230 volt e 50 Hz avviene tramite l'inverter FIMER R800.



Figura 2.35: Inverter FV

L'impianto fotovoltaico è collegato alla rete elettrica nazionale in regime di Scambio Sul Posto (SSP). La maggior parte dell'energia prodotta viene autoconsumata, solo una piccola parte viene invece immessa in rete.

### **2.3.2 Energia termica**

Il carico termico dello stabilimento si suddivide in:

- calore sottoforma di acqua calda per il riscaldamento degli ambienti;
- vapore per il trattamento di tintoria e finissaggio del nastro nei reparti [A7] e [A9].

L'energia termica viene prodotta da tre centrali termiche. Due, che chiameremo CT Bono e CT Seveso (prendono il nome dal produttore delle caldaie presenti), producono acqua calda per il riscaldamento dei locali nel periodo invernale, mentre una, che chiameremo CT GV, produce vapore usato nel processo produttivo, in particolare nelle calandre in pressione, ovvero in recipienti metallici riscaldati dall'interno dal vapore, che hanno il compito di asciugare, stirare e rendere lucido il nastro.

Per svolgere il loro compito, tutte le caldaie e il generatore di vapore usano gas naturale prelevato dalla rete. Le caldaie della CT Bono sono state convertite successivamente, in quanto prima usavano gasolio come combustibile.

Non è stato citato fin'ora un secondo generatore di vapore a gasolio; il motivo è il suo utilizzo che è estremamente limitato dal punto di vista temporale. La sua accensione è dovuta a rari casi in cui si presenti un problema al primo generatore di vapore. Ciò è dimostrato dal fatto che negli ultimi 3 anni non è stato più acquistato gasolio.

## CT Bono

All'interno della CT Bono sono presenti due caldaie Bono del 1981, ognuna con potenza nominale di 1.453 kW, per un totale di circa 3 MW, usate per il riscaldamento del fabbricato A e di qualche altro locale presente all'interno dello stabilimento. La potenza così alta è giustificata dal fatto che queste caldaie erano adibite al riscaldamento di un volume molto più grande dell'attuale, in quanto includeva altri locali adesso convertiti in locali commerciali. La riduzione dei volumi dell'azienda è stata una conseguenza di due fattori: la crisi che ha colpito il settore tessile italiano e l'uso di macchinari da prestazioni più elevate e dalle dimensioni sempre più ridotte.



Figura 2.36: CT Bono



Figura 2.37: CT Bono - Pompe di mandata



Figura 2.38: CT Bono - dati targa

Tali caldaie, venivano usate per la produzione di vapore, solo successivamente sono state convertite per la produzione di acqua calda. Infatti, gli aerotermi presenti all'interno del fabbricato A sono nati per funzionare a vapore.

### **CT Seveso**

All'interno della CT Seveso sono presenti due caldaie Seveso del 1981, ognuna con potenza nominale di 456,98 kW, per un totale di circa 900 kW, usate per il riscaldamento del fabbricato B, ad esclusione del magazzino che non è riscaldato, e per alimentare un paio di aerotermi presenti nel fabbricato C.



Figura 2.39: CT Seveso



Figura 2.40: CT Seveso - Pompe di mandata

## **CT GV**

All'interno della CT GV sono presenti due generatori di vapore Garioni Naval. Uno del 1999 alimentato a gas con potenza nominale di 1.047 kW, mentre il secondo del 1992 alimentato a gasolio con potenza nominale di 698 kW. Il loro compito è quello di alimentare tutti i macchinari, presenti nel fabbricato C, che necessitano di vapore per il funzionamento: in genere si tratta di calandre per l'asciugatura e lo stiraggio del nastro.



(a) GV 1.047 kW



(b) Dati targa

Figura 2.41: CT GV - GV 1.047 kW



(a) GV 1.047 kW



(b) Dati targa

Figura 2.42: CT GV - GV 698 kW

### 2.3.3 Controllo dell'umidità

Oltre al sistema di raffrescamento, non è presente un sistema di controllo dell'umidità in tutti i reparti. Viene mantenuto un certo grado di umidità attraverso degli umidificatori professionali "Nebbiasecca AKIMist": il sistema funziona per collisione di due getti convergenti di aria compressa mista ad acqua, in modo da creare una nuvola impalpabile composta da gocce di diametro inferiore a 10 micron. Le micro gocce prodotte evaporano e vengono assorbite immediatamente, garantendo una corretta diffusione dell'umidità in qualsiasi ambiente, in modo visibile ma non percepibile al tatto, eliminando l'effetto negativo della condensa.

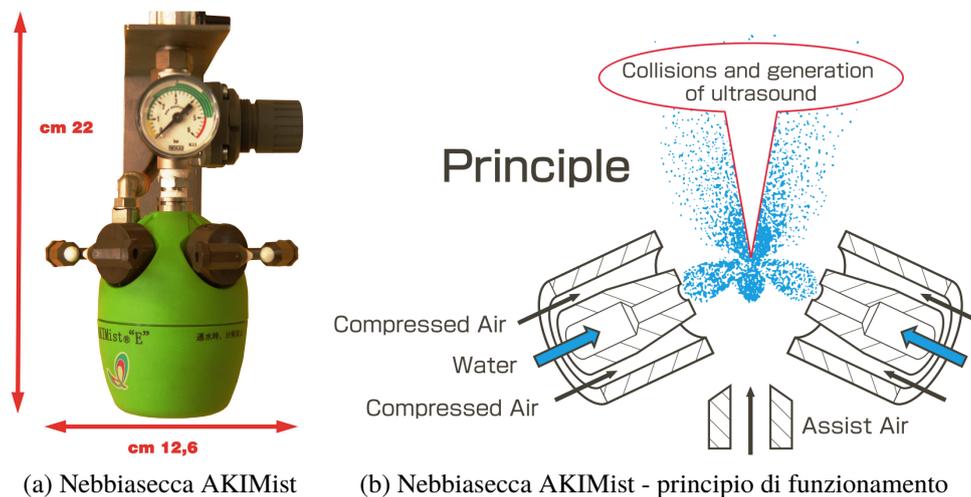


Figura 2.43: Sistema di umidificazione

## CAPITOLO 3

---

### Analisi dei consumi

---

In questo capitolo verranno analizzati i consumi di energia elettrica e di gas naturale dell'azienda. I dati sono stati richiesti ai fornitori e/o ai distributori. Per quanto riguarda l'energia elettrica, hanno fornito dati ogni 15 minuti a partire da novembre 2016 e dati mensili a partire da gennaio 2016. Per quanto riguarda il consumo di gas naturale fino a febbraio 2018 gli unici dati disponibili sono stati quelli di consumo mensile, mentre da marzo 2018, data in cui è stato introdotto un nuovo contatore abilitato alla telelettura, è stato possibile avere dati di consumo giornalieri.

### **3.1 Analisi preliminare**

L'analisi preliminare si basa sui dati resi disponibili dai fornitori e dai distributori e su quelli ricavati dalla fatture. Oltre ai consumi, sono stati analizzati anche i costi che l'azienda ha affrontato negli ultimi anni per l'approvvigionamento di energia elettrica e di gas naturale.

### 3.1.1 Energia elettrica

I dati riguardanti il consumo di energia elettrica hanno campionamento quartorario e quindi è stato possibile dividere il consumo per fasce orarie. Nel territorio nazionale si hanno tre fasce: Fascia F1, dalle ore 8:00 alle ore 19:00, dal lunedì al venerdì, Fascia F2, dalle ore 7:00 alle ore 8:00 e dalle ore 19:00 alle ore 23:00, dal lunedì al venerdì, e dalle ore 7:00 alle ore 23:00 del sabato, e Fascia F3, dalle ore 00:00 alle ore 7:00 e dalle ore 23:00 alle ore 24:00 dal lunedì al sabato, tutte le ore della domenica e dei giorni festivi.

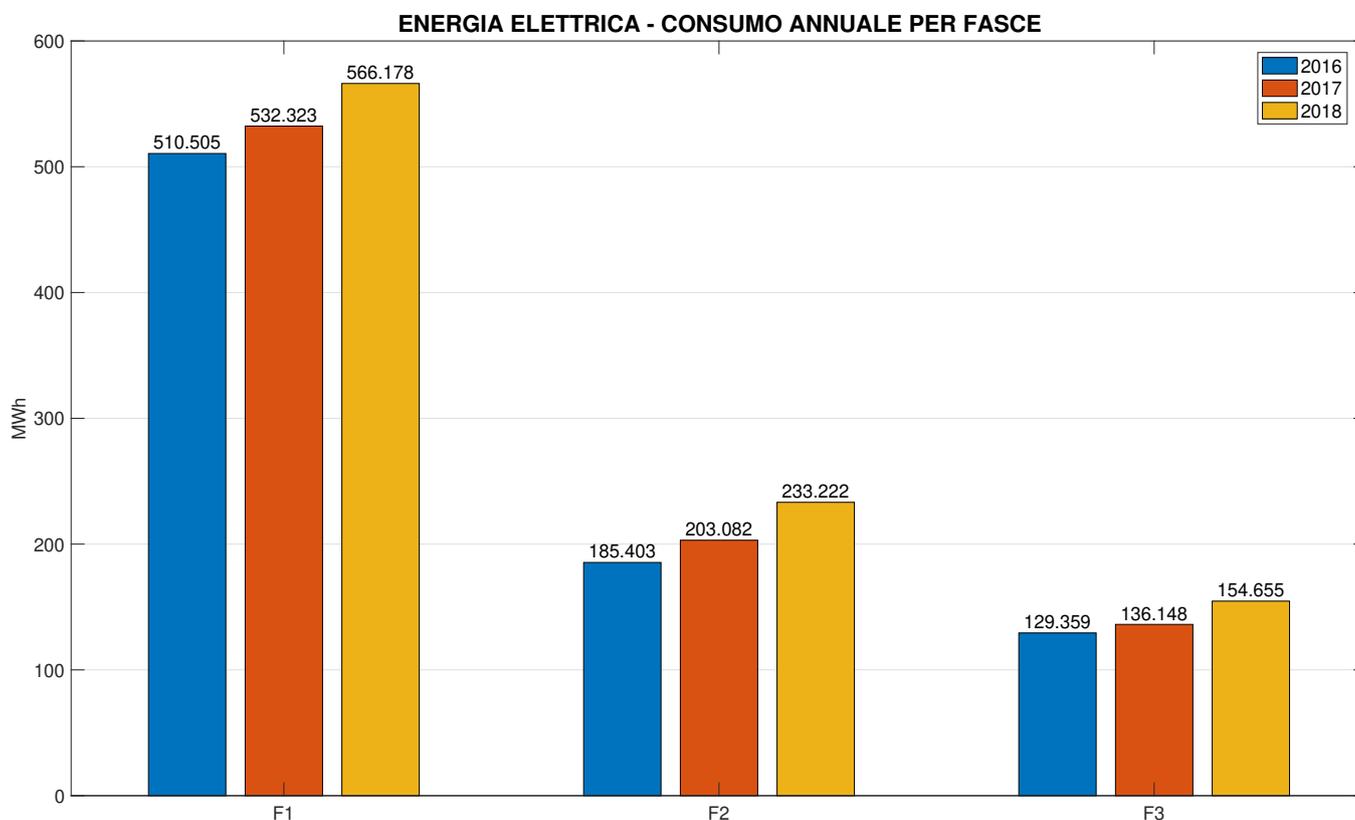


Figura 3.1: Energia elettrica - consumo annuale per fascia

Come si nota dal grafico in Figura 3.1, il maggior consumo negli anni si ha nella Fascia 1, seguito dalla Fascia 2 e infine dalla Fascia 3. Il tutto è giustificato dal fatto che

l'azienda lavora su 2 turni: 6:00 - 14:00 e 14:00 - 22:00. Solo per 3 settimane nel mese di Settembre 2018, il reparto di orditura ha lavorato su 3 turni e questo si può notare dai carpet plot in Figura 3.3 e Figura 3.4. Inoltre, si può notare un aumento del consumo negli anni, legato principalmente ad un aumento della produzione e quindi del fatturato.

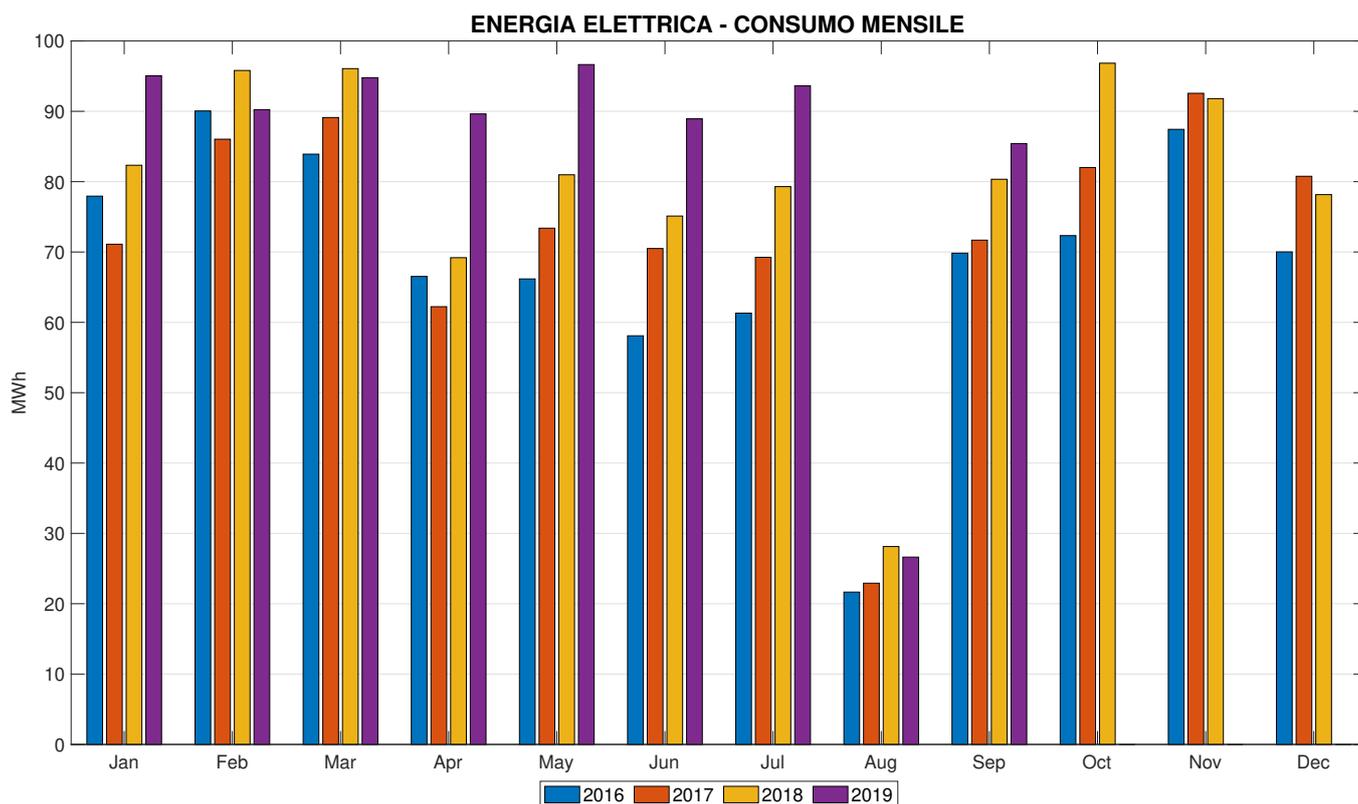


Figura 3.2: Energia elettrica - consumo mensile

In Figura 3.2 sono stati riportati i consumi totali mensili. In genere il consumo mensile varia poco, ad esclusione del mese di agosto in cui l'azienda chiude per ferie per 3 settimane. Per i restanti mesi, è presente un maggior consumo nei mesi invernali a causa di tutti i sistemi ausiliari per il riscaldamento, mentre diminuisce nei mesi estivi, in quanto non è presente un sistema di raffreddamento dei locali.

Sono stati riportati anche i valori mensili del 2019 perchè molto alti rispetto alle

aspettative; il tutto è giustificato dal fatto che a partire dal mese di marzo sono state aperte delle attività commerciali in alcuni locali dello stabilimento che hanno usufruito dell'energia elettrica dell'azienda per i primi mesi di apertura. Trattandosi di attività che fanno uso di forni elettrici e impianti frigo il loro impatto è rilevante.

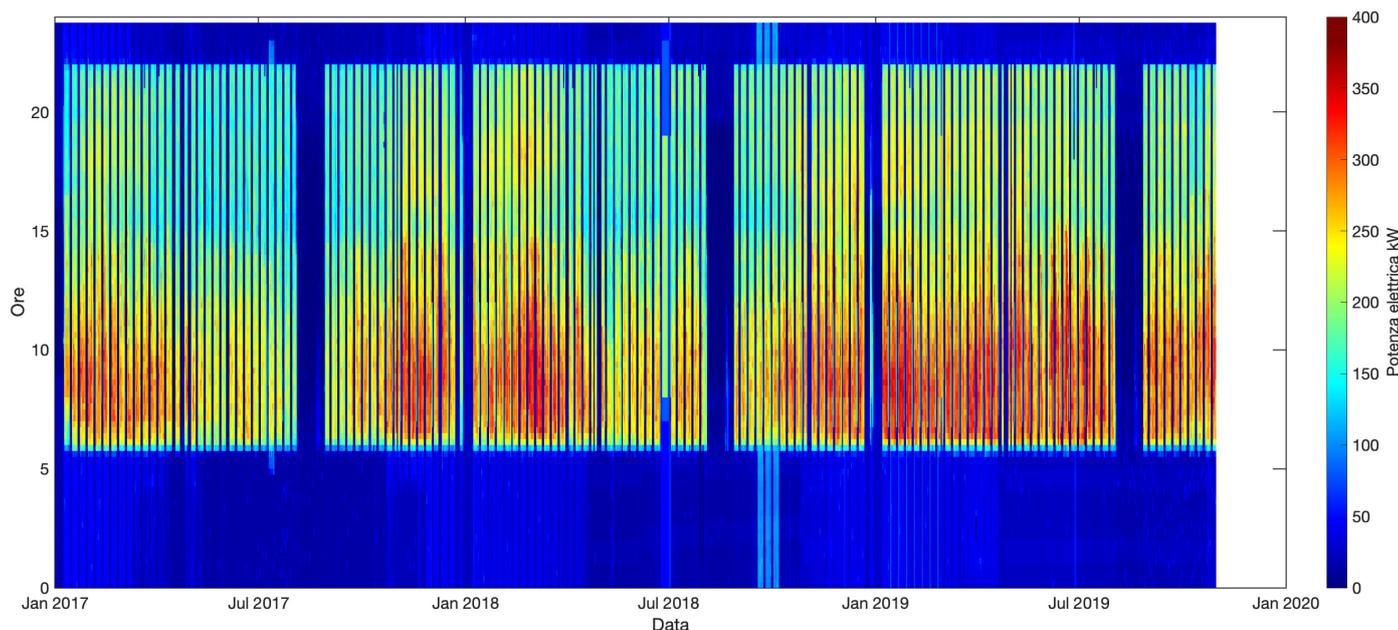


Figura 3.3: Energia elettrica - Carpet plot consumo 2017-oggi

In Figura 3.3 si nota come sia ben definito il consumo nell'orario di lavoro 6:00-22:00, con una differenza netta tra primo e secondo turno. Questo perchè ci sono alcuni reparti, in particolare la tintoria, che è tra i reparti più energivori, che lavorano a un turno. Sono evidenziati anche i periodi di ferie, generalmente 3 settimane nel mese di agosto, e i periodi di festività, in particolare Natale e Pasqua. Nel grafico, inoltre, si nota nel periodo invernale una macchia più rossa, seguita nelle ore notturne da una macchia blu più chiara che sta ad identificare un maggior consumo dovuto ai sistemi elettrici ausiliari per il riscaldamento. Nel periodo estivo, invece, non vi è alcun sistema di raffrescamento dei locali, ad esclusione degli uffici in cui sono presenti alcuni condizionatori a pompa di calore, e quindi, rispetto al periodo invernale, minor consumi: nelle ore lavorative

macchia gialla tendente al verde e al celeste, mentre nelle ore notturne macchia blu scuro.

Per rendere visibili graficamente i periodi prima descritti, si riporta in Figura 3.4 il carpet plot dei consumi del 2018. Risulta facile distinguere le varie settimane, in quanto il consumo scende quasi a zero nei sabati e nelle domeniche, e risultano evidenti il periodo di ferie ad agosto, le 3 settimane in cui un reparto ha lavorato sui 3 turni e i vari periodi di festività. Da notare anche un periodo di circa 10 giorni a cavallo tra giugno e luglio in cui le misure non sono corrette.

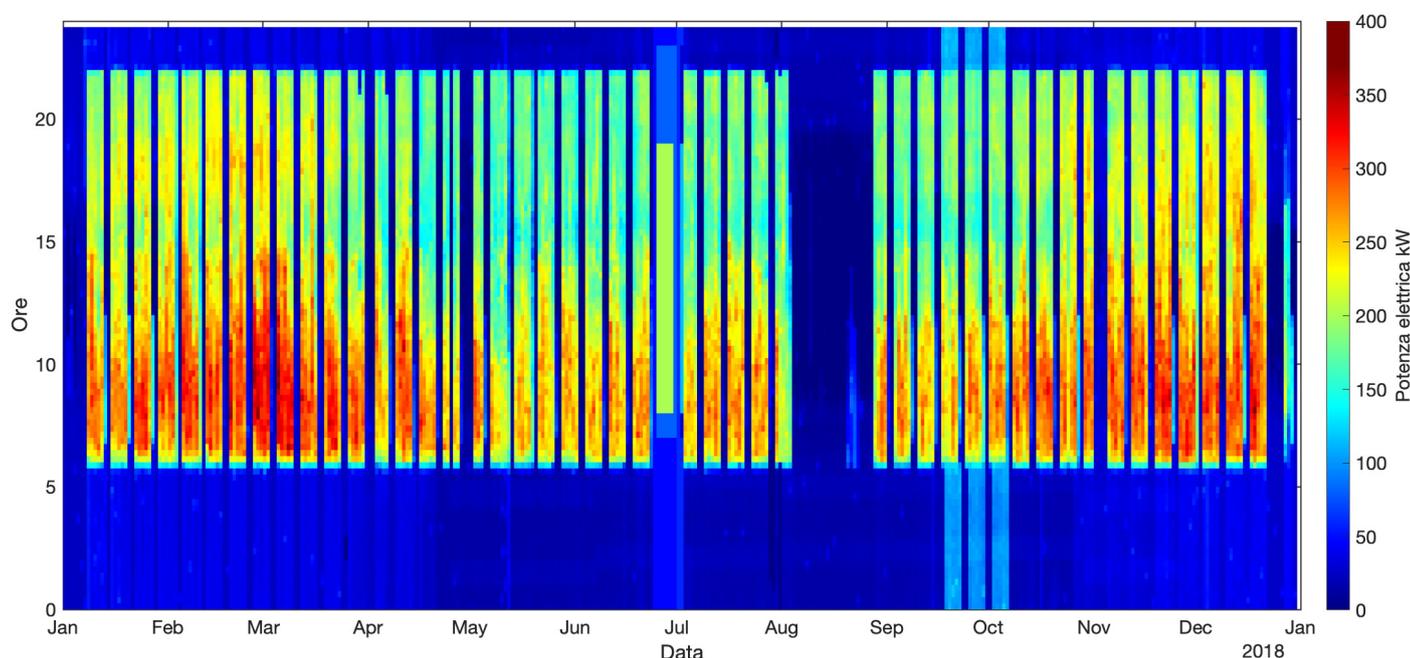


Figura 3.4: Energia elettrica - Carpet plot consumo 2018

Inoltre, da quest'ultimo plot si nota meglio una piccola fascia nella prima ora lavorativa dove il consumo è minore rispetto alle ore centrali. Il motivo potrebbe essere legato alle tempistiche di avvio delle singole macchine. Alla fine dell'orario lavorativo, in genere, non si presenta questo fenomeno perchè il tempo richiesto per lo spegnimento delle macchine risulta inferiore.

Dai grafici della potenza consumata in due settimane tipo: una settimana di giugno,

Figura 3.5, e una settimana di dicembre, Figura 3.6, si osserva un andamento oscillatorio con periodicità giornaliera. In tutti i giorni, ad esclusione del sabato e della domenica in cui il consumo scende fino a zero, si ha una riduzione dei consumi nella seconda parte della giornata poiché il reparto della tintoria, lavorando su un solo turno, si ferma dopo le ore 14:00. Il consumo notturno può essere in parte attribuito a sistemi ausiliari.

Da questi grafici si evince, inoltre, che il carico di base è caratterizzato da una piccola quota fissa pari a circa 15/20 kW nel periodo estivo e 40/50 kW nel periodo invernale. Un'analisi più approfondita, in presenza di misure di assorbimento relative ai diversi carichi, potrebbe consentire di individuare i macchinari più energivori e la presenza di eventuali ottimizzazioni nell'accensione e nello spegnimento delle attrezzature, cosa che permetterebbe di ridurre consumi, costi ed emissioni.

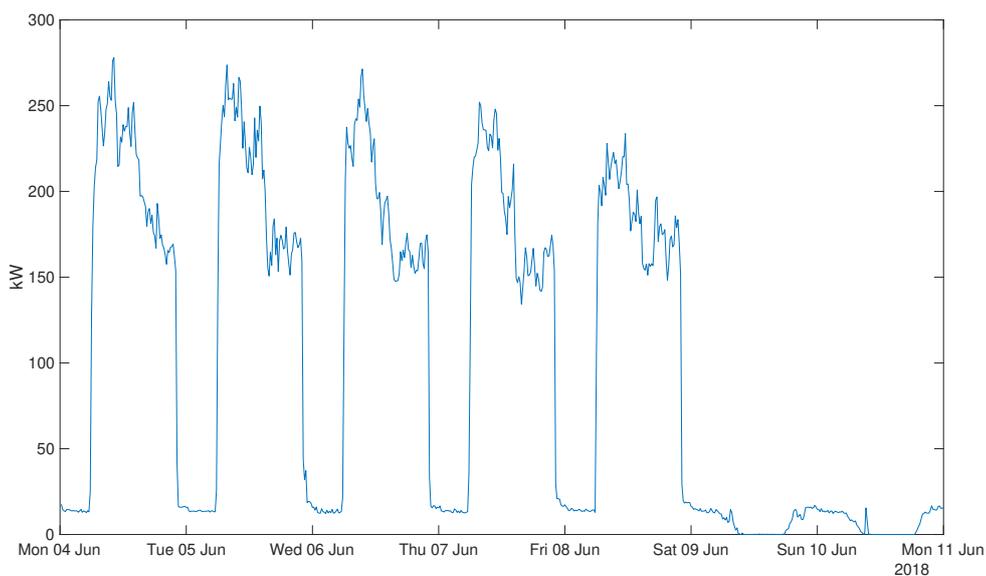


Figura 3.5: Energia elettrica - Consumo settimana giugno 2018

Infine, in Figura 3.7 si riporta il consumo nel periodo in cui il reparto dell'orditura ha lavorato su 3 turni. Non essendoci misuratori, potrebbe risultare utile per definire il consumo del reparto dell'orditura. Infatti, nelle ore notturne la potenza assorbita è fissa a circa 100 kW, rispetto ai 15/20 kW delle normali settimane lavorative.

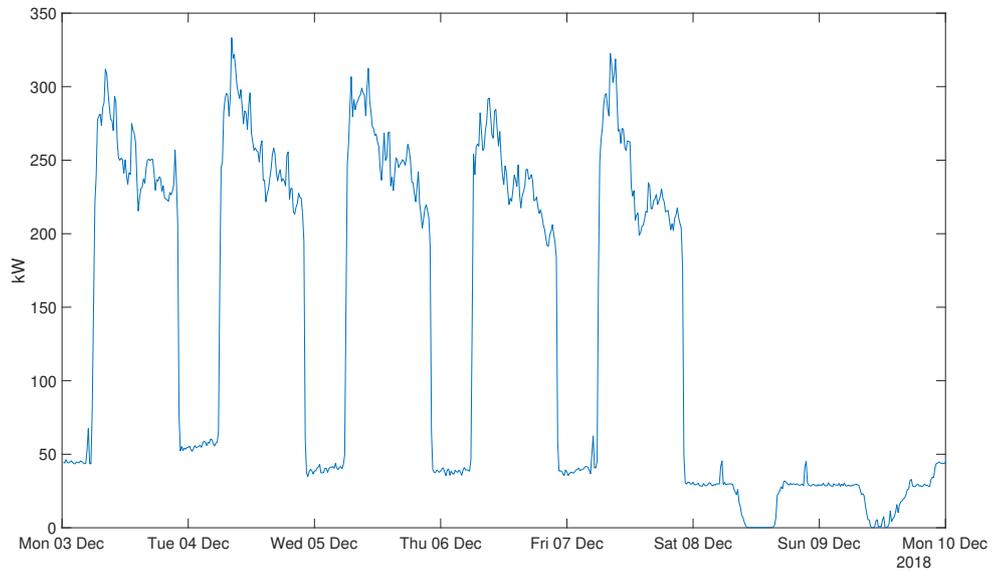


Figura 3.6: Energia elettrica - Consumo settimana dicembre 2018

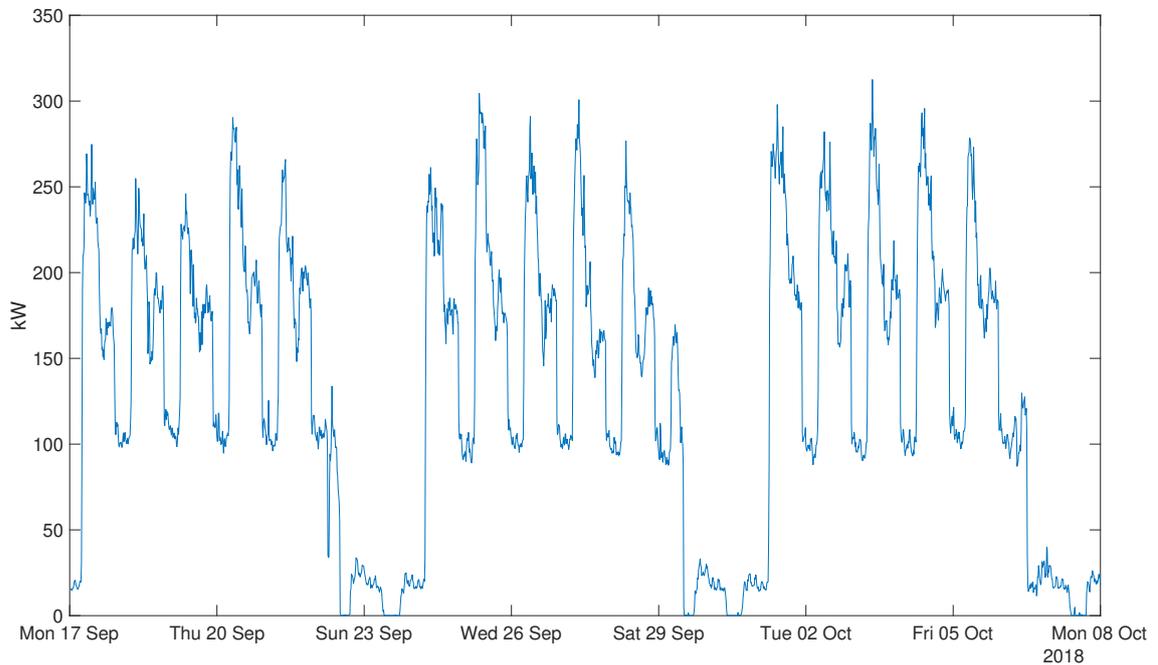


Figura 3.7: Energia elettrica - Consumo reparto orditura 3 turni

**Anno 2019**

Risulta utile, ai fini di un confronto tra gli anni, analizzare i consumi del 2019 anche se questi risultano maggiori per i motivi già spiegati. Infatti, in Figura 3.8 si nota al mattino una macchia ancor più rossa e nel pomeriggio una macchia di color verde/giallo che rispetto al 2018, in cui la macchia tendeva al celeste, significa maggior consumi.

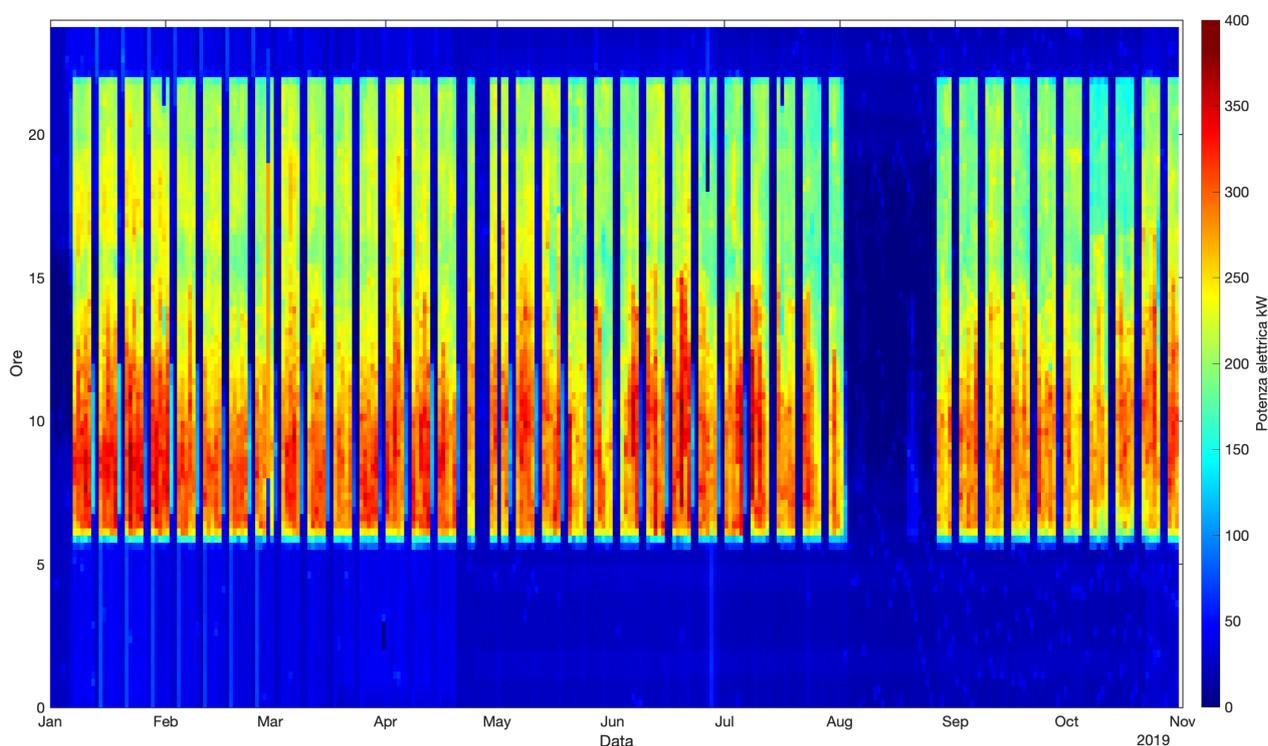


Figura 3.8: Energia elettrica - Carpet plot consumo 2019

Come si nota in Figura 3.8, risulta valido tutto ciò che è stato detto per l'anno 2018. Sono evidenziati: le settimane, in quanto sabato e domenica il consumo scende a zero, il periodo delle festività pasquali e quello delle ferie estive. Si ha sempre maggior consumo al mattino, come già spiegato. Non avendo ancora i dati dei mesi di novembre e dicembre 2019, la settimana del periodo invernale considerata è l'ultima settimana completa di ottobre (Figura 3.10). Il sistema di riscaldamento non era ancora in funzione.

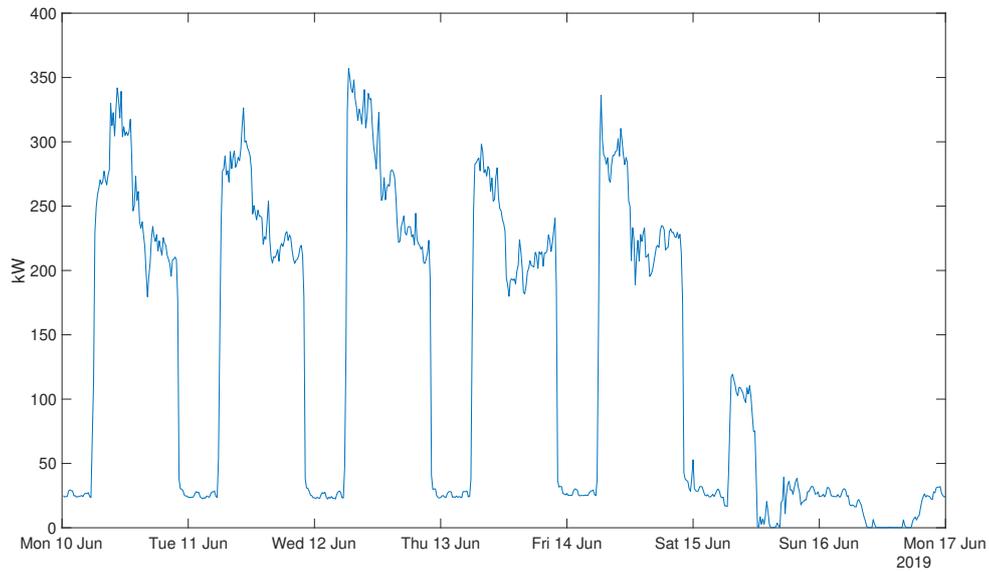


Figura 3.9: Energia elettrica - Consumo settimana giugno 2019

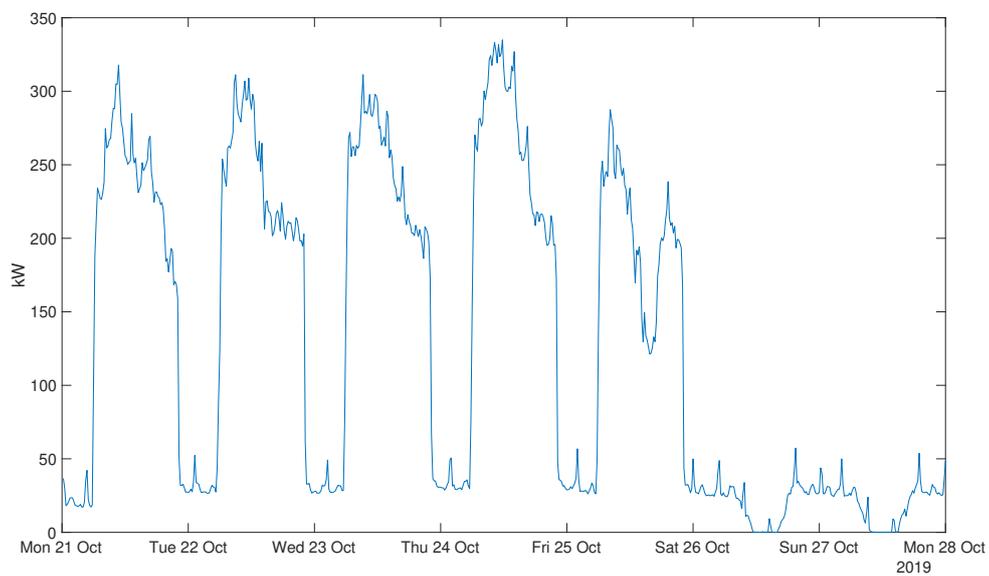


Figura 3.10: Energia elettrica - Consumo settimana ottobre 2019

L'accensione delle caldaie e del sistema è stato posticipata a causa delle alte temperature esterne che riuscivano a garantire un buon comfort per i dipendenti.

### 3.1.2 Gas naturale

I dati riguardanti il consumo di gas naturale sono stati ottenuti dal fornitore e hanno campionamento giornaliero solo a partire da marzo 2018; fino a questa data, si hanno a disposizione solo i consumi mensili. In Figura 3.11 è riportato il grafico del consumo mensile di gas degli ultimi anni.

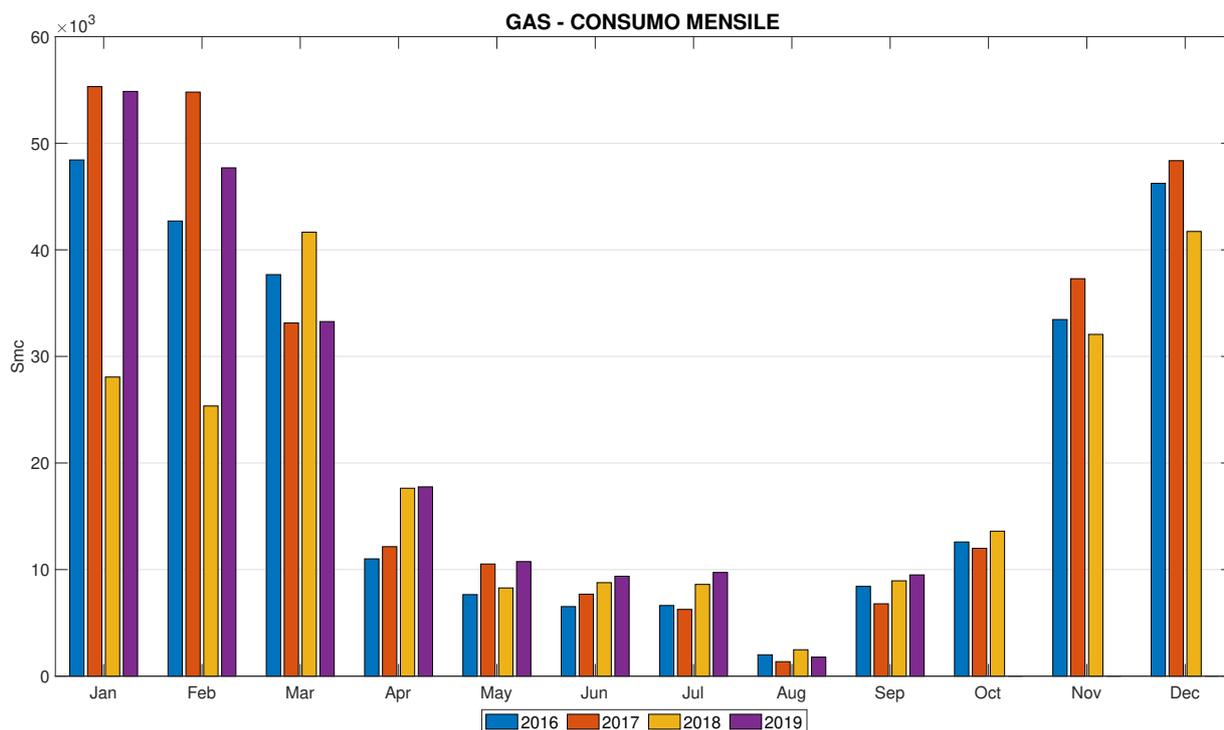


Figura 3.11: Gas - consumo mensile

L'andamento è di tipo parabolico, con un minimo nei mesi estivi, durante i quali la quota di gas per il riscaldamento è nulla. Il consumo di gas, lontano dal periodo invernale, presenta una quota circa costante dovuta alla produzione di vapore usato per l'attività della tintoria. Oltre a quanto detto, è curioso, ma allo stesso tempo critico, il consumo nei mesi di gennaio e febbraio 2018: in particolare, si ha un consumo estremamente basso rispetto alle aspettative. Il tutto è giustificato dal fatto che ci sono stati dei problemi nelle

caldaie che ne hanno causato il blocco.

Per valutare il consumo di gas destinato alla produzione, è utile analizzare i valori giornalieri disponibili solo da marzo 2018. In Figura 3.12 si riportano tali valori.

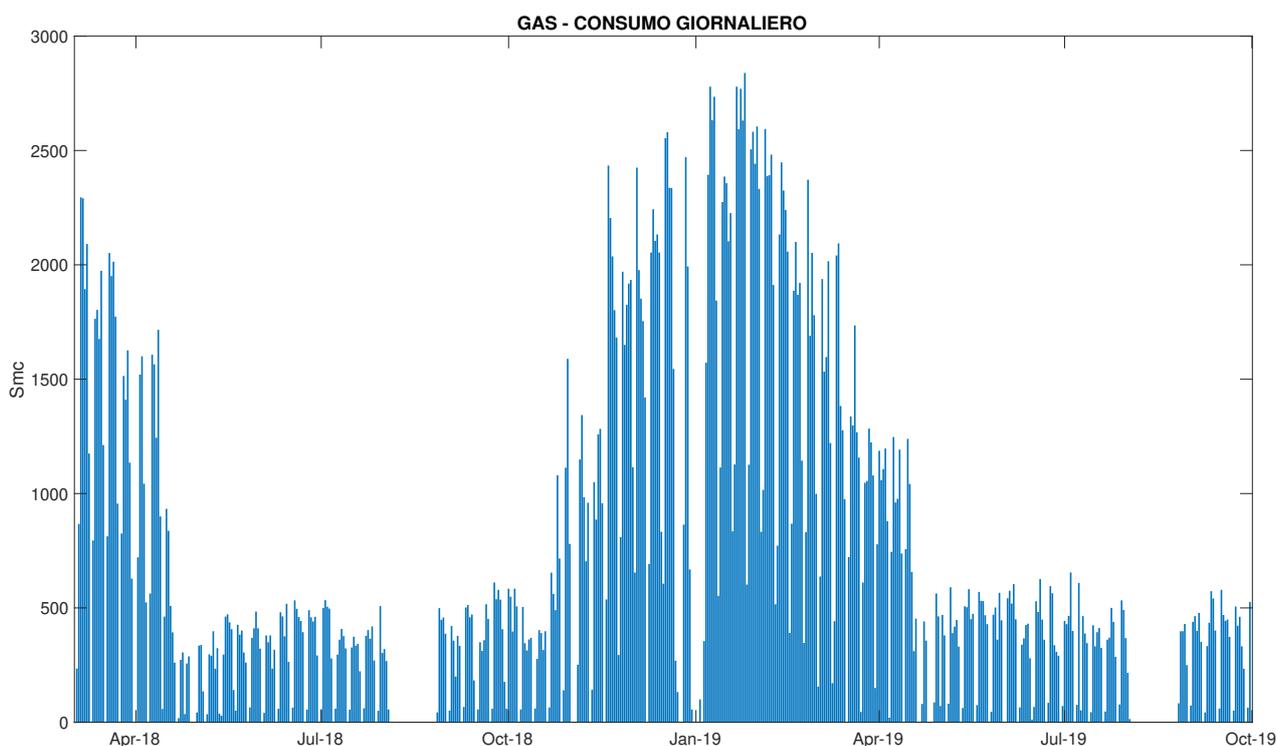


Figura 3.12: Gas - consumo giornaliero

Oltre a quanto già detto sulla differenza dei consumi nei vari periodi dell'anno, possiamo notare che circa 300÷500 Smc al giorno vengono prelevati dalla rete per la produzione di vapore necessaria all'attività della tintoria. Purtroppo, non essendo presenti misuratori su ogni centrale termica riguardo il consumo di gas, è impossibile avere la certezza su tali valori.

Come fatto per i consumi elettrici, si riportano in Figura 3.13 e in Figura 3.14 i consumi in due periodi diversi: mese di giugno e mese di dicembre. Si può notare la sostanziale differenza nei consumi: nel mese di giugno i consumi sono legati esclusivamente alla

produzione e in media si aggira intorno ai valori già citati poco sopra; nel mese di dicembre i consumi sono legati soprattutto al riscaldamento che possiamo quantificare in un consumo di circa 1800÷2300 Smc al giorno.

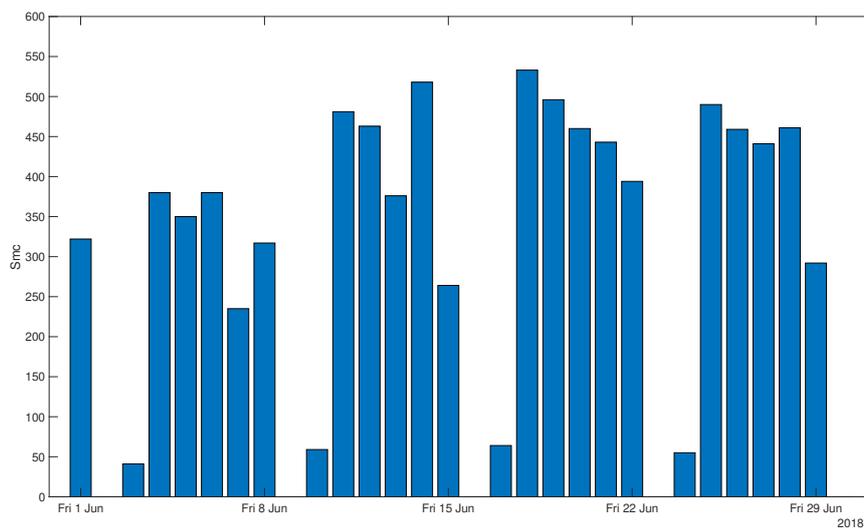


Figura 3.13: Gas - consumo nel mese di giugno 2018

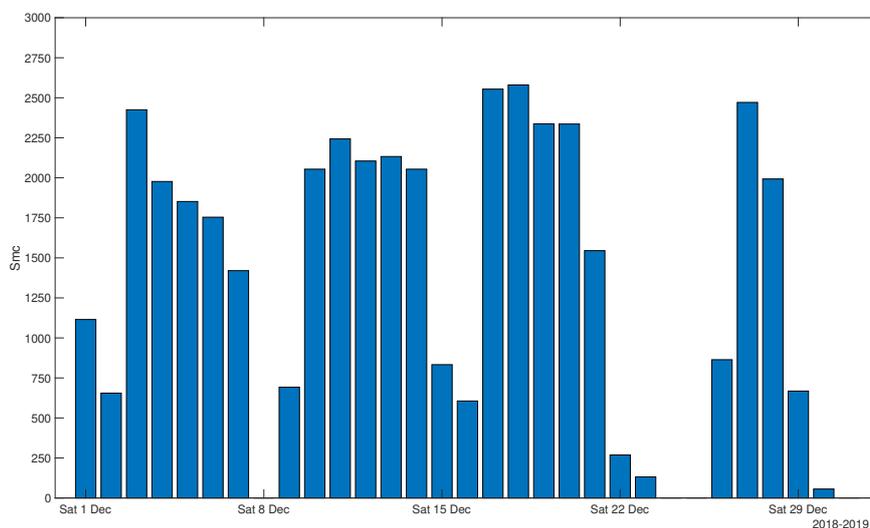


Figura 3.14: Gas - consumo nel mese di dicembre 2018

### 3.1.3 Analisi consumi ultimi anni

Con l'acquisizione dei dati precedentemente descritti è stato possibile ricavare una ripartizione dei consumi. Per poter effettuare un confronto, i consumi sono stati riportati in tep (tonnellate equivalenti di petrolio).

$$1.000 kWh = 0,187 tep$$

$$1.000 Smc = 0,836 tep$$

Anno 2016		
Energia elettrica	825.267 kWh	154,32 tep
Gas	263.338 Smc	220,15 tep
Anno 2017		
Energia elettrica	871.553 kWh	162,98 tep
Gas	285.678 Smc	238,83 tep
Anno 2018		
Energia elettrica	954.055 kWh	178,41 tep
Gas	237.182 Smc	198,28 tep

Tabella 3.1: Consumi - riassuntivo ultimi anni

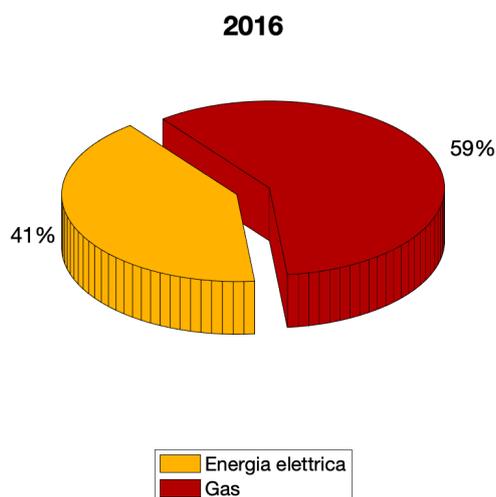


Figura 3.15: Consumi 2016 - ripartizione fonti energetiche

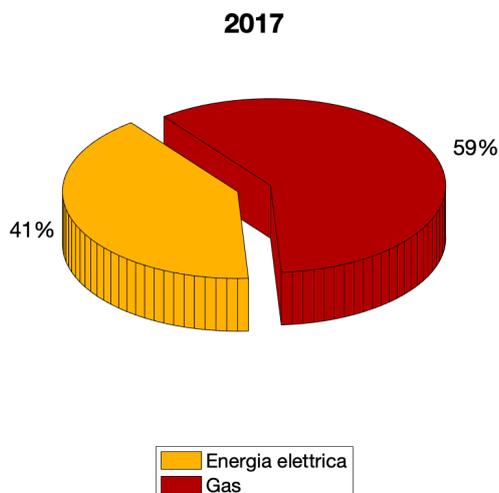


Figura 3.16: Consumi 2017 - ripartizione fonti energetiche

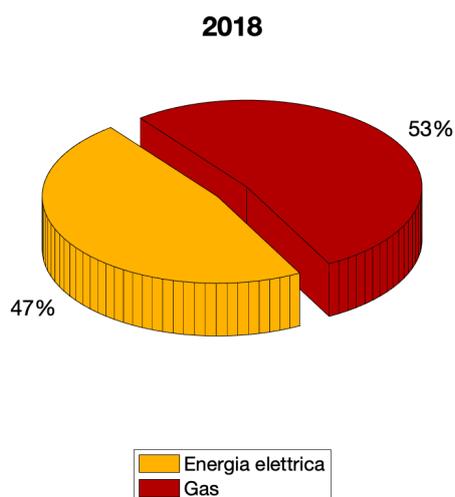


Figura 3.17: Consumi 2018 - ripartizione fonti energetiche

Come si può notare, sia dalla Tabella 3.1 che dalle Figure 3.15, 3.16 e 3.17, l'energia consumata di derivazione dal gas naturale è circa il 59% del totale. Per l'anno 2018 il valore è minore a causa del basso consumo di gas nei mesi di gennaio e febbraio, come spiegato precedentemente. Quindi, in previsione di effettuare investimenti per

ridurre il consumo energetico, risulta più interessante valutare migliorie nell'impianto di riscaldamento e di produzione del vapore, optando per soluzioni più efficienti. Per riuscire ad ottenere una riduzione delle sostanze inquinanti è necessario diminuire la quantità di combustibile bruciato. Questo risultato può essere ottenuto in due modi:

1. aumentando l'efficienza dei sistemi di produzione;
2. riducendo la richiesta di energia, andando a sfruttare meglio quella già prodotta.

La seconda soluzione porta, oltre che a un beneficio ambientale, anche a un risparmio economico e dovrebbe quindi spingere le aziende a scegliere preferibilmente questa opzione. Ma, nel caso dell'azienda in questione, dato che la generazione di calore avviene mediante caldaie obsolete con problemi di manutenzione dovuti all'età, sarebbe necessario valutare la loro sostituzione con sistemi più efficienti e con meno emissioni di inquinanti. Ad integrazione di ciò, vista la presenza di una rete di distribuzione articolata e non sempre coibentata, sarebbe utile ai fini di un risparmio energetico ed economico riqualificare e semplificare il sistema di distribuzione, compresi i terminali.

### 3.1.4 Analisi economica ultimi anni

Un ulteriore analisi che può aiutare l'azienda a definire i prossimi investimenti per migliorare l'efficienza dello stabilimento è quella economica.

<b>Anno 2016</b>	
Energia elettrica	146.720 €
Gas	105.446 €
<b>Anno 2017</b>	
Energia elettrica	136.641 €
Gas	99.449 €
<b>Anno 2018</b>	
Energia elettrica	172.451 €
Gas	99.428 €

Tabella 3.2: Costi - riassuntivo ultimi anni

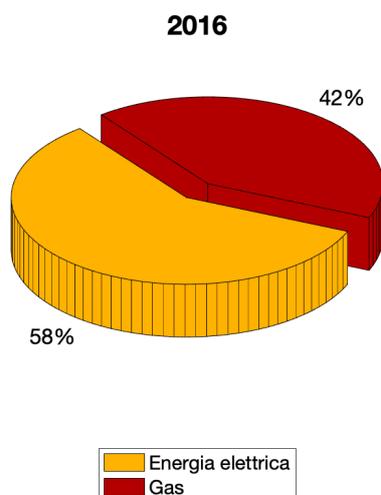


Figura 3.18: Costi 2016 - ripartizione fonti energetiche

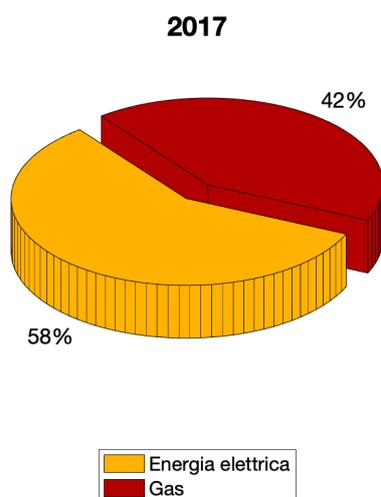


Figura 3.19: Costi 2017 - ripartizione fonti energetiche

Come si nota dalla Tabella 3.2 e dalle Figure 3.18, 3.19 e 3.20, per l'approvvigionamento energetico dalla rete, l'azienda spende circa 230.000÷270.000 € all'anno, di cui circa il 58% per l'energia elettrica e il restante 42% per il gas. Nel 2018 l'azienda ha speso meno sul gas a causa di un basso e anomalo consumo nei mesi di gennaio e febbraio.

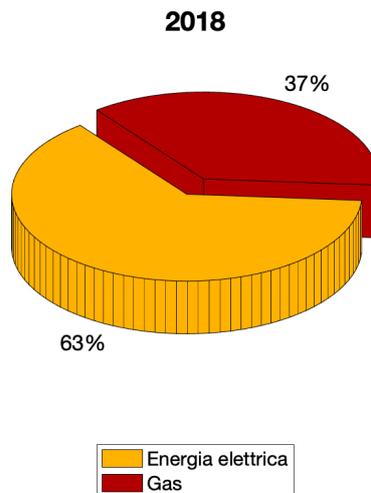


Figura 3.20: Costi 2018 - ripartizione fonti energetiche

La spesa sostenuta è dipesa dall'andamento dei prezzi nel mercato elettrico e in quello del gas, a loro volta influenzati dalle dinamiche internazionali e dagli andamenti del PUN, per quanto riguarda l'energia elettrica, e del PSV, per quanto riguarda il gas.

#### **Andamento del PUN e del PSV negli ultimi anni**

Il PUN, acronimo di Prezzo Unico Nazionale, è il prezzo di riferimento dell'energia elettrica acquistata in borsa. Diversamente da come si potrebbe pensare, non tutti i fornitori sono anche produttori di energia elettrica, motivo per cui esiste la borsa elettrica. All'interno di questo mercato si viene a quantificare il Prezzo Unico Nazionale sulla base di tariffe che vengono determinate nel mercato del giorno del prima.

A partire dal 2012 fino al 2016 il PUN ha fatto registrare una forte decrescita dei prezzi per l'effetto combinato di una serie di congiunture. Le principali cause risiedono nel calo dei consumi di energia elettrica, nell'incremento della produzione da fonti rinnovabili e nella riduzione del prezzo del gas italiano ai livelli degli altri stati europei. Dopo il prezzo minimo raggiunto nel 2016, negli ultimi anni la tendenza si è invertita e il PUN è tornato a crescere, complici diversi fattori tra i quali la lieve ripresa economica del paese.

Il Punto di Scambio Virtuale (PSV) è il principale punto di incontro tra domanda e offerta del mercato del gas in Italia. Qui si definisce il prezzo del gas all'ingrosso e in base a questo valore i fornitori gas valutano il prezzo della materia prima gas da applicare ai clienti finali. Nel Punto Virtuale di Scambio, concettualmente localizzato tra i punti di entrata e uscita della rete del gas, avvengono, quindi, gli scambi di acquisto e vendita del gas poi immesso nella rete stessa.

L'andamento del prezzo del PSV ha avuto un crollo nel 2009 per poi stabilizzarsi negli anni successivi fino al 2013. In seguito il prezzo del gas è diminuito, anche nei principali hub a livello internazionale, seguendo l'andamento registrato a livello mondiale (Stati Uniti e Asia). Negli ultimi due anni il prezzo gas PSV è tornato a salire, con un deciso rincaro nel 2018, raggiungendo il massimo degli ultimi 5 anni.

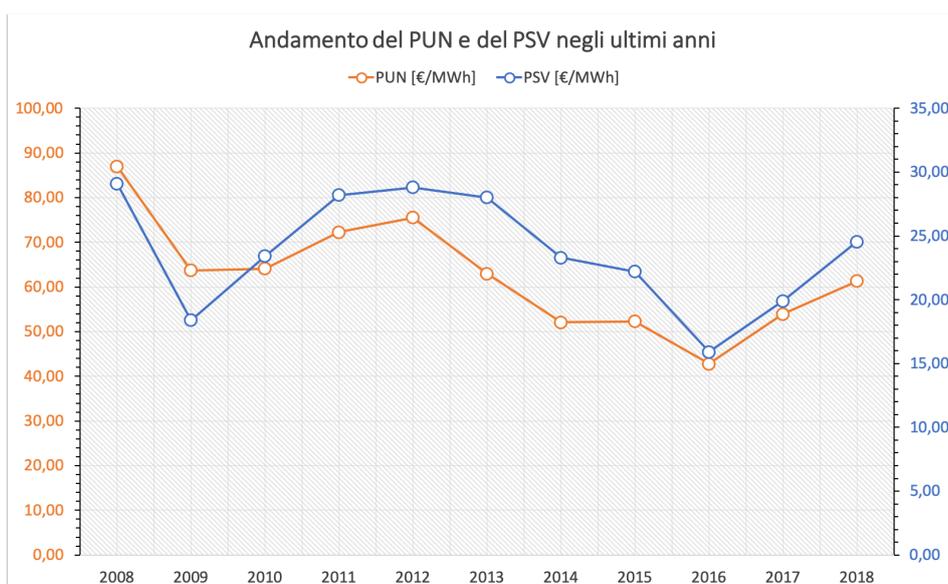


Figura 3.21: Andamento PUN e PSV (fonte: GME)

Il prezzo del gas al PSV è indicato in €/MWh e non al metro cubo per indicare il prezzo per unità di energia e per uniformità con gli altri paesi. Il valore può essere espresso in €/Smc considerando il potere calorifico superiore del gas (PCS) pari a 38,52 MJ/Smc.

## 3.2 Caratterizzazione energetica

La caratterizzazione energetica di un sistema è il primo passo per riuscire a ridurre i consumi, poiché prevede lo sviluppo di un modello matematico attraverso cui è possibile confrontare diverse opzioni di risparmio.

L'approccio seguito per mettere in relazione i costi energetici con le variabili che li influenzano (chiamati energy drivers), si rifà all'ABCM (Activity Based Cost Management), una metodologia che punta a recuperare voci di costo che sono collocate tra le spese generali di sistema per renderle più flessibili e aderenti al costo della produzione.

L'individuazione delle relazioni tra costi/consumi di energia ed energy drivers era già presente all'interno della metodologia chiamata Energy Monitoring & Targeting, nata negli Stati Uniti negli anni 30 del secolo scorso. Ad oggi, questa individuazione, non può prescindere dalla norma ISO 50001 del 2011 riguardante i Sistemi di Gestione dell'energia. L'Energy Monitoring & Targeting si propone di raccogliere, analizzare e interpretare le informazioni sull'uso dell'energia, individuando le opportunità per ridurre i consumi e i costi.

Il Sistema di Gestione dell'Energia, in accordo con la norma ISO 50001, impegna direttamente i vertici dell'organizzazione nei riguardi dell'energia chiedendo di definire gli scopi, i confini del sistema e una politica energetica con l'obiettivo di misurare le prestazioni energetiche nell'ottica di un continuo miglioramento.

L'attività di energy monitoring e targetting può essere effettuata a livello macroscopico, per esempio a livello di stabilimento, o focalizzarsi su aree specifiche, in presenza però di misuratori idonei. Poiché all'interno dello stabilimento in esame non erano ancora presenti misuratori specifici, l'attività di monitoraggio è stata effettuata a livello macroscopico.

Gli energy drivers consistono in tutte le variabili che possono influenzare i consumi di energia. Generalmente sono identificabili nella produzione e nelle condizioni climatiche.

### 3.2.1 Energy drivers

I dati climatici sono stati scaricati dal sito dell'*Arpa Piemonte - Banca dati meteorologica* con riferimento alla stazione di Caselle Torinese e sono stati considerati:

- temperatura media esterna giornaliera;
- irraggiamento medio giornaliero;
- umidità media giornaliera.

A partire da questi dati sono stati poi ricavati i gradi giorno invernali (GG\_H) considerando una temperatura interna di riferimento pari a 20°C. La formula generale per il calcolo dei GG\_H è:

$$GG_H = \sum_j^{ng} GG_j = \sum_j^{ng} T_i - T_{em,j}$$

dove  $ng$  rappresenta il numero di giorni che si considerano,  $GG_j = T_i - T_{em,j}$  rappresenta i gradi giorno per il  $j$ -esimo giorno,  $T_i$  rappresenta la temperatura interna di riferimento e  $T_{em,j}$  rappresenta la temperatura esterna media giornaliera;

Il driver relativo alla produzione che è stato considerato è il numero di ore lavorate giornaliere, calcolate in base alla potenza assorbita dallo stabilimento. Infatti, si è notato che nelle ore non lavorative la potenza assorbita è inferiore a 40 kW, mentre nelle restanti ore si supera tale valore.

### 3.2.2 Ricerca di un legame lineare tra consumi ed energy driver

L'obiettivo che si vuole ottenere con l'Energy Monitoring & Targeting è la caratterizzazione del sistema dal punto di vista dei consumi energetici con un modello matematico per avere un riferimento con cui prevedere i consumi futuri. All'interno della ISO 50001 questo modello è chiamato energy baseline e viene utilizzato per calcolare gli Indicatori di Prestazione Energetica (EnPI), in modo da misurare le prestazioni del sistema e individuare le opportunità di miglioramento.

La caratterizzazione energetica stabilisce una relazione tra i consumi energetici e gli energy drivers. I processi si distinguono in:

- quelli per cui l'uso di energia può essere determinato conoscendo la fisica del processo, per i quali trovare gli energy drivers è più facile;
- quelli per cui la fisica non fornisce sufficienti informazioni sull'uso dell'energia, per i quali identificare gli energy drivers risulta più complesso.

Le informazioni relative ai drivers e i consumi devono inoltre essere temporalmente sincronizzate e la base temporale assunta deve essere costante (nel caso in esame la base temporale è giornaliera, settimanale o mensile). In questo modo l'energia consumata può essere riportata a un'espressione del tipo:

$$E = E_0 + f_1(\alpha) + f_2(\beta) + \dots$$

in cui  $E_0$  è un termine fisso e  $f_1$  e  $f_2$  rappresentano i termini variabili in funzione degli energy drivers. L'equazione della retta che interpola i dati può essere ricavata col metodo dei minimi quadrati e l'intercetta rappresenta l'energia necessaria per un sistema con un livello nullo del driver considerato, la pendenza è la quantità di energia necessaria a produrre l'incremento di un'unità del driver e la dispersione dei punti mostra che la quantità di energia può variare da un periodo all'altro ed è legata a fattori operativi. La retta di interpolazione avrà una forma del tipo:

$$C = C_0 + c \cdot Driver$$

dove  $C_0$  e  $c$  sono coefficienti ricavati dai dati sperimentali. Nei casi in cui l'intercetta  $C_0$  abbia un valore elevato, è necessario riflettere sulle cause di quel comportamento che possono essere tre:

- il sistema è intrinsecamente caratterizzato da un elevato consumo fisso e un basso consumo addizionale;
- guasti e cattiva manutenzione, se il sistema non ha per sua natura alti costi fissi;

- l'energy driver non tiene conto del processo produttivo, o il sistema dipende anche da altri driver.

In presenza di più variabili che influenzano l'uso dell'energia si ricorre a una relazione multivariabile, che per una dipendenza lineare assume la seguente forma:

$$C = C_0 + c_1 \cdot Driver_1 + c_2 \cdot Driver_2 + \dots$$

Affinché la regressione possa essere assunta come baseline e i dati misurati rappresentino effettivamente il comportamento del sistema, devono essere convalidati dall'analisi statistica. Questo passaggio è molto importante, poiché tutte le analisi successive si basano su questo modello ed è quindi necessario che la sua attendibilità sia elevata.

Può accadere che l'analisi di regressione produca risultati deludenti, per esempio un basso coefficiente di determinazione  $R^2$ , scarsa significatività dei parametri, etc. I motivi possono essere i seguenti:

- driver insufficienti o non adatti;
- la variabilità del dato è troppo elevata (il sistema è cambiato molto nel tempo);
- le variabili indipendenti sono fortemente correlate (ci sono driver di troppo).

Noti i consumi di elettricità e del gas naturale, di seguito si trovano per le due tipologie di vettore energetico le dipendenze lineari da ciascun energy driver.

### 3.2.3 Energia elettrica

Di seguito sono riportati i grafici che rappresentano le correlazioni tra l'energia elettrica e i diversi energy driver e vengono calcolati: la retta di regressione lineare e l'indice di determinazione lineare  $R^2$ . Tale numero è compreso fra 0 ed 1. Quanto più è prossimo a 0 tanto minore è la devianza totale spiegata dal modello lineare, mentre quanto più  $R^2$  è prossimo a 1, tanto maggiore è la devianza totale spiegata dal modello.  $R^2$  se espresso in percentuale, indica la percentuale della variabilità di C che è dovuta al legame lineare con il driver. L'indice di determinazione lineare non è altro che il quadrato del coefficiente di correlazione R e quindi, in alternativa, noto quest'ultimo, per trovare il coefficiente di determinazione basta elevarlo al quadrato. I dati usati si riferiscono all'anno 2018.

#### Correlazioni su base giornaliera

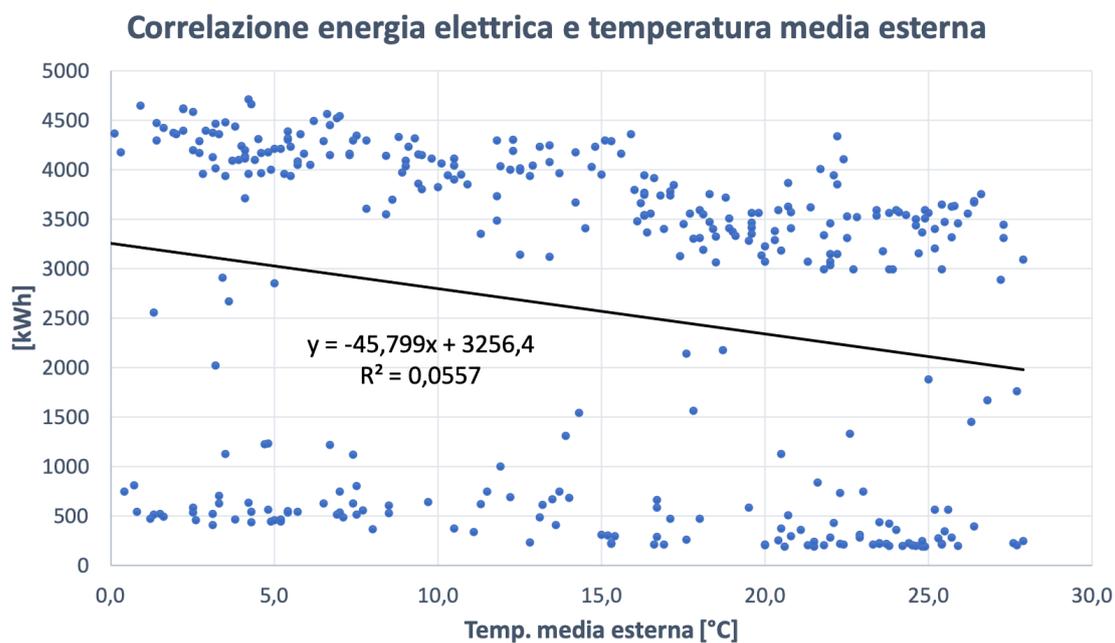


Figura 3.22: Correlazione tra energia elettrica e temperatura media esterna

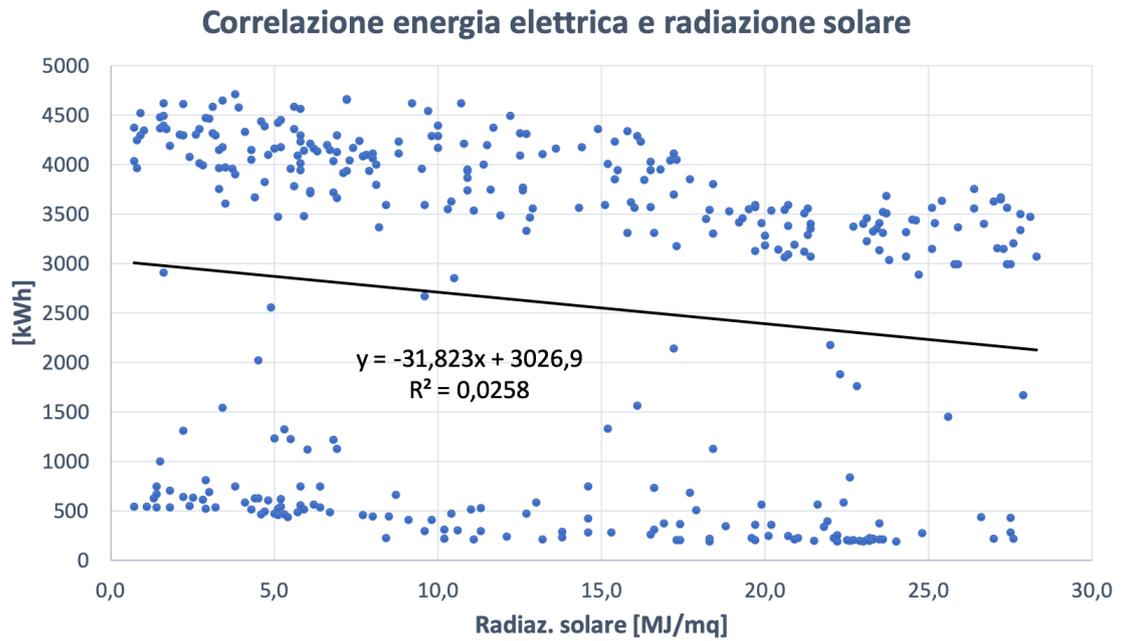


Figura 3.23: Correlazione tra energia elettrica e radiazione solare

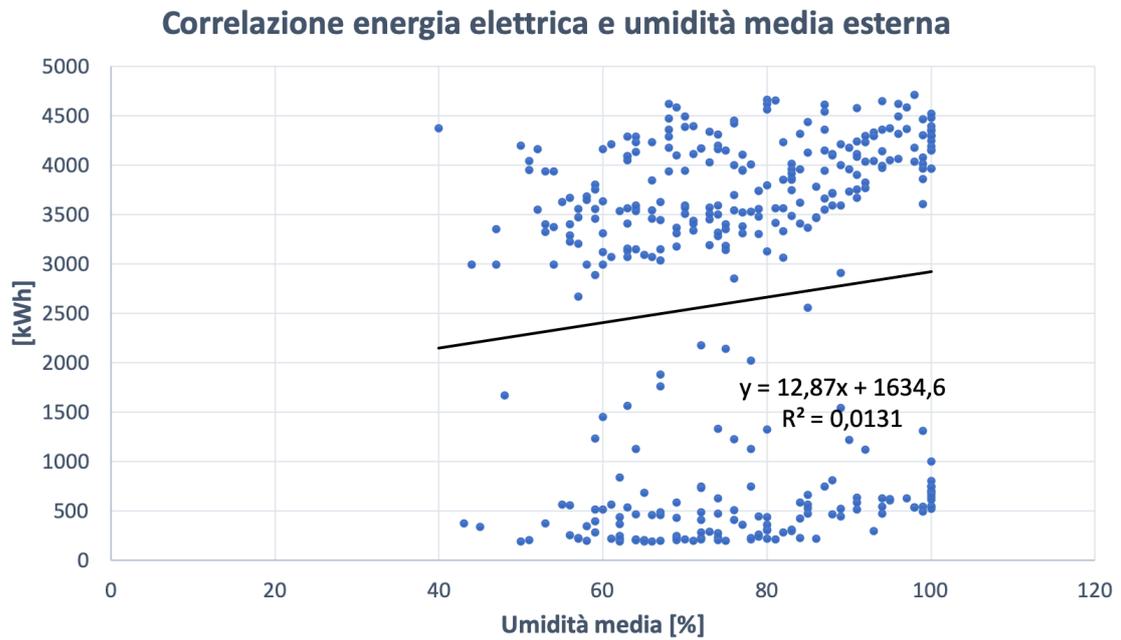


Figura 3.24: Correlazione tra energia elettrica e umidità media esterna

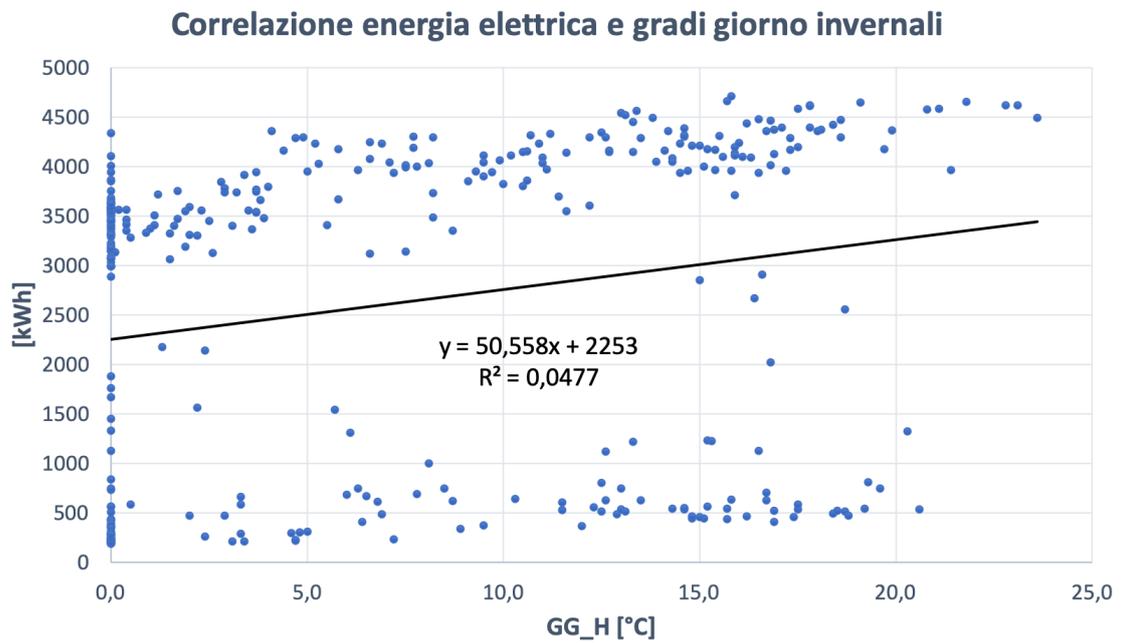


Figura 3.25: Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali

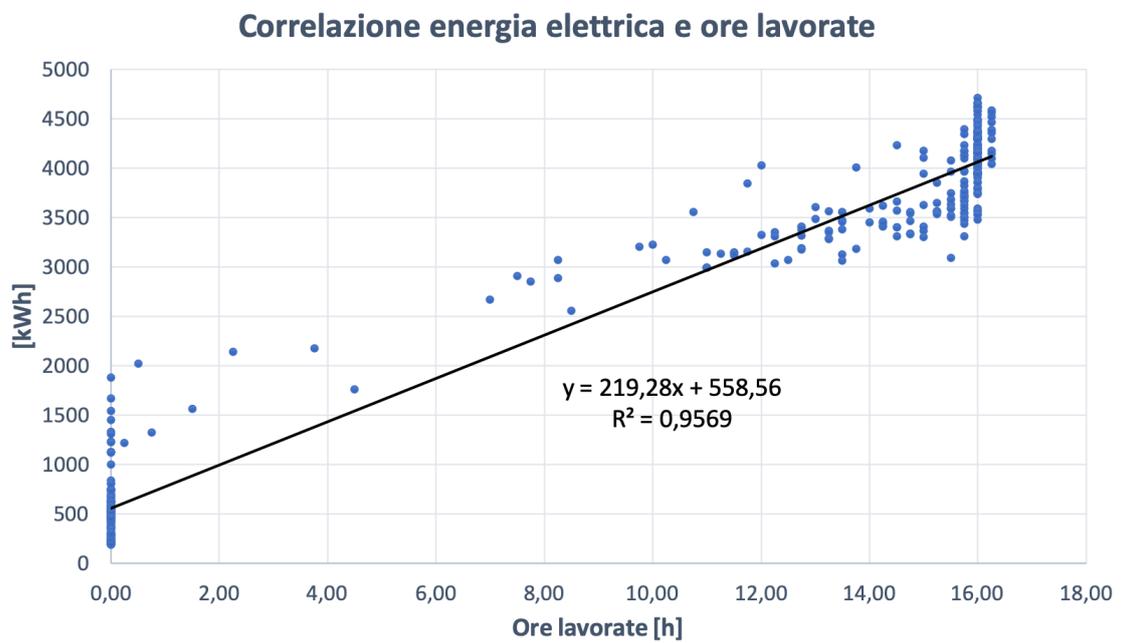


Figura 3.26: Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate

La prima considerazione è che c'è un legame stretto tra consumo di energia elettrica e ore lavorate, visto il valore di  $R^2$  pari a 95,7%. Inoltre, dall'analisi di regressione, Figura 3.27, risultano valori di significatività molto prossimi a 0 e quindi accettabili. Potremmo concludere definendo la caratteristica energetica nel seguente modo:

$$kWh_g = 558,56 + 219,29 \cdot A_g$$

dove  $A_g$  rappresenta il numero di ore lavorate giornaliere. Facendo un confronto tra il modello e i dati sperimentali, si è notato che questa caratteristica riesce a riprodurre la periodicità, ma non riesce a spiegare i consumi più alti nei mesi invernali (Figura 3.28).

OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,978199229
R al quadrato	0,956873732
R al quadrato corretto	0,956754927
Errore standard	340,5828137
Osservazioni	365

ANALISI VARIANZA

	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	1	934253727,5	934253727,5	8054,143835	6,8684E-250
Residuo	363	42106785,03	115996,653		
Totale	364	976360512,5			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	558,5608243	29,09132404	19,20025446	3,32187E-57	501,3521351	615,7695135	501,3521351	615,7695135
Ore lav [h]	219,2782943	2,443351526	89,74488194	6,8684E-250	214,4733931	224,0831955	214,4733931	224,0831955

Figura 3.27: Analisi regressione con variabile: ore lavorate

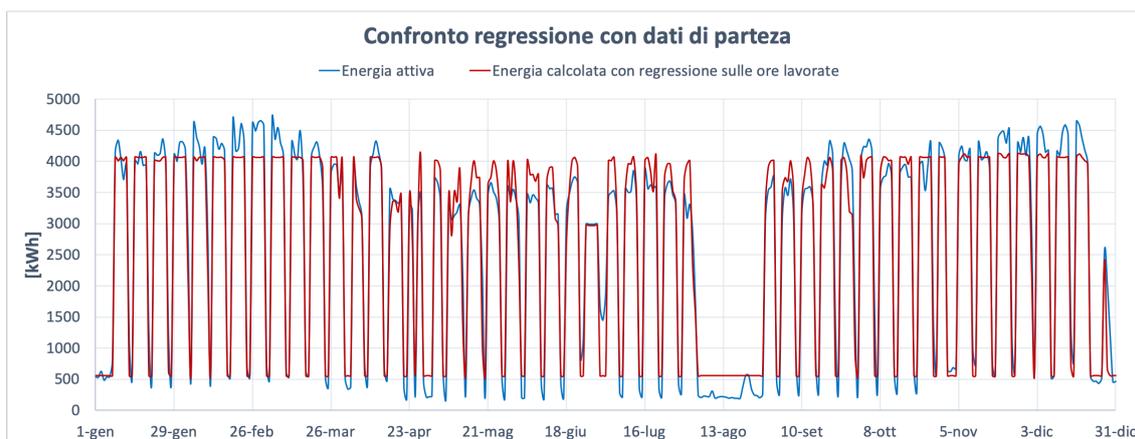


Figura 3.28: Andamento regressione con variabile: ore lavorate

Successivamente, come già visto dall'analisi dei consumi e anche dai grafici sopra, si è notato un consumo maggiore durante il periodo invernale e quindi è stato facile pensare a un possibile legame con i gradi giorno invernali. Inoltre, visti i bassi valori di  $R^2$  (tra 1% e 5%) trovati con gli energy drivers legati alle condizioni climatiche, si è cercato di capirne il motivo e si è giunti alla conclusione che vi sono dei giorni che influenzano negativamente le correlazioni. Questi punti sono stati individuati nei giorni festivi e/o di ferie. A tal proposito è stata fatta una regressione multivariabile separando i dati temporali in due blocchi e considerando come energy drivers le ore lavorate e i gradi giorno invernali, questi ultimi perchè meglio rappresentano la richiesta di energia termica dovuta al riscaldamento. Quindi, sono state create due caratteristiche diverse, una valida per i giorni feriali e una valida per i giorni festivi.

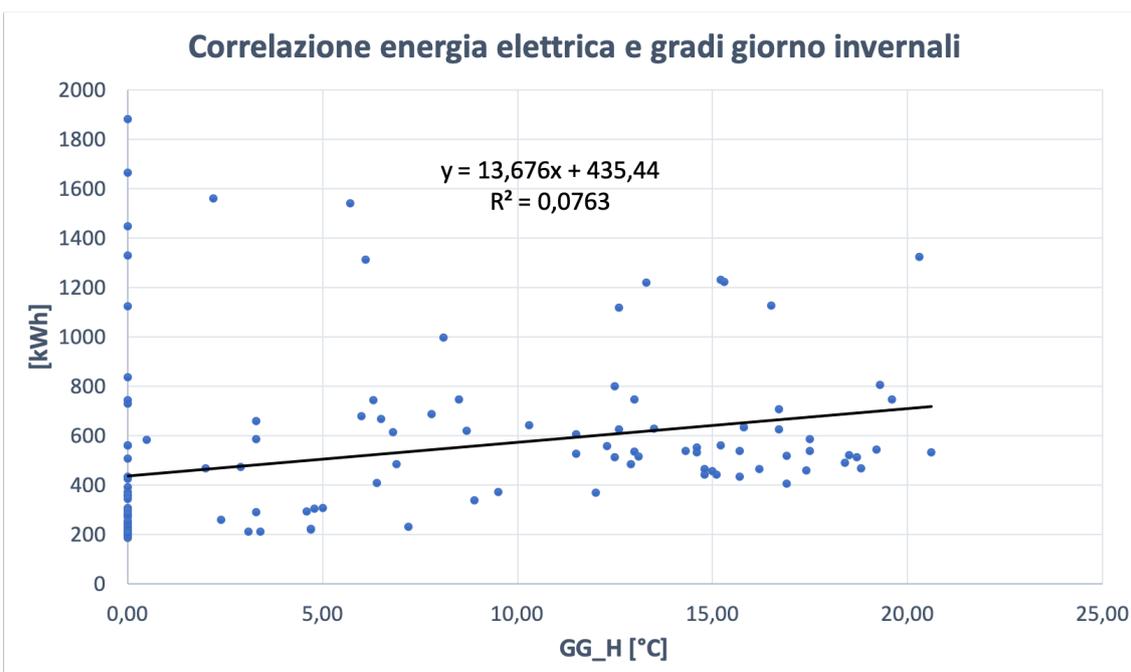


Figura 3.29: Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali per i giorni festivi

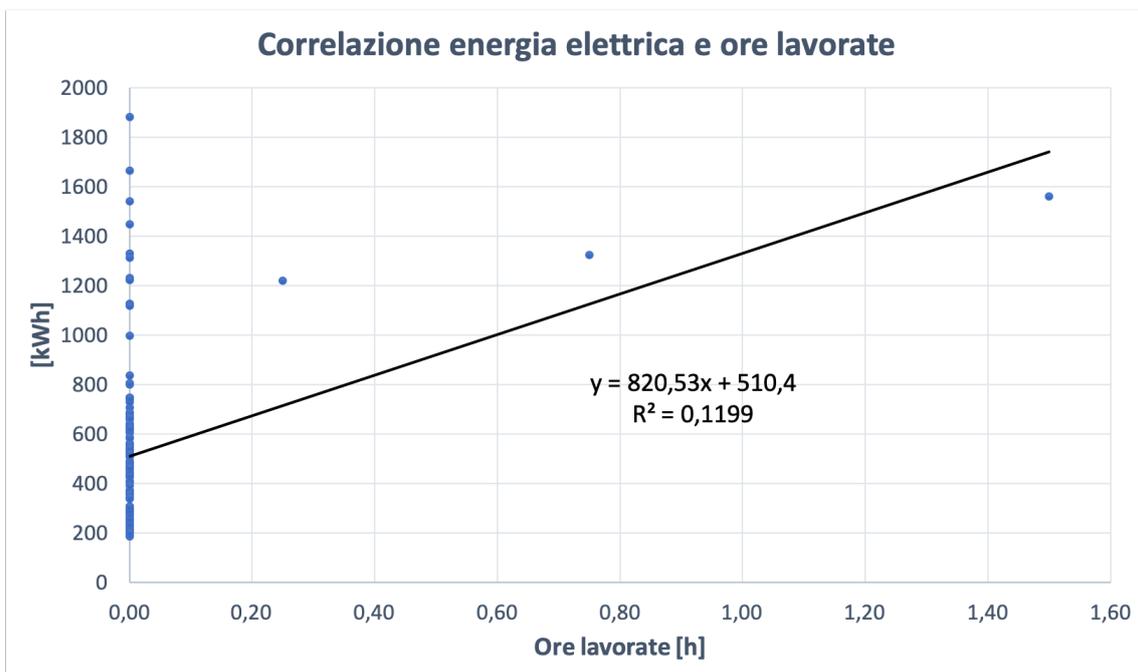


Figura 3.30: Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate per i giorni festivi

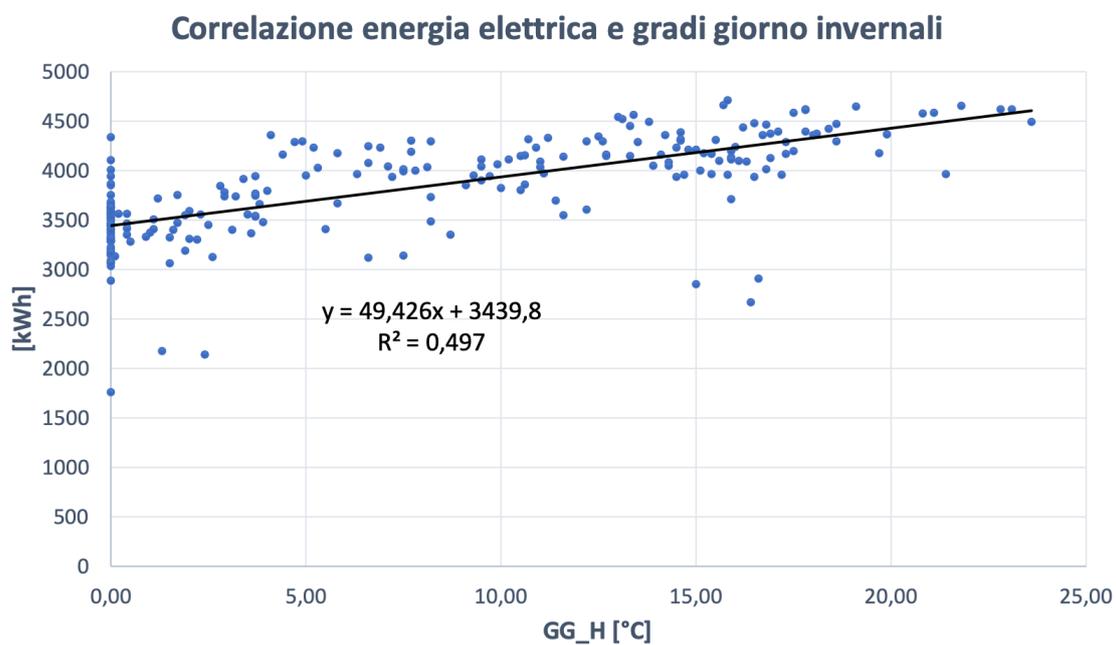


Figura 3.31: Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali per i giorni feriali

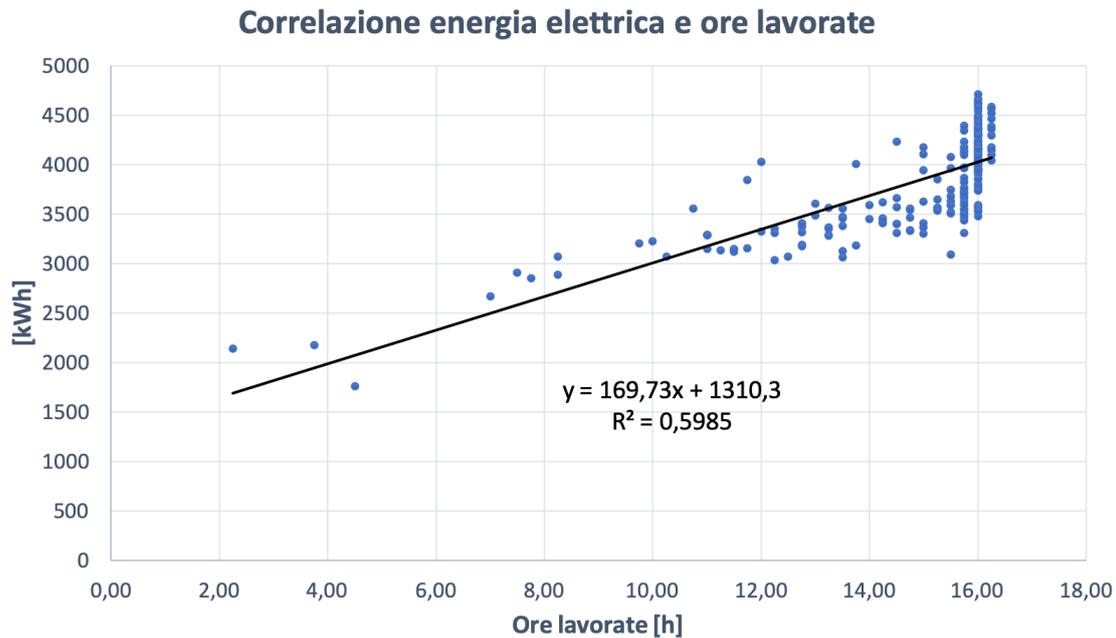


Figura 3.32: Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate per i giorni feriali

I grafici mostrano come sia difficile realizzare una caratteristica energetica per i giorni festivi. Questi sembrano caratterizzati da un consumo che non dipende dagli energy drivers usati, anche se era scontato trovare un risultato pessimo per la correlazione con le ore lavorate, dato che ci si aspetta che siano sempre pari a 0 nei giorni festivi. Un controllo maggiore potrà sicuramente chiarire perchè in determinati giorni "festivi" sia presente un consumo elevato di energia elettrica e quali energy drivers usare per spiegare tali consumi. Per tale motivo, si è pensato di considerarli costanti e divisi in due periodi: periodo invernale (15 ottobre - 15 aprile) e periodo estivo. I valori sono stati trovati mediante una media aritmetica.

$$kWh_{\text{giorni festivi invernali}} = 564$$

$$kWh_{\text{giorni festivi estivi}} = 289$$

Per quanto riguarda i giorni feriali, invece, le correlazioni tra energia elettrica e ore lavorate e tra energia elettrica e gradi giorno invernali presentano degli  $R^2$  pari

rispettivamente a 58,9% e a 49,7%. Non essendo i risultati soddisfacenti, si è ricorsi a una relazione multivariabile tra energia elettrica, gradi giorno invernali e numero di ore lavorate. Tale modello bi-variabile ha portato i seguenti risultati: un valore di  $R^2$  pari al 80,2% e valori di significatività dei coefficienti molto prossimi allo zero e quindi accettabili, avendo imposto  $\alpha = 5\%$ .

OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,895571364
R al quadrato	0,802048068
R al quadrato corretto	0,800334199
Errore standard	228,8187272
Osservazioni	234

ANALISI VARIANZA					
	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	2	49004477,6	24502238,8	467,974983	5,65784E-82
Residuo	231	12094700,29	52358,00992		
Totale	233	61099177,89			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	1541,10057	91,16747724	16,90406071	2,88649E-42	1361,474506	1720,726634	1361,474506	1720,726634
Ore lav [h]	137,3995234	6,370004858	21,56976744	2,90893E-57	124,8487878	149,950259	124,8487878	149,950259
GG_H [°C]	31,983507	2,215099689	14,43885671	4,14199E-34	27,61912563	36,34788836	27,61912563	36,34788836

Figura 3.33: Analisi regressione bi-variabile giorni feriali

L'equazione di caratterizzazione per i giorni feriali è:

$$kWh_{giorni\ feriali} = 1541,10 + 137,40 \cdot A_g + 31,98 \cdot B_g$$

dove  $A_g$  sono le ore lavorate giornaliere e  $B_g$  i gradi giorno invernali giornalieri. Unendo i valori trovati divisi per giorni feriali e giorni festivi, a loro volta divisi a seconda del periodo considerato, è stato possibile effettuare un confronto tra la curva del modello e i dati sperimentali.

$$kWh_g = \begin{cases} 1541,10 + 137,40 \cdot A_g + 31,98 \cdot B_g & \text{se giorno feriale} \\ 564 & \text{se giorno festivo (15 ott - 15 apr)} \\ 289 & \text{se giorno festivo (16 apr - 14 ott)} \end{cases}$$

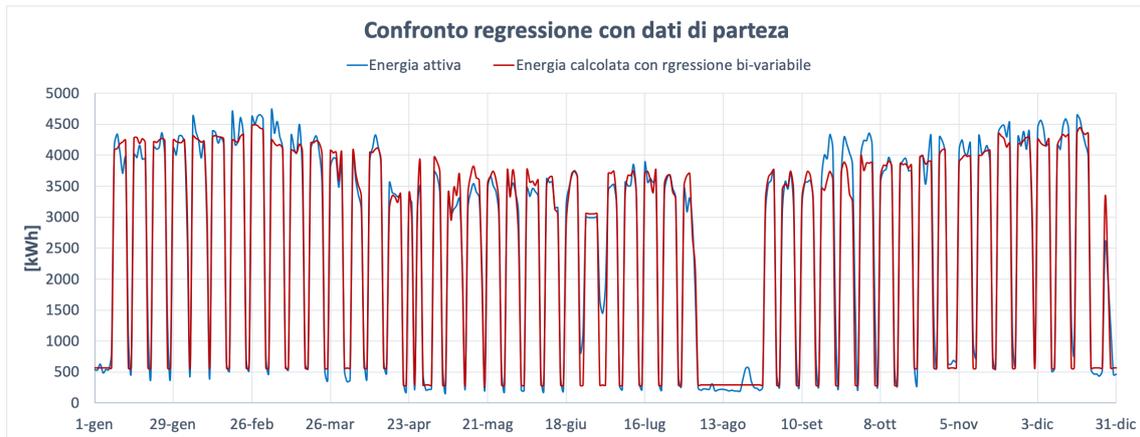


Figura 3.34: Andamento regressione bi-variabile

In questo modo è possibile notare come la curva del modello trovato riesce a sovrapporsi ai dati sperimentali, riuscendo a mantenere la periodicità. Inoltre, rispetto alla prima correlazione trovata con le ore lavorate, questa curva, vista anche la presenza dei gradi giorno invernali come energy driver per i giorni feriali, riesce a descrivere meglio il periodo invernale in cui i consumi sono più elevati rispetto al periodo estivo. L'unico problema rimane nelle tre settimane a cavallo tra settembre e ottobre in cui il consumo risulta maggiore perché un solo reparto ha lavorato su 3 turni e non su 2 come solito fare. Avendo impostato il tetto massimo delle ore lavorate a 16 ore (2 turni da 8 ore ciascuno), quel consumo, con le ipotesi fatte, non lo si riesce a spiegare col modello trovato.

Per superare l'ostacolo presentato dai consumi nei giorni festivi, che negativamente influenzano la correlazione, si è passati ad un'analisi settimanale prima e mensile dopo, in quanto in questo modo si è ridotto il numero di dati e le oscillazioni sono state smussate. Sono stati considerati solo i due drivers individuati precedentemente, ovvero numero di ore lavorate e gradi giorno invernali.

**Correlazioni su base settimanale**

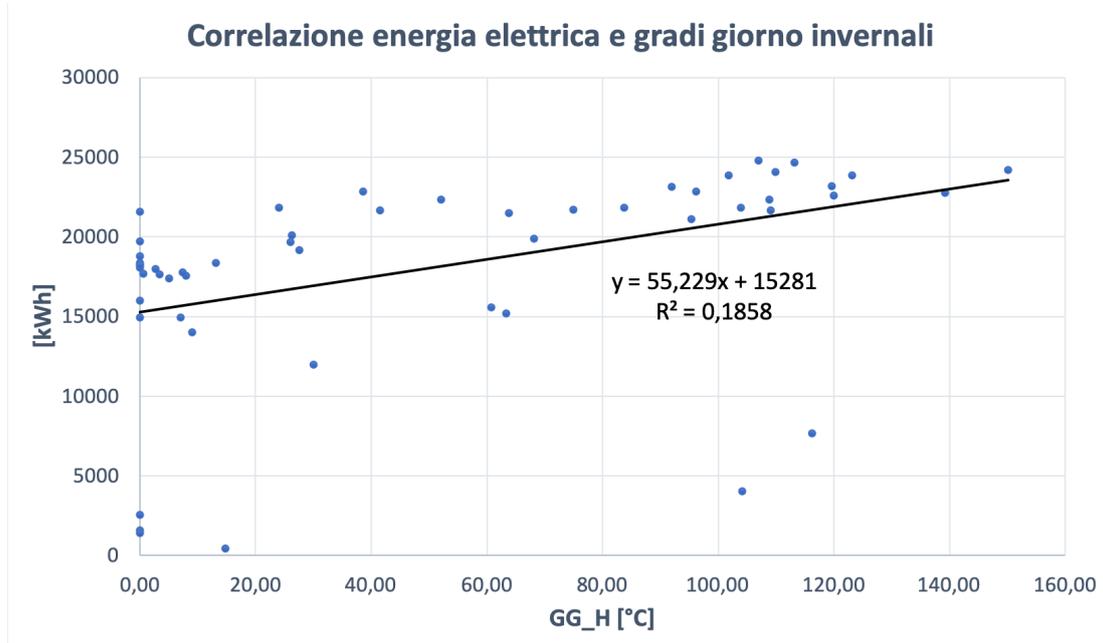


Figura 3.35: Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali su base settimanale

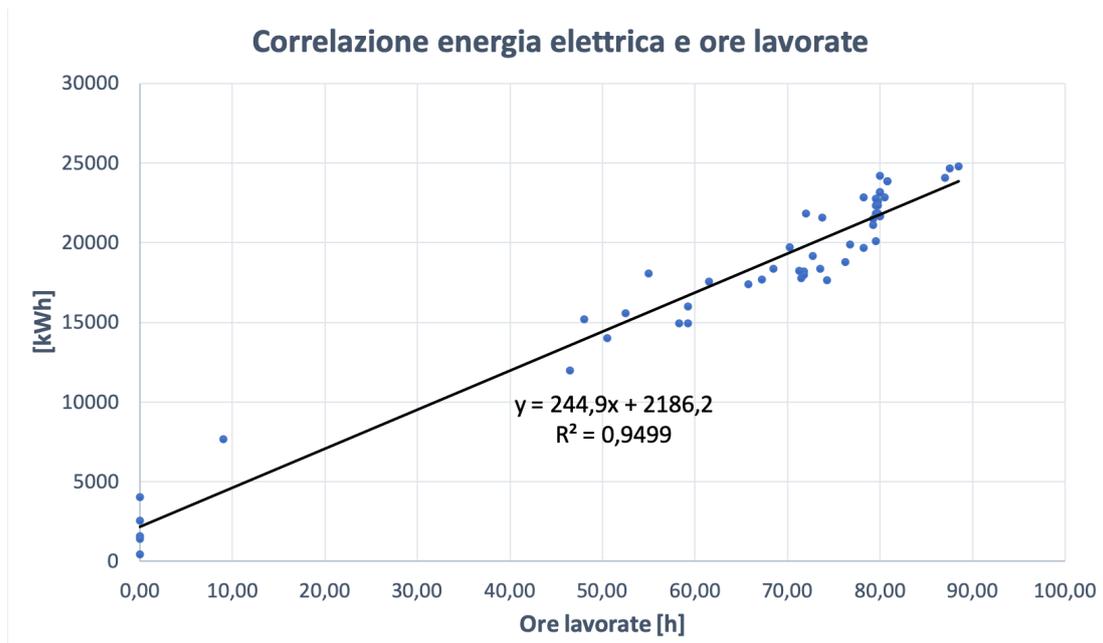


Figura 3.36: Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate su base settimanale

Come ci si aspettava, il risultato su base settimanale è migliorato notevolmente, nonostante sia ancora difficile riuscire a separare le settimane di ferie e quelle in cui sono presenti giorni di festività. Anche in questo caso, per tenere conto di un consumo maggiore nel periodo invernale, si è passati a una relazione bi-variabile. I risultati ottenuti sono: un valore di  $R^2$  pari a 97,2% e valori di significatività dei coefficienti molto prossimi allo zero.

OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,985869764
R al quadrato	0,971939191
R al quadrato corretto	0,970816759
Errore standard	1067,945076
Osservazioni	53

ANALISI VARIANZA					
	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	2	1975180299	987590149,5	865,9222797	1,59406E-39
Residuo	50	57025334,29	1140506,686		
Totale	52	2032205633			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	1937,47189	414,5786011	4,673352376	2,27232E-05	1104,766263	2770,177517	1104,766263	2770,177517
Ore lav [h]	233,3155819	6,233804413	37,42747871	3,10129E-38	220,7946173	245,8365466	220,7946173	245,8365466
GG_H [°C]	19,90350338	3,178877338	6,261173762	8,58177E-08	13,51854034	26,28846642	13,51854034	26,28846642

Figura 3.37: Analisi regressione bi-variabile su base settimanale

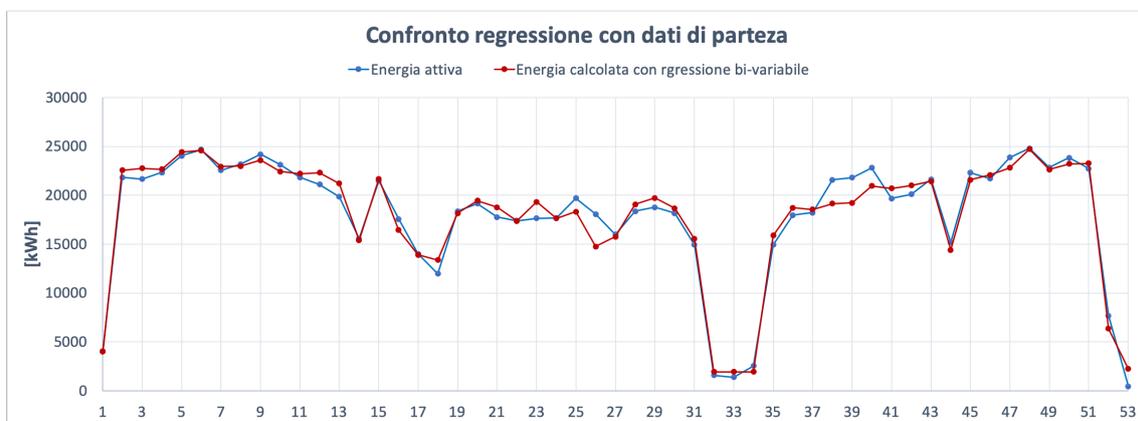


Figura 3.38: Andamento regressione bi-variabile su base settimanale

L'equazione di caratterizzazione su base settimanale è:

$$kWh_{settimanali} = 1937,47 + 233,32 \cdot A_s + 19,90 \cdot B_s$$

dove  $A_s$  sono le ore lavorate settimanali e  $B_s$  i gradi giorni invernali settimanali.

**Correlazioni su base mensile**

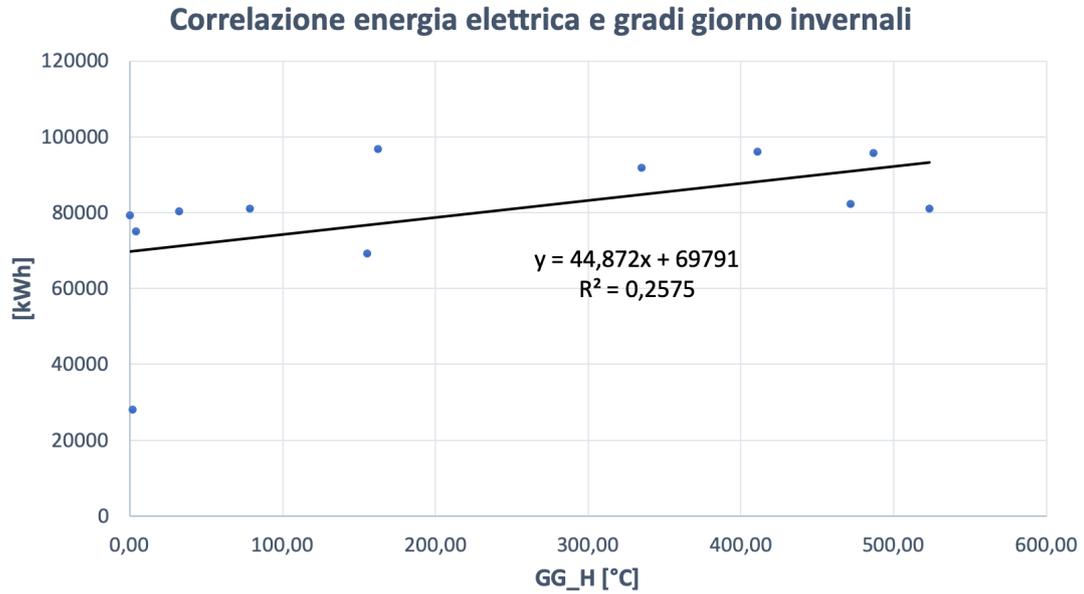


Figura 3.39: Correlazione tra energia elettrica e gradi giorno invernali su base mensile

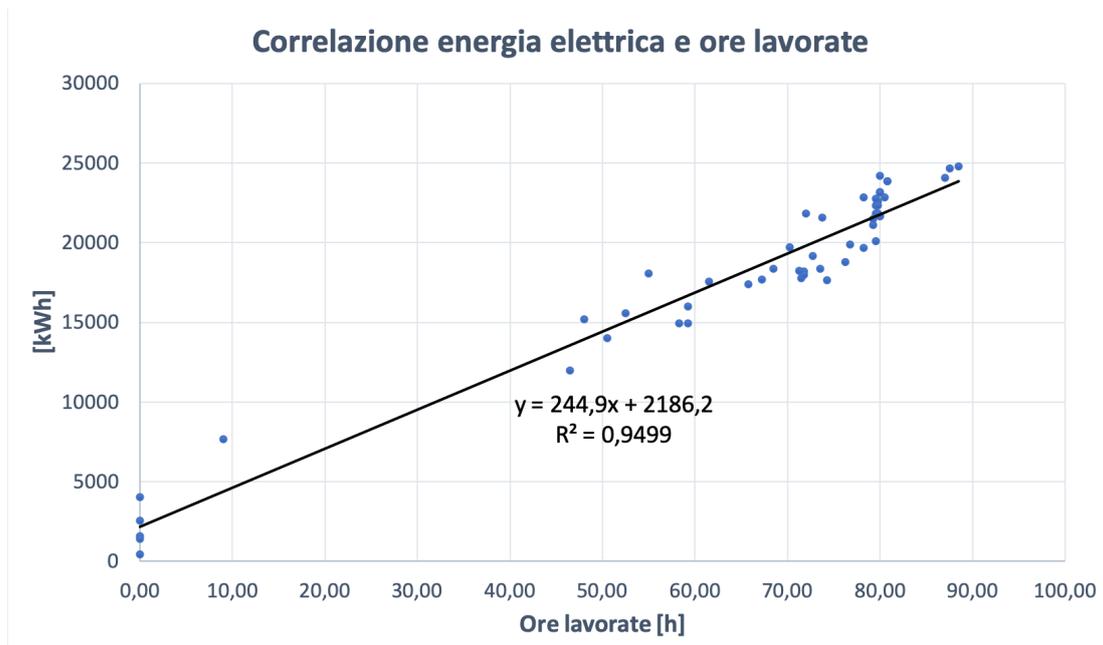


Figura 3.40: Correlazione tra energia elettrica e ore lavorate su base mensile

Anche in questo caso è stata considerata una relazione bi-variabile con risultati ancora migliori, dovuto al fatto che i dati si sono ridotti e le oscillazioni smussate ulteriormente. I risultati ottenuti sono:  $R^2$  pari a 98,7% e valori di significatività non prossimi allo zero, ma comunque molto bassi, avendo impostato  $\alpha = 5\%$ .

OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,993452398
R al quadrato	0,986947668
R al quadrato corretto	0,98404715
Errore standard	2337,475898
Osservazioni	12

ANALISI VARIANZA					
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Significatività F</i>
Regressione	2	3718286124	1859143062	340,2659777	3,31586E-09
Residuo	9	49174142,16	5463793,573		
Totale	11	3767460266			

	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valore di significatività</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>Inferiore 95,0%</i>	<i>Superiore 95,0%</i>
Intercetta	9143,473952	2885,420244	3,16885347	0,011386948	2616,199879	15670,74803	2616,199879	15670,74803
Ore lav [h]	232,0344033	10,34590256	22,42766177	3,2984E-09	208,6303457	255,4384609	208,6303457	255,4384609
GG_H [°C]	18,91331233	3,561085102	5,311109334	0,000486661	10,85757815	26,9690465	10,85757815	26,9690465

Figura 3.41: Analisi regressione bi-variabile su base mensile

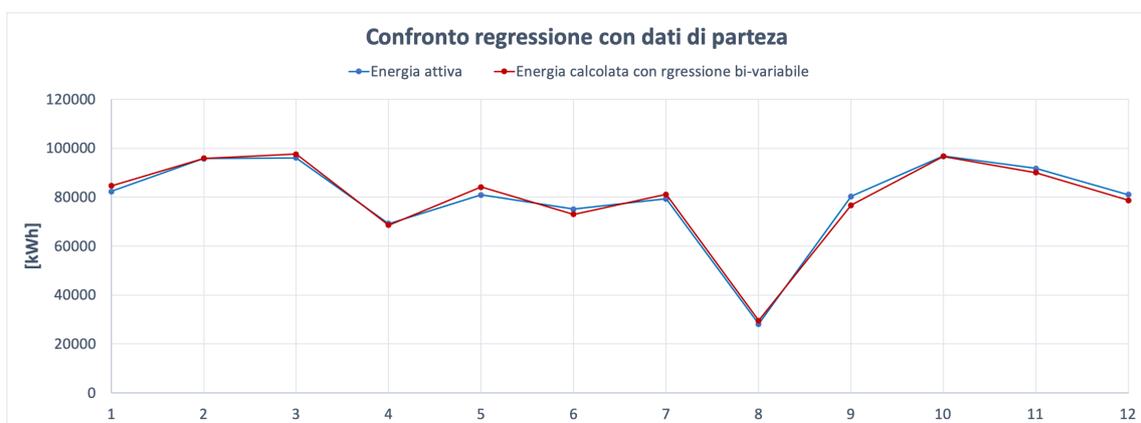


Figura 3.42: Andamento regressione bi-variabile su base mensile

L'equazione di caratterizzazione su base mensile è:

$$kWh_{mensili} = 9143,47 + 232,03 \cdot A_m + 18,91 \cdot B_m$$

dove  $A_m$  sono le ore lavorate mensili e  $B_m$  i gradi giorni invernali mensili.

### 3.2.4 Gas naturale

Di seguito i grafici rappresentanti le correlazioni tra consumo di gas naturale e gli energy drivers. Anche in questo caso i dati di consumo di gas naturale si riferiscono al 2018, ma solo a partire dal giorno 03/03/2018, in quanto da questa data sono disponibili su base giornaliera.

#### Correlazioni su base giornaliera

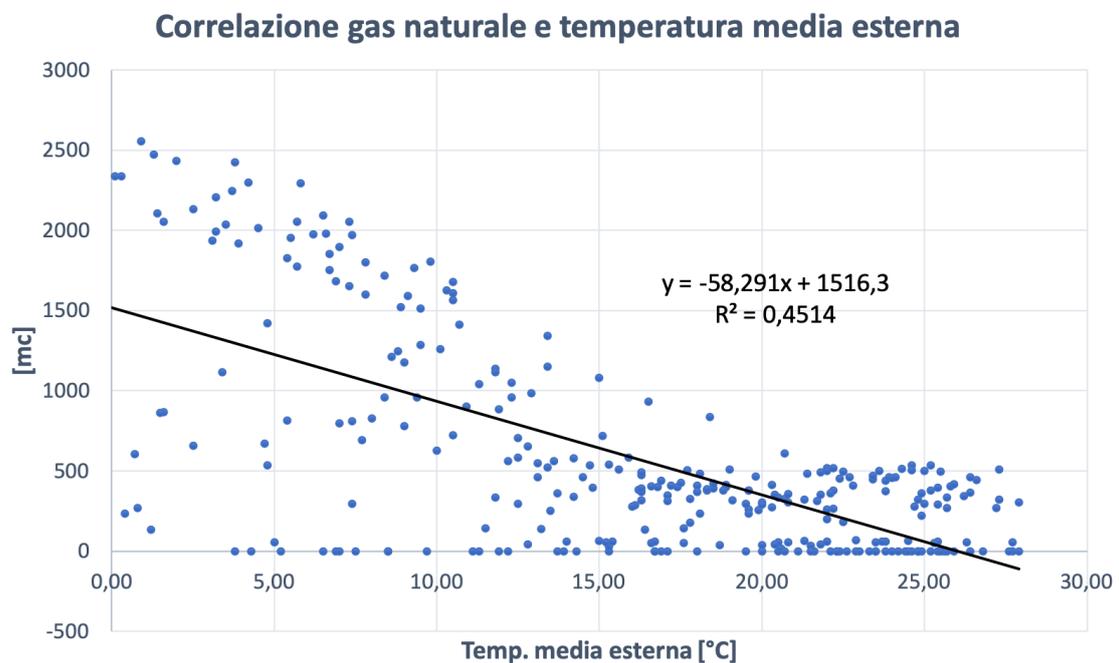


Figura 3.43: Correlazione tra gas naturale e temperatura media esterna

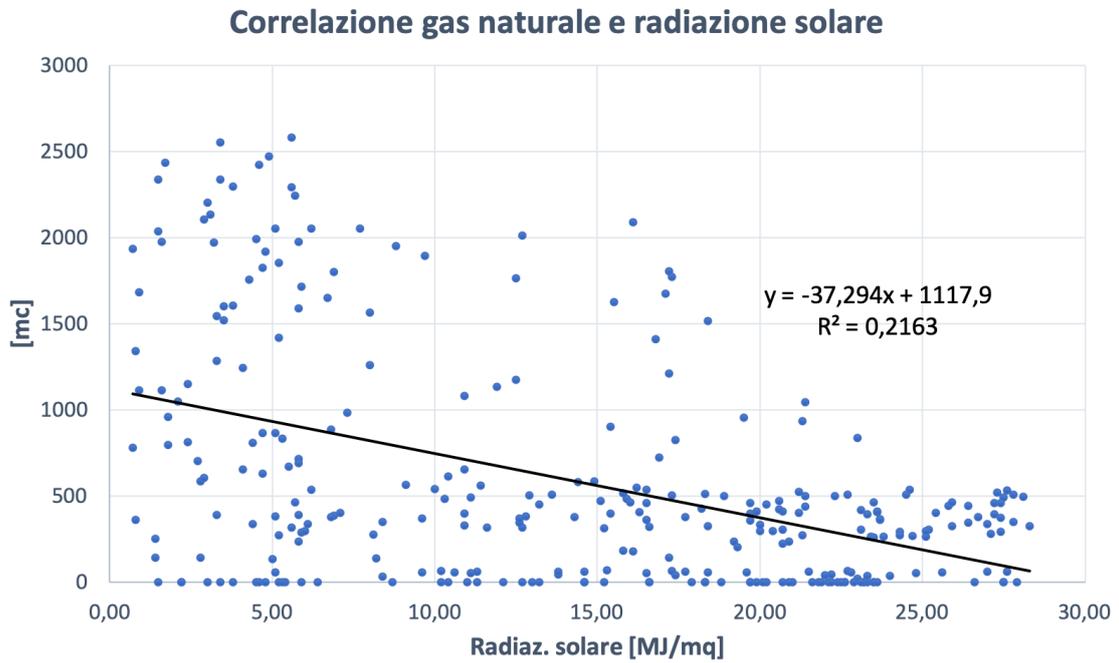


Figura 3.44: Correlazione tra gas naturale e radiazione solare

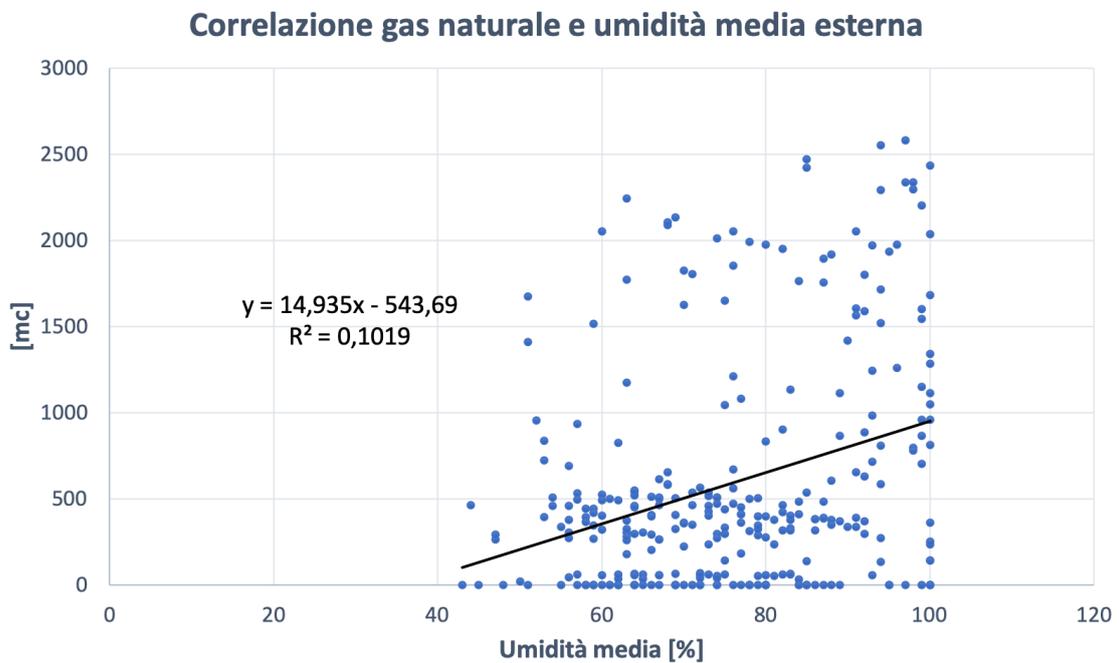


Figura 3.45: Correlazione tra gas naturale e umidità media esterna

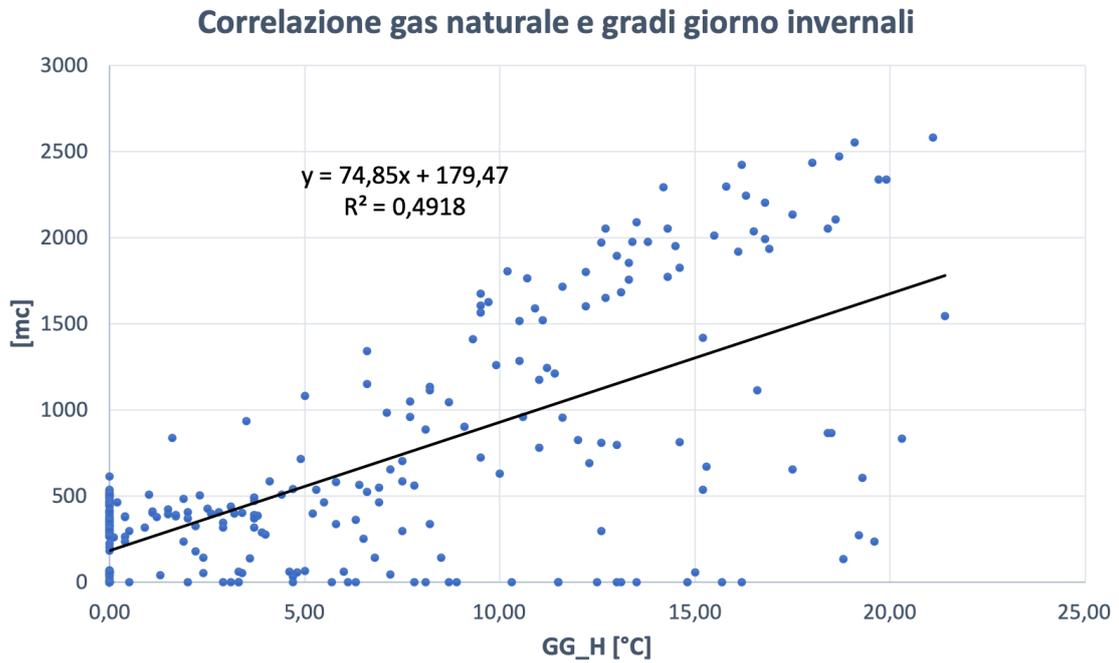


Figura 3.46: Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali

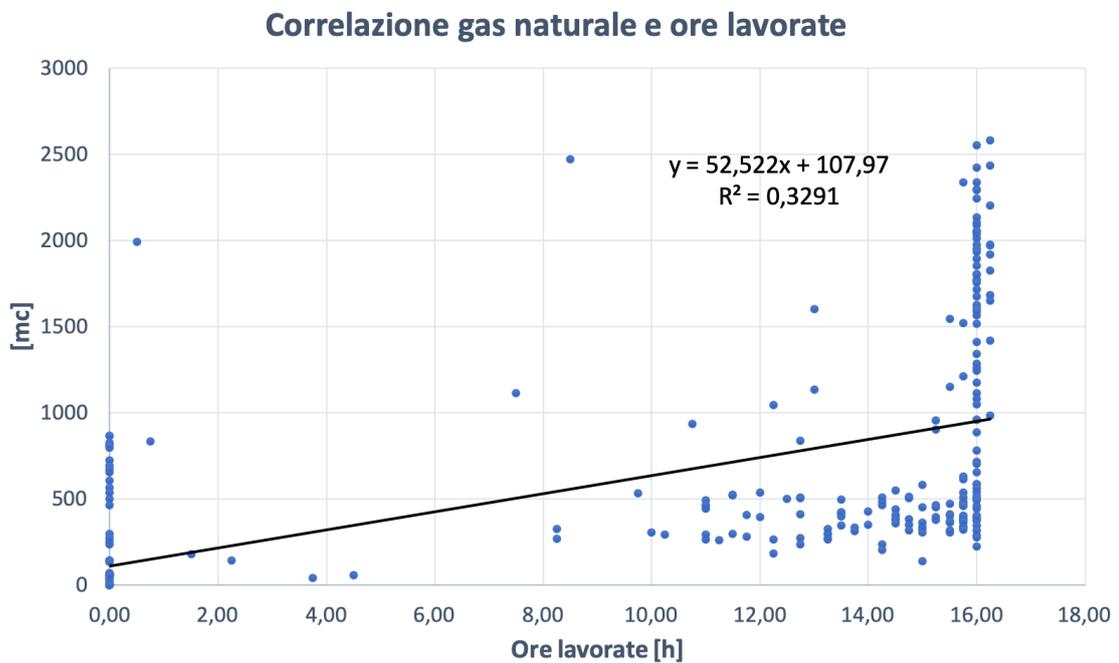


Figura 3.47: Correlazione tra gas naturale e ore lavorate

Nei grafici il grado di correlazione risulta più alto nei casi in cui i drivers sono:

- Temperatura media dell'aria esterna (45,1%);
- Gradi giorno invernali (49,2%)

Questi risultati sono coerenti con quello che ci si aspettava, dato che il maggior consumo di gas è dovuto al riscaldamento e quindi nel periodo invernale. Si è trovato un basso valore di correlazione con le ore lavorate perchè solo un reparto fa uso di gas naturale per la produzione e di questo reparto non è stato possibile conoscere le esatte ore lavorate nell'anno 2018.

Inoltre, si è osservato che ci sono dei punti in cui nonostante la temperatura esterna fosse bassa, o i gradi giorno elevati, il consumo risulta basso; questo perchè ci sono giorni, quali i sabati, le domeniche e i giorni festivi, in cui le caldaie rimangono accese per poco tempo. Per tale motivo, si è pensato di dare un peso ai gradi giorno invernali di questi giorni, in modo da ridurli e traslare i punti verso la retta di approssimazione. I coefficienti trovati grazie alla funzione "risolutore" di Excel sono:

$$\begin{cases} k_s = 0,1 & \text{se sabato} \\ k_d = 0,2 & \text{se domenica} \end{cases}$$

E quindi i gradi giorno sono stati modificati secondo la seguente equazione:

$$GG_{H,p} = GG_H \cdot k_{s,d}$$

Di seguito si riporta il grafico della correlazione lineare tra gas naturale e gradi giorno invernali, modificati dai coefficienti sopra descritti.

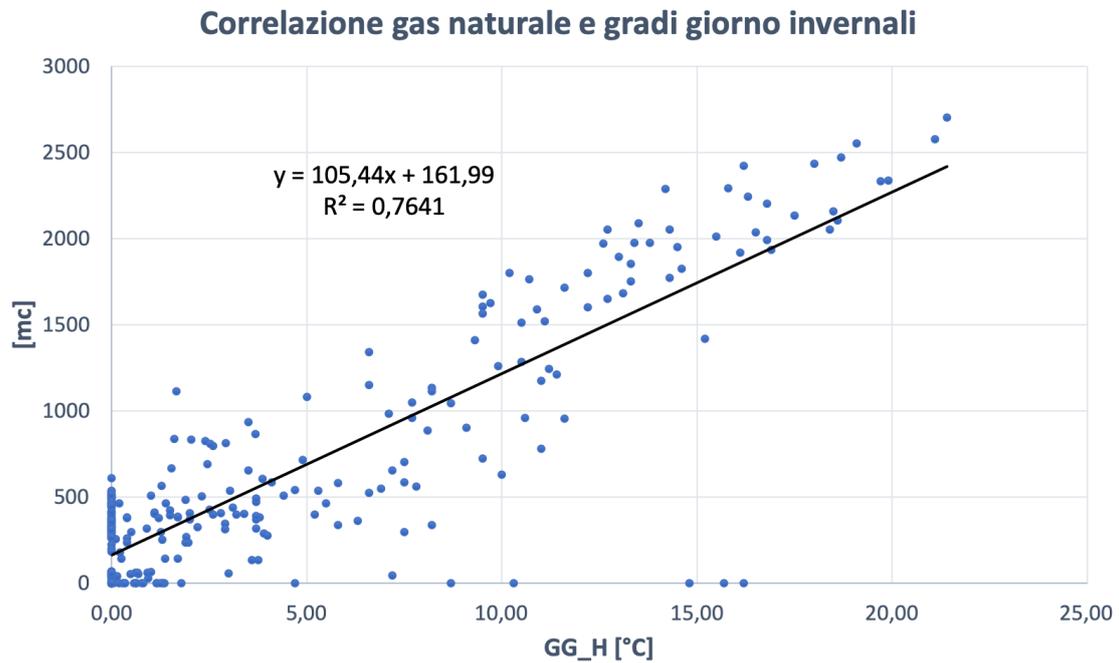


Figura 3.48: Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali con  $k_s$  e  $k_d$

Come si può notare, il valore di  $R^2$  è pari a 76,4%, mostrando un notevole miglioramento. Nonostante ciò, il risultato ottenuto non è stato lo stesso soddisfacente. Per tale motivo l'analisi è proseguita considerando i dati su base settimanale e mensile, in quanto una riduzione dei dati avrebbe potuto risolvere i problemi riscontrati.

## Correlazione su base settimanale

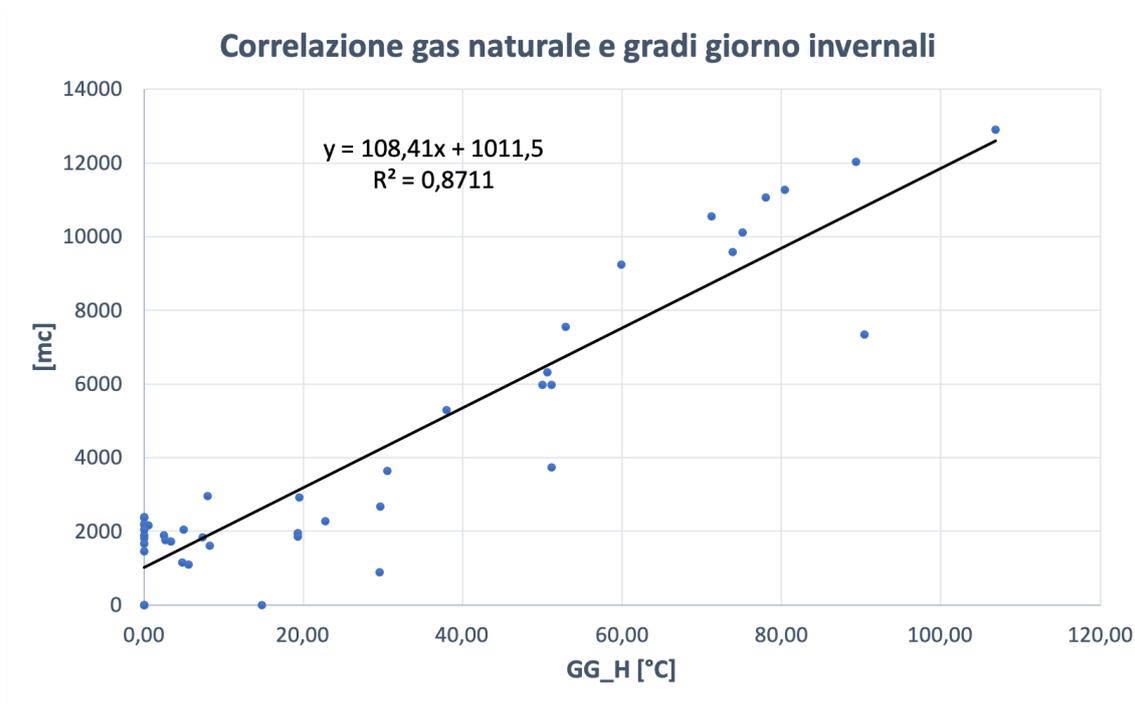


Figura 3.49: Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali su base settimanale

La correlazione mostra un valore di  $R^2$  pari a 87,1% e sicuramente migliore. Ma va precisato che considerando un'analisi mono-variabile con i gradi giorno invernali non si tiene conto della periodicità giornaliera legata al consumo di gas nel reparto della tintoria. Consapevoli di ciò, è stata condotta un'analisi della regressione lineare.

## OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,933337993
R al quadrato	0,871119809
R al quadrato corretto	0,868122595
Errore standard	1340,094508
Osservazioni	45

## ANALISI VARIANZA

	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	1	521952556,7	521952556,7	290,6432056	9,55494E-21
Residuo	43	77221691,43	1795853,289		
Totale	44	599174248,2			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	1011,501805	266,9315177	3,789368202	0,000465248	473,1830959	1549,820515	473,1830959	1549,820515
GG_H [°C] pesati	108,4104918	6,359035173	17,04826107	9,55494E-21	95,58627517	121,2347084	95,58627517	121,2347084

Figura 3.50: Analisi regressione mono-variabile su base settimanale

La Figura 3.50 mostra i buoni risultati della regressione: valore  $R^2$  elevato e bassi valori di significatività dei coefficienti. L'equazione della caratteristica energetica è:

$$Sm_s^3 = 1011,50 + 108,41 \cdot B_s$$

dove  $B_s$  sono i gradi giorno invernali settimanali. Di seguito è rappresentato un confronto tra il consumo settimanale del 2018 e quello del modello appena trovato.

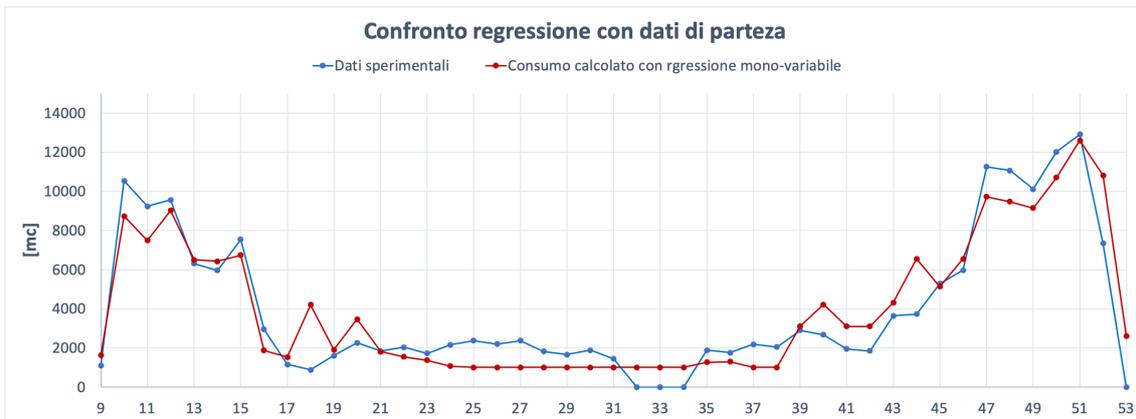


Figura 3.51: Andamento regressione bi-variabile su base settimanale

## Correlazione su base mensile

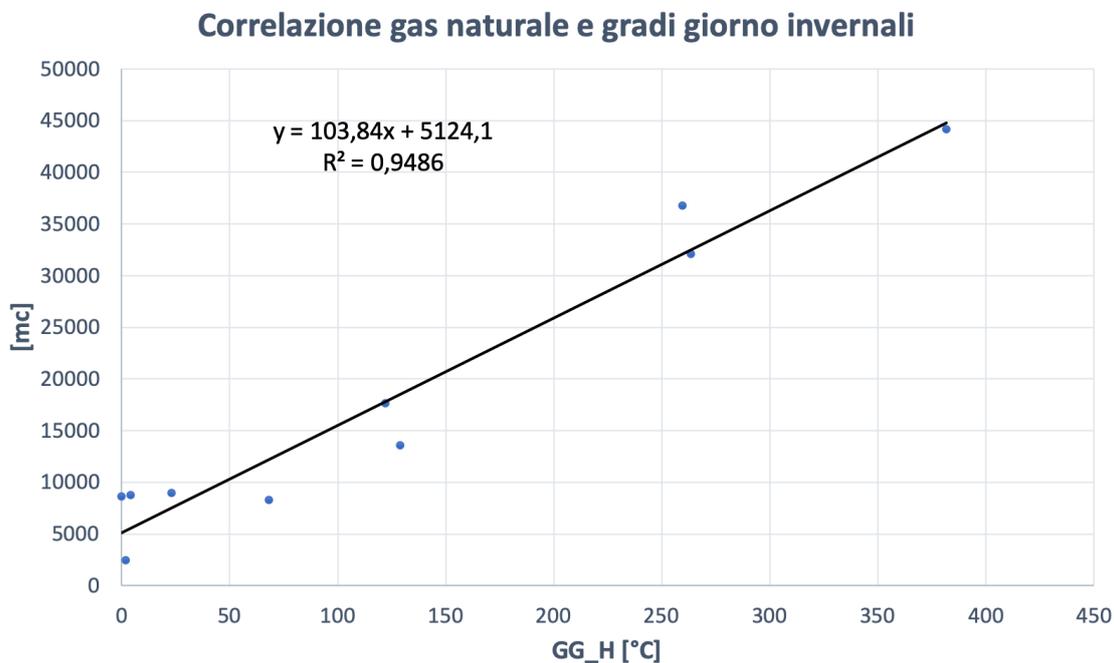


Figura 3.52: Correlazione tra gas naturale e gradi giorno invernali su base mensile

La correlazione mostra un valore di  $R^2$  pari a 94,9%, valore accettabile visto che la base di dati si è ridotta e le oscillazioni sono state smussate. Valgono le stesse considerazioni sull'analisi mono-variabile fatte in precedenza.

## OUTPUT RIEPILOGO

Statistica della regressione	
R multiplo	0,973957903
R al quadrato	0,948593998
R al quadrato corretto	0,942168247
Errore standard	3443,551577
Osservazioni	10

## ANALISI VARIANZA

	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F
Regressione	1	1750530615	1750530615	147,6238496	1,95005E-06
Residuo	8	94864379,7	11858047,46		
Totale	9	1845394995			

	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	5124,122558	1527,206516	3,355225703	0,010002399	1602,378016	8645,8671	1602,378016	8645,8671
GG_H [°C] pesati	103,842029	8,546629983	12,15005554	1,95005E-06	84,13346489	123,5505931	84,13346489	123,5505931

Figura 3.53: Analisi regressione mono-variabile su base mensile

La Figura 3.53 mostra i buoni risultati della regressione: varole  $R^2$  elevato e bassi valori di significatività dei coefficienti. L'equazione della caratteristica energetica è:

$$Sm_m^3 = 5124,12 + 103,84 \cdot B_m$$

dove  $B_m$  sono i gradi giorno invernali mensili. Di seguito è rappresentato un confronto tra il consumo mensile del 2018 e quello del modello appena trovato.

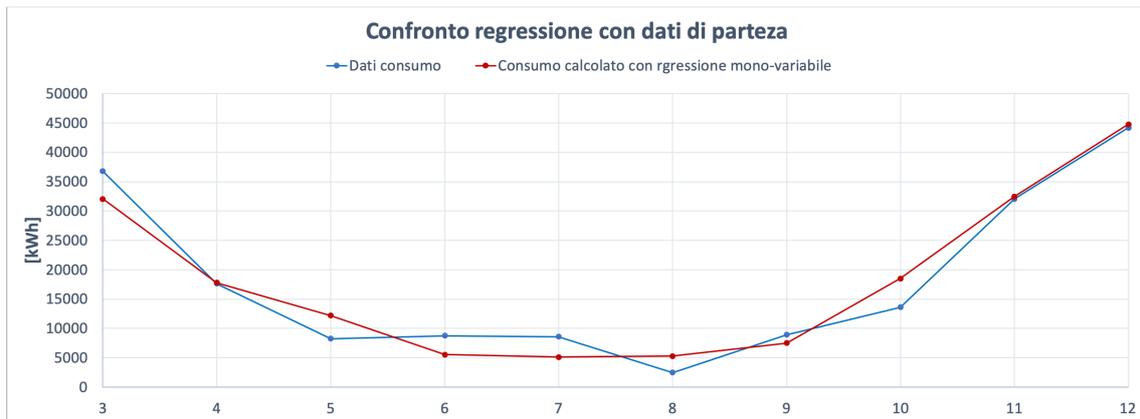


Figura 3.54: Andamento regressione bi-variabile su base mensile

### 3.2.5 Validazione del modello

Per controllare che le regressioni fossero realistiche, sono stati richiesti i dati di consumo del 2019. Infatti, sapendo che il sistema non avrebbe dovuto subire variazioni, le regressioni, sia per l'energia elettrica che per il gas naturale, avrebbero dovuto approssimare bene anche i dati del nuovo anno.



Figura 3.55: Validazione modello consumi elettrici con dati 2018-2019



Figura 3.56: Validazione modello consumi di gas naturale con dati 2018-2019

La caratterizzazione energetica per il gas naturale sembra confermare la bontà del modello, in particolare riesce a ben approssimare il consumo nei primi mesi dell'anno perchè trattasi di mesi invernali caratterizzati fortemente da un consumo funzione dei gradi giorno invernali. Successivamente il modello non è molto affidabile in quanto,

come già spiegato, essendo funzione dei soli gradi giorno invernali, non vi è alcuna variabile che tiene conto delle ore lavorate e/o della produzione nell'unico reparto che fa uso di gas per la produzione.

Per quanto riguarda l'energia elettrica, il modello sottostima il consumo nei primi mesi dell'anno. A tal proposito, come già detto, in questi mesi si è verificato un consumo elettrico maggiore dovuto a delle utenze che, solo per un periodo di tempo limitato, si sono collegati, sotto un accordo tra le parti, al contatore elettrico dell'azienda. Nella seconda metà del 2019 la situazione si è ristabilita e i consumi dovrebbero essere ben rappresentati dal modello trovato.

Per giustificare tale cambiamento nel sistema, si è realizzato il CUSUM tabulare, che è una carta di controllo e in quanto tale presenta un valore limite  $H$ , superato il quale un processo è ritenuto fuori controllo. Infatti, dopo la fase di analisi dei dati storici è stato possibile individuare il periodo da utilizzare come riferimento (periodo di setup - nel nostro caso l'anno 2018) per la fase successiva di previsione (periodo di monitoraggio - nel nostro caso l'anno 2019) dei consumi futuri. Il CUSUM tabulare consiste nell'accumulare le somme dei residui in due statistiche unilaterali così definite:

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

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

dove  $C_0^+ = C_0^- = 0$  e anche la media dei residui  $\bar{e} = 0$ , tranne il caso in cui la retta di interpolazione viene forzata a passare per l'origine (non è il nostro caso). La costante  $K$  si chiama valore di riferimento del CUSUM.

$$K = k \cdot s_e \quad \text{con} \quad k = 0,5$$

$$H = h \cdot s_e \quad \text{con} \quad h = 4 \div 5$$

Il valore di  $h$  che si sceglie è il compromesso tra due opposte esigenze: da un lato si desidera avere un valore elevato di  $H$  per non incorrere in falsi allarmi frequenti, dall'altro

si desidera un valore basso in maniera che la carta di controllo sia molto tempestiva nel segnalare il fuori controllo. Nel nostro caso si è scelto:  $h = 4,5$ .

Riguardo al calcolo della deviazione standard nel periodo di setup  $s_e$  una stima sufficientemente accurata si ottiene con la seguente formula:

$$s_e = \frac{\overline{MR}}{d_2}$$

in cui  $d_2$  è un parametro che vale  $d_2 = 1,128$ , mentre  $\overline{MR}$  rappresenta la media del valore assoluto delle differenze tra un residuo e il residuo precedente nel periodo di setup:

$$MR_i = |e_i - e_{i-1}| \quad \forall i = 2, 3, \dots, n$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum_{i=2}^n MR_i}{n - 1}$$

La carta di controllo, come mostrato in Figura 3.57 conferma che il sistema dal punto di vista dei consumi di gas naturale non è cambiato.

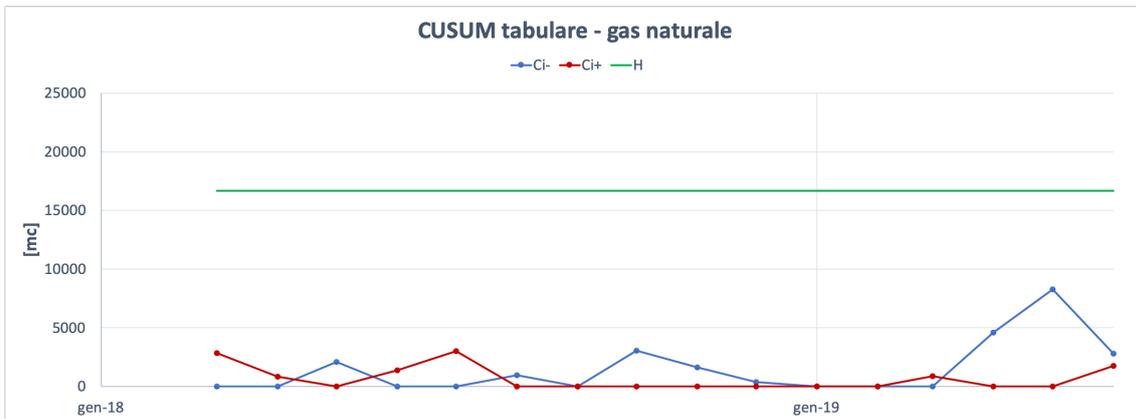


Figura 3.57: CUSUM tabulare - gas naturale

Nel caso dei consumi elettrici, invece, il sistema sembra essere andato fuori controllo a partire da marzo 2019, Figura 3.58.

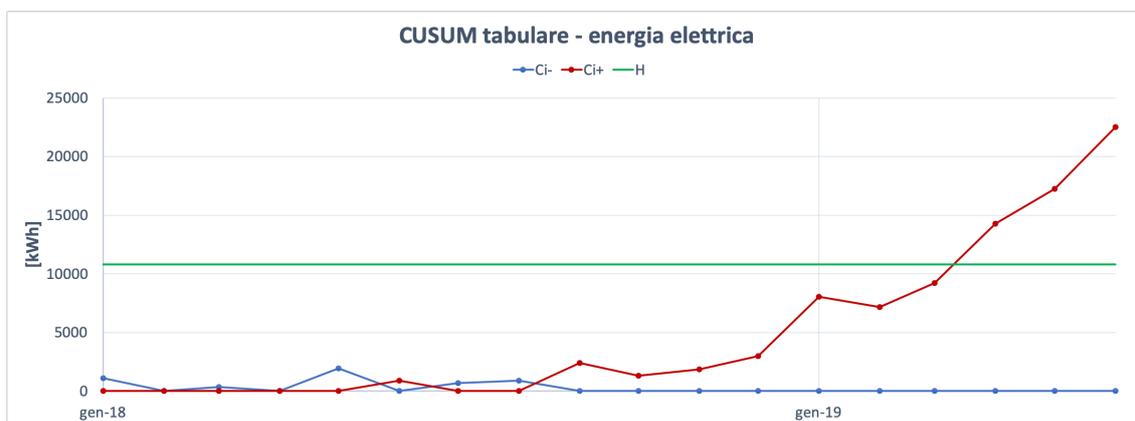


Figura 3.58: CUSUM tabulare - energia elettrica

Il risultato ottenuto è proprio quello che ci aspettavamo. Il sistema elettrico a partire dal mese di marzo 2019 si è visto dei carichi maggiori dovuti alla presenza di altre attività che si sono istanziate in locali appartenenti all'azienda e che fanno un elevato uso di energia elettrica in quanto trattasi di attività legate alla ristorazione che usano impianti frigo e forni elettrici di modeste dimensioni. Sicuramente dal mese di settembre 2019 il sistema sarà di nuovo in linea con quanto previsto dal modello, ma per esserne certi è necessario disporre dei dati meteorologici della seconda metà dell'anno attualmente non disponibili.

---

### Strumenti di misura utilizzati e analisi dei dati

---

Come già detto, l'azienda si è resa disponibile all'acquisto di strumenti col fine di ottenere ulteriori misure per un'analisi dettagliata della situazione energetica dello stabilimento. In particolare, sono stati acquistati i seguenti strumenti:

- dataloggers di temperatura e umidità e dataloggers da termocoppie;
- misuratore di portata a ultrasuoni;
- analizzatore di rete portatile.

#### **4.1 Dataloggers**

Sono stati acquistati due modelli di dataloggers: EL-USB-2 e EL-USB-TC-LCD, entrambi acquistati presso la "Lascar Electronics Ltd UK".

### 4.1.1 Datalogger EL-USB-2

Questo datalogger autonomo riesce a misurare oltre 16.000 letture nell'intervallo da -35 a +80 °C (da -31 a +176°F) e da 0 a 100% di umidità relativa (UR). Si configura facilmente collegandolo tramite porta USB al PC e utilizzando il software gratuito EasyLog fornito al momento dell'acquisto. I dati possono, quindi, essere rappresentati graficamente, stampati ed esportati in altre applicazioni per analisi dettagliate.



Figura 4.1: Datalogger di temperatura e umidità

<b>Temperature</b>	
Measurement range	-35°C to 80°C (-31°F to 176°F)
Internal resolution	0.5°C (1°F)
Accuracy (overall error)	0.55°C (1.04°F) typical (5 to 60°C)
Long term stability	<0.02°C (0.04°F) / year
<b>Relative Humidity</b>	
Measurement range	0 to 100% RH
Internal resolution	0.5% RH
Accuracy (overall error)	2.25% RH typical (20 to 80% RH)
Long term stability	<0.25% RH / year

Tabella 4.1: Datalogger di temperatura e umidità - specifiche tecniche

### 4.1.2 Applicazione

I dataloggers di temperatura e umidità sono stati installati nei vari locali dello stabilimento, al fine di misurare e successivamente analizzare l'andamento di tali grandezze fisiche.

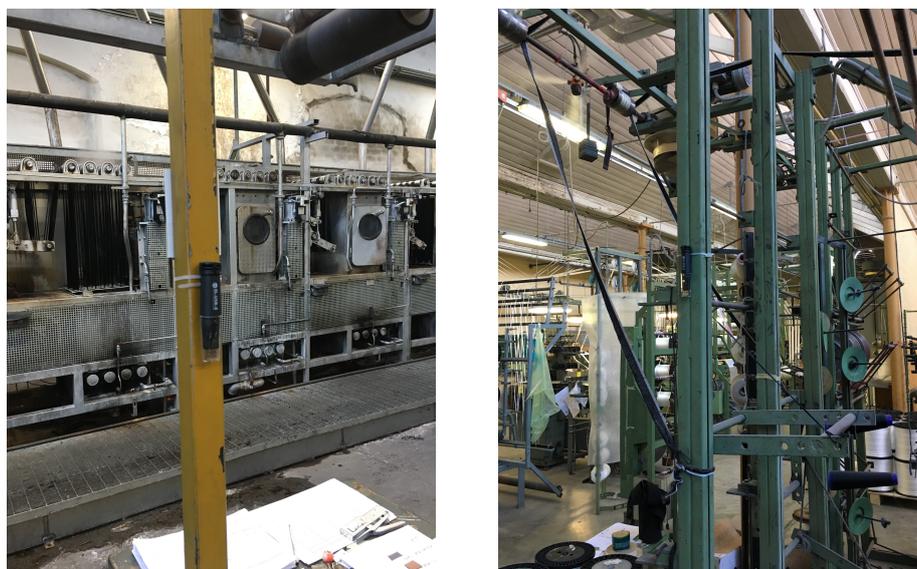


Figura 4.2: Applicazione datalogger di temperatura e umidità

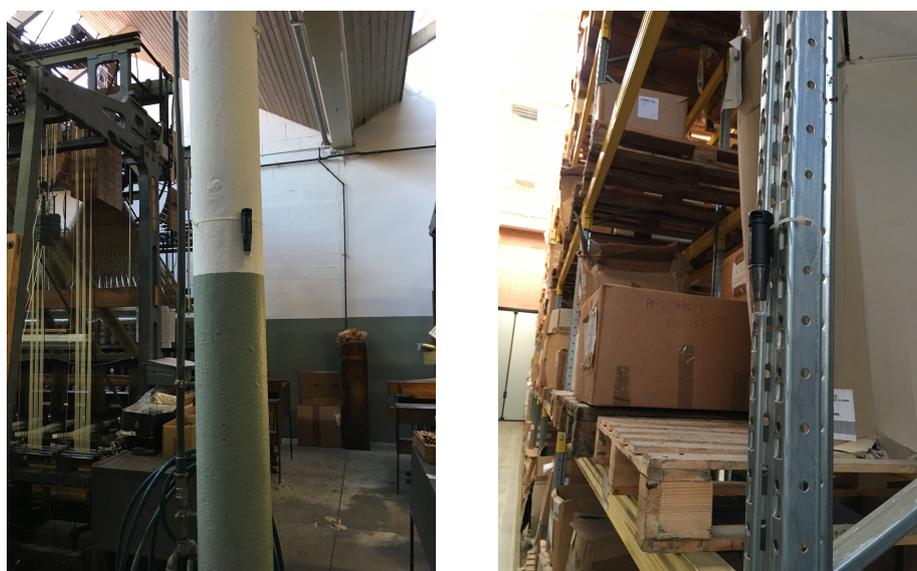


Figura 4.3: Applicazione datalogger di temperatura e umidità

### 4.1.3 Datalogger EL-USB-TC-LCD

Questo datalogger autonomo riesce a misurare oltre 32.000 letture da termocoppie di tipo J, K o T intercambiabili. Fornito con una sonda di tipo K, il suo campo di misura pronto all'uso misura da 0 a 200 °C (da 32 a 392 °F). Come il precedente, si configura facilmente collegandolo tramite porta USB al PC e utilizzando il software gratuito EasyLog fornito al momento dell'acquisto.



Figura 4.4: Datalogger da termocoppie

Temperature	
Measurement Range K Type (provided)	0 to +200°C (+32 to +392°F)
Measurement Range K Type	-200 to +1,350°C (-328 to +2,462°F)
Measurement Range J Type	-200 to +1,190°C (-328 to +2,174°F)
Measurement Range T Type	-200 to +390°C (-328 to +734°F)
Accuracy (thermocouple error not included)	±1°C (±2°F)

Tabella 4.2: Datalogger da termocoppie - specifiche tecniche

Assieme al misuratore sono state acquistate anche delle termocoppie con una punta in gomma adesiva per facilitare l'applicazione (Figura 4.5).

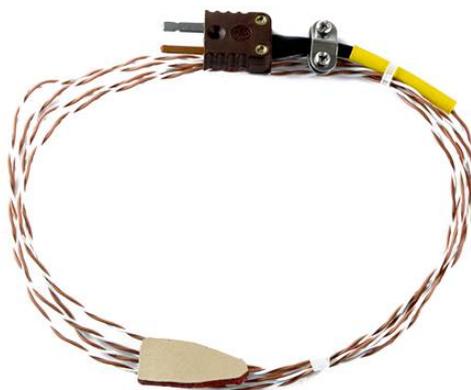


Figura 4.5: Termocoppie Type T

#### 4.1.4 Applicazione

I dataloggers da termocoppie sono stati installati sui tubi di mandata e di ritorno delle centrali termiche CT Bono e CT Seveso.

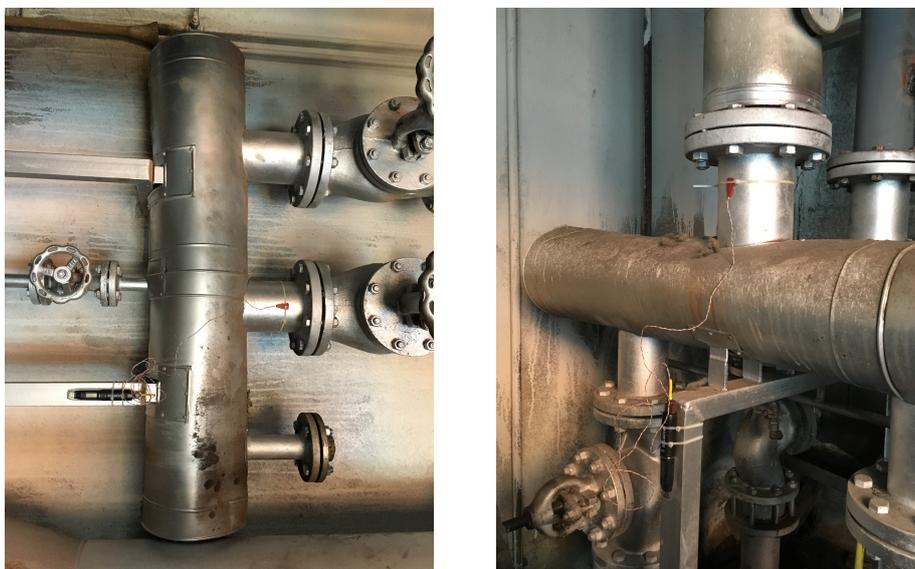


Figura 4.6: Applicazione datalogger di temperatura e umidità

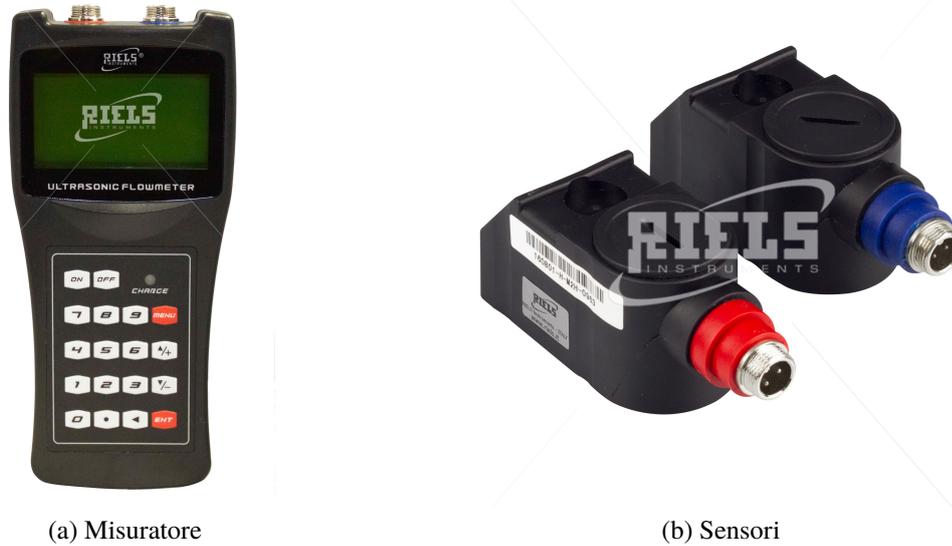
## 4.2 Misuratore di portata a ultrasuoni

Lo strumento è stato acquistato presso "Riels Instruments S.r.l." ed è esattamente il modello RIF600P. Tale misuratore di portata ad ultrasuoni portatile è progettato per funzionare con trasduttori esterni che consentono la misura di portata di liquidi puliti senza la necessità di sezionare la tubazione. La misura si basa sul principio del tempo di transito su tubazioni con diametro esterno che vanno da 15 mm fino a 6000 mm (a seconda del modello).



Figura 4.7: Misuratore di portata a ultrasuoni - set strumenti

La gran diffusione dei misuratori a ultrasuoni, indipendentemente dal principio di funzionamento, è essenzialmente legata alla possibilità di essere impiegati con facilità nelle versioni "clamp-on", con l'evidente vantaggio di fornire una misura, non intrusiva (senza perdite di carico), della portata in impianti in esercizio senza sostanziali interventi sulla tubazione.



(a) Misuratore

(b) Sensori

Figura 4.8: Misuratore di portata a ultrasuoni

Principio di misura:	Ultrasuoni
Campo di misura/regolazione:	0.1÷32 [m/s]
Classe di precisione:	±1% VFS
Uscite disponibili:	RS232
Tensione di esercizio [V]:	3 batterie AAA
Temperatura di esercizio:	da -30 a +160 [°C]
Attacco al processo:	DN15÷DN6000 [mm]
Grado di protezione:	IP67
Display:	LCD 85x19 [mm]
Certificati/Omologazioni:	Dichiarazione di conformità CE

Tabella 4.3: Misuratore di portata a ultrasuoni - specifiche tecniche

### 4.2.1 Principio di funzionamento

Il suo funzionamento si basa sulla propagazione di impulsi ultrasonici che, attraverso il liquido viaggiano ad una velocità sonica propria di ogni famiglia di fluido. All'esterno

del piping vengono appoggiati 2 trasduttori ad una distanza predeterminata che alternativamente emettono un treno di ultrasuoni e ricevono il treno prodotto dal trasduttore gemello. Questo percorso assume diverse configurazioni a seconda se i trasduttori siano appoggiati dalla stessa parte e del numero di passaggi del flusso di ultrasuoni.

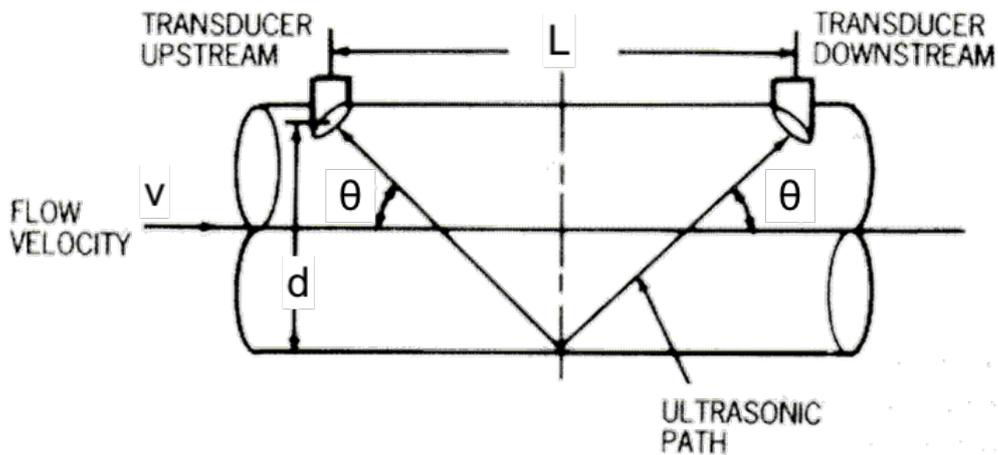


Figura 4.9: Misuratore di portata a ultrasuoni - schema

L'intervallo di tempo  $\Delta t$  che intercorre tra l'arrivo dell'onda a favore di flusso e quella contraria al flusso dipende dai seguenti parametri:

$$\Delta t = f(v, c, d, L, \theta)$$

in cui  $L$  è la distanza tra i sensori,  $d$  il diametro del tubo,  $\theta$  l'angolo di incidenza dell'onda rispetto all'asse del tubo. Pertanto, noti  $L$ ,  $\theta$  e  $d$  (dipendono da modalità e tipo di installazione da indicare nello strumento) e noto  $c$  (dipendente dalle caratteristiche del fluido), dalla misura dell'intervallo di tempo si determina la velocità  $v$  del fluido. La velocità  $v$  è la velocità media del fluido lungo la sezione del tubo e risente, quindi, del profilo stesso di velocità.

## 4.2.2 Applicazione

Il misuratore è stato installato sui tubi di mandata, nel caso della CT Bono, e di ritorno, nel caso della CT Seveso, dell'acqua calda uscente dalla centrale o entrante. La scelta del punto di installazione è influenzata dalla presenza di tubazioni senza la presenza dell'isolante termico.

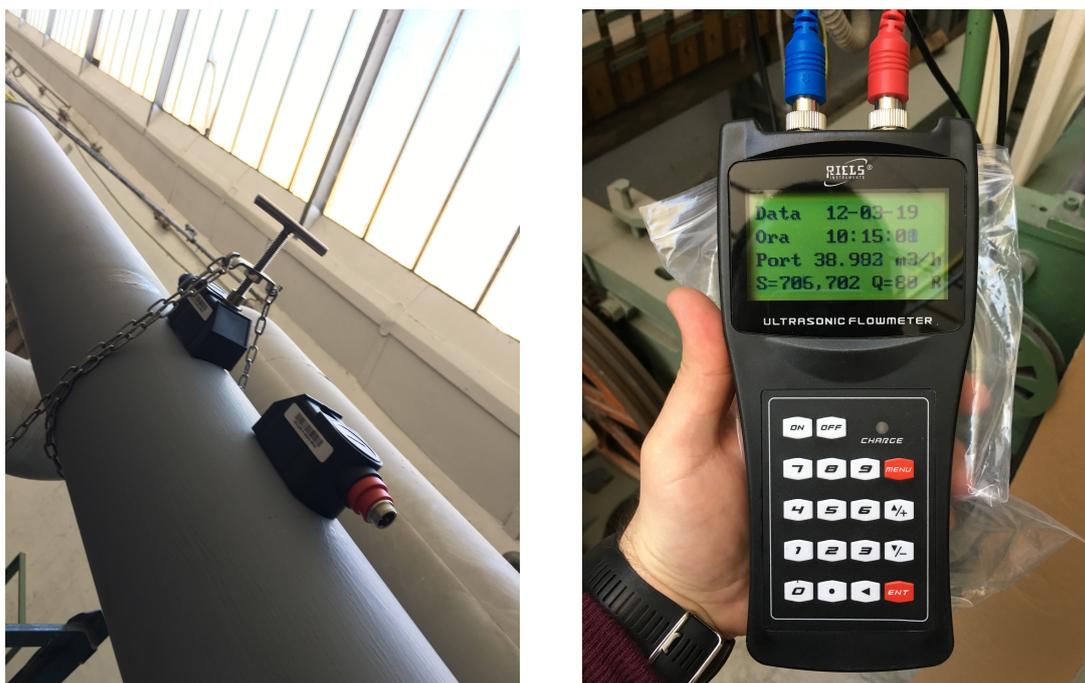


Figura 4.10: Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni



Figura 4.11: Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni - tubo mandata CT Bono



Figura 4.12: Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni - tubo ritorno CT Seveso

### 4.3 Analizzatore di rete portatile

L'analizzatore di rete portatile trifase è stato acquistato presso "Energy Team S.p.A.". Tale strumento consente di realizzare, con estrema precisione, campagne di misure su linee elettriche trifase e monofase che possono arrivare fino a 250 giorni di registrazioni in continuo (con tempo di integrazione di 15') dei seguenti valori: tensione concatenata e di fase; corrente di linea trifase; potenza attiva trifase; fattore di potenza trifase; rilevando vari valori di grandezze elettriche con un errore inferiore al  $\pm 0,5\%$  del fondo scala selezionato.



Figura 4.13: Analizzatore di rete portatile

La grande flessibilità dello strumento consente di misurare con estrema precisione, all'interno della scala selezionata, un'ampia varietà di carichi elettrici. Le sonde amperometriche Rogowski consentono di effettuare misure da 5 a 2000 Ampère, mantenendo invariata la precisione dichiarata.

### 4.3.1 Applicazione

Lo strumento è stato installato in cabina elettrica al fine di misurare l'energia consumata da alcuni reparti, considerati più energivori. A casua del poco tempo a disposizione, sono stati analizzati solo due reparti.

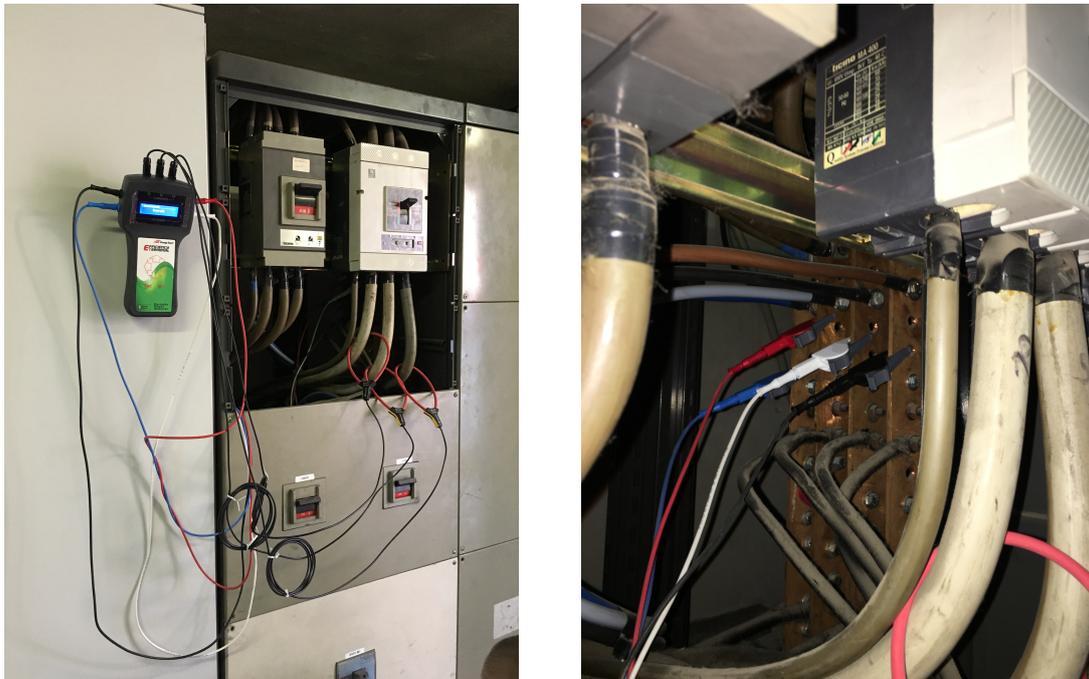


Figura 4.14: Applicazione misuratore di portata a ultrasuoni

## 4.4 Misure effettuate

Di seguito si riportano i grafici dei dati raccolti con gli strumenti utilizzati.

### 4.4.1 Datalogger EL-USB-2

Ai dati misurati è stata applicata una media mobile per ridurre i disturbi causati dall'accuratezza dello strumento.

#### Temperatura

Tutti i locali, ad eccezione del magazzino filati sono riscaldati e si cerca di mantenere una temperatura maggiore ai 20°C, temperatura minima per poter lavorare al meglio le fibre tessili. La temperatura scende un po' nei locali dove il personale è poco presente, come per esempio il reparto tessitura cinture, in quanto i telai hanno meno bisogno di manutenzione e continua presenza del personale addetto. Di seguito si riportano i grafici delle temperature e dei valori di umidità misurati.

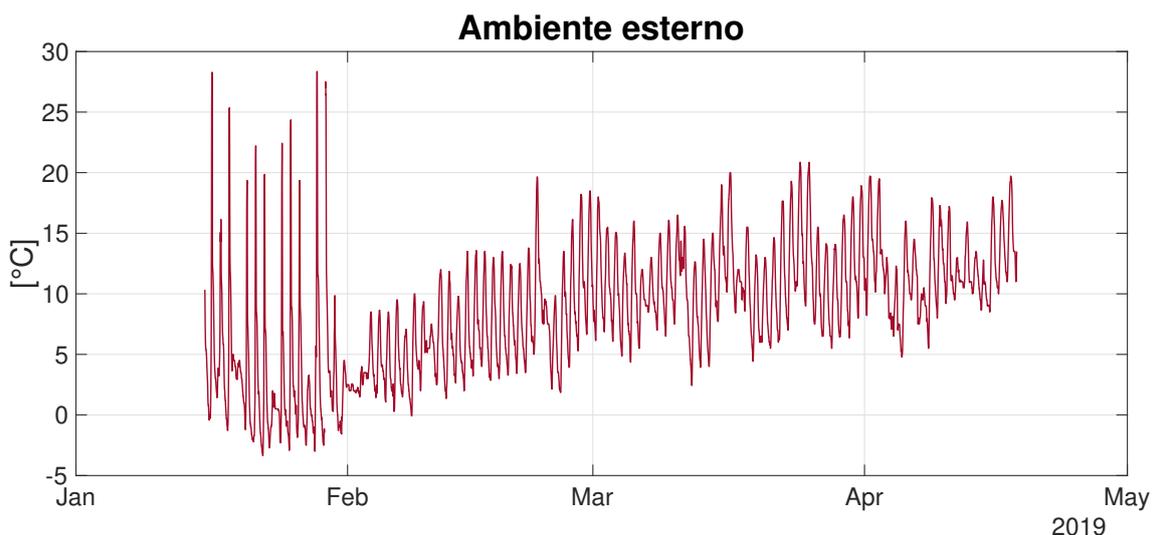


Figura 4.15: Ambiente esterno - temperatura misurata

Nell'ambiente esterno fino a febbraio il datalogger era posizionato a contatto con parti metalliche e quindi i valori misurati sono stati influenzati dalla temperatura raggiunta da queste durante le ore in cui i raggi del sole li raggiungevano.

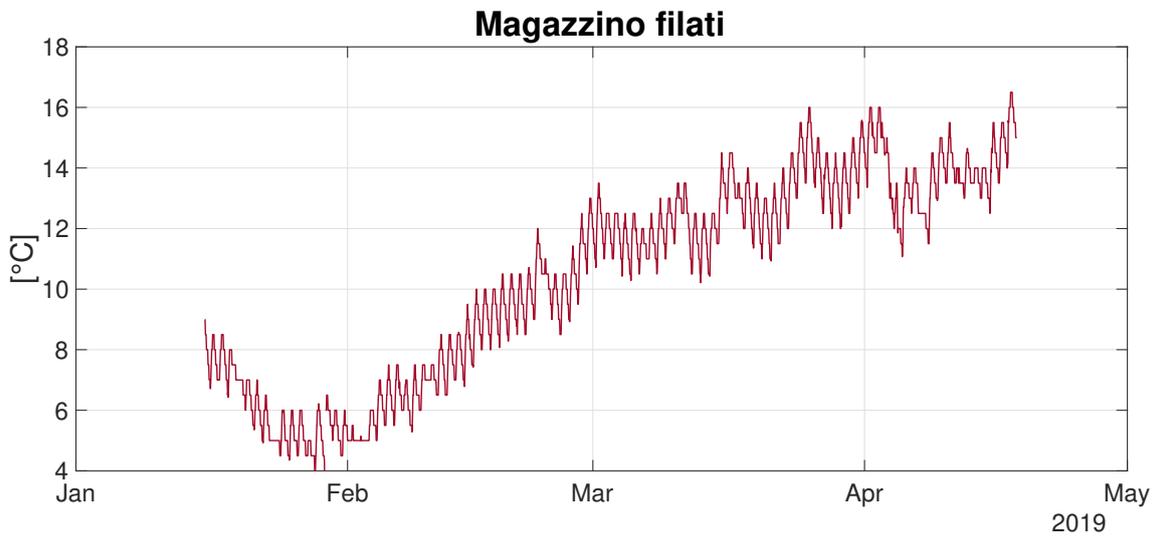


Figura 4.16: Magazzino filati - temperatura misurata

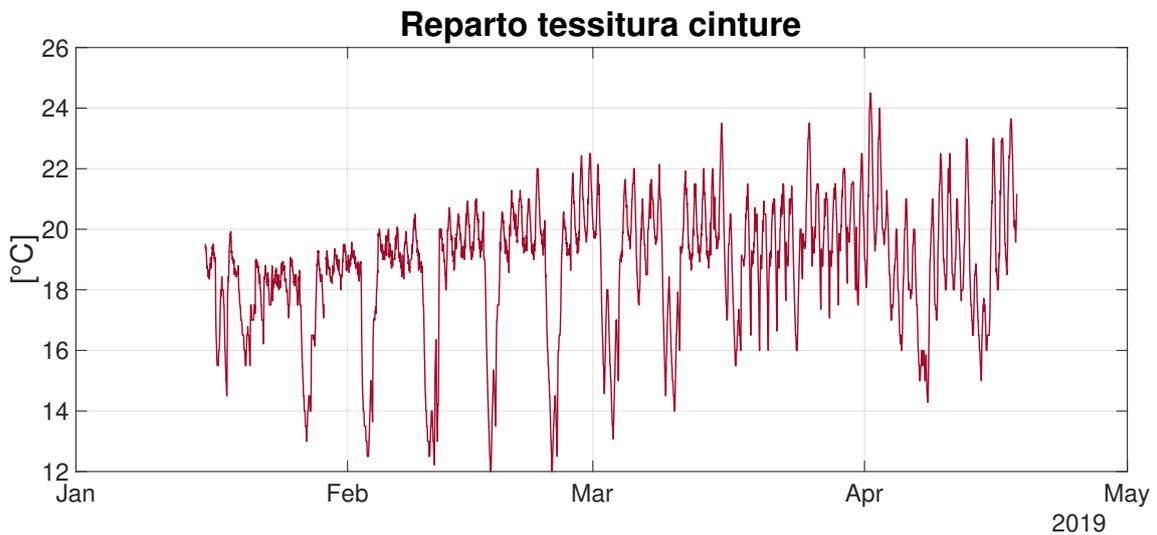


Figura 4.17: Reparto tessitura cinture - temperatura misurata

Dai grafici si nota che vi sono due andamenti: uno in cui la temperatura, durante i giorni feriali, nelle ore notturne si abbassa leggermente rimanendo comunque superiore

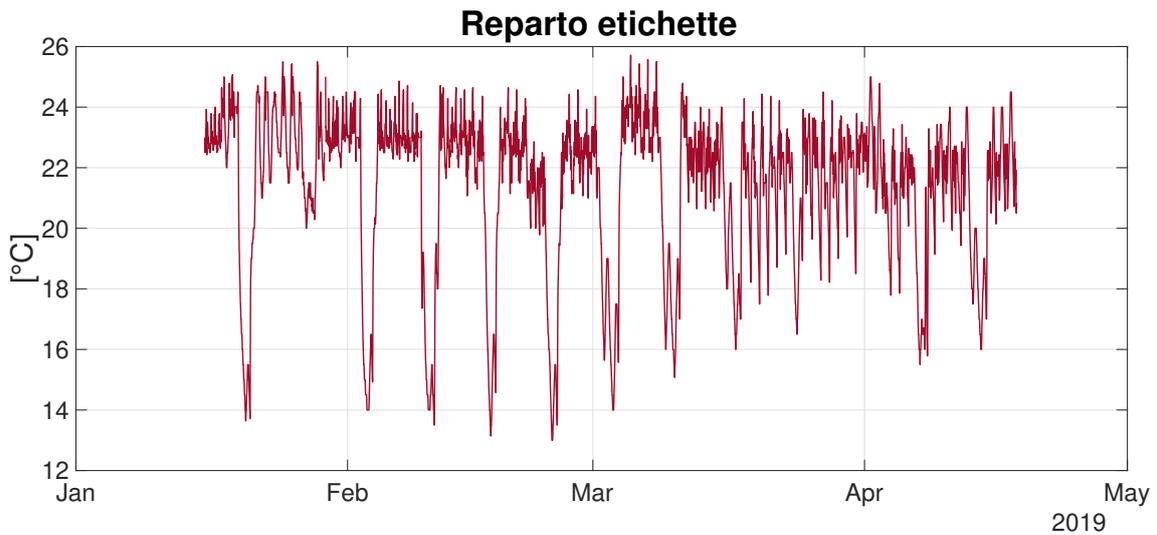


Figura 4.18: Reparto tessitura etichette - temperatura misurata

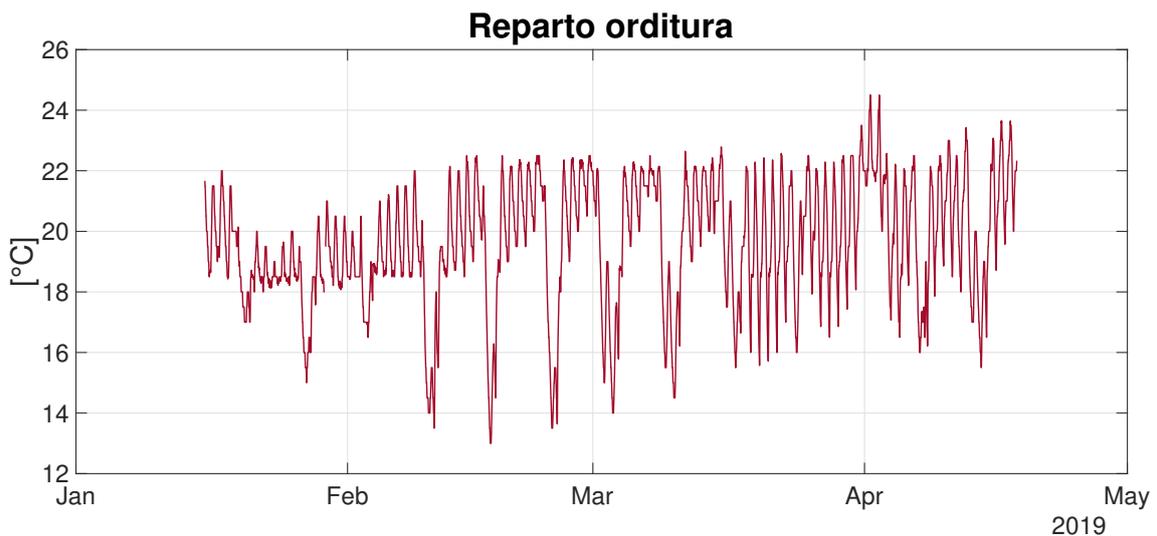


Figura 4.19: Reparto orditura - temperatura misurata

ai 18°C (da Figura 4.17 a Figura 4.20); mentre un altro in cui vi è molta oscillazione tra i valori diurni e quelli notturni. Il motivo è legato al sistema di riscaldamento; infatti, i locali col primo andamento sono riscaldate dalla CT Seveso, mentre gli altri locali dalla CT Bono. Questo ci fa dedurre che le caldaie di entrambe le centrali termiche hanno funzionamento on-off e, mentre le caldaie della CT Bono vengono spente durante la notte, quelle della CT Seveso no. Successivamente, verso la fine del periodo di riscaldamento,

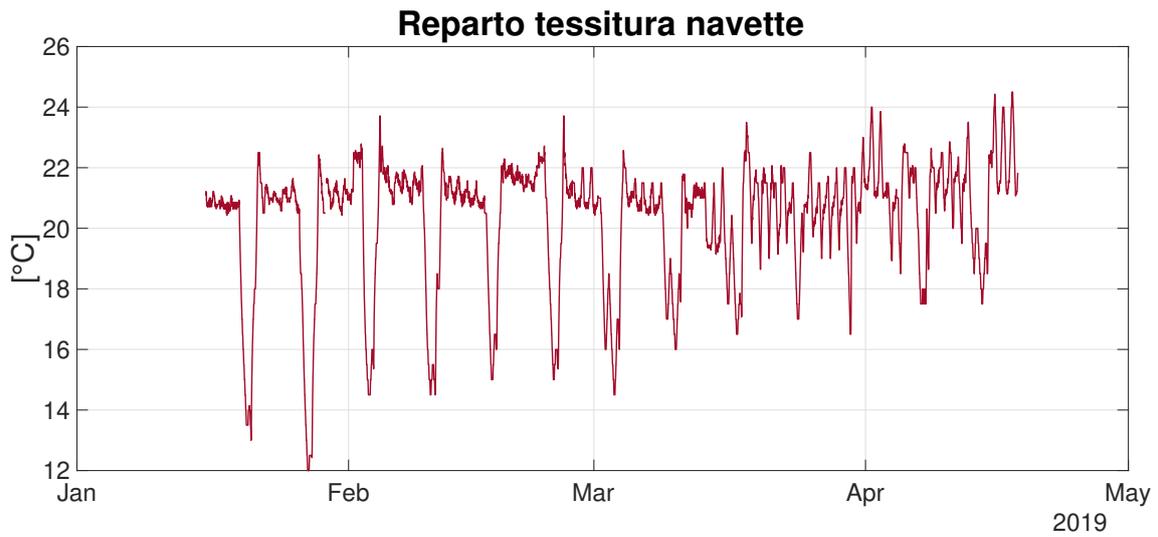


Figura 4.20: Reparto tessitura navette - temperatura misurata

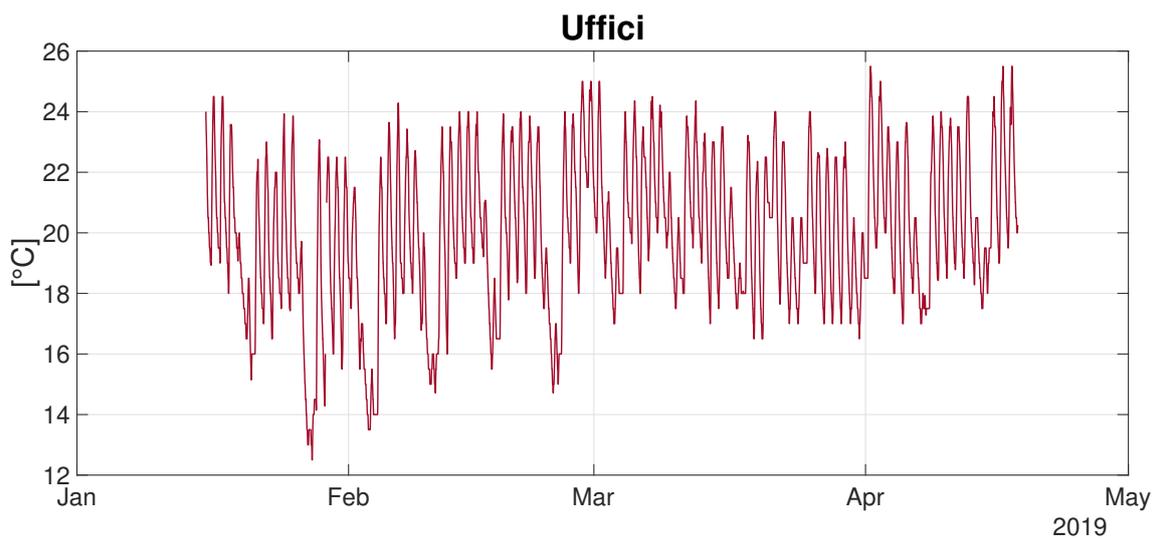


Figura 4.21: Uffici - temperatura misurata

il secondo andamento lo si nota anche nei locali riscaldati dalla CT Seveso in quanto è stato modificato il timer di accensione e spegnimento delle caldaie. Questo lo possiamo notare dai grafici della portata mostrati più avanti.

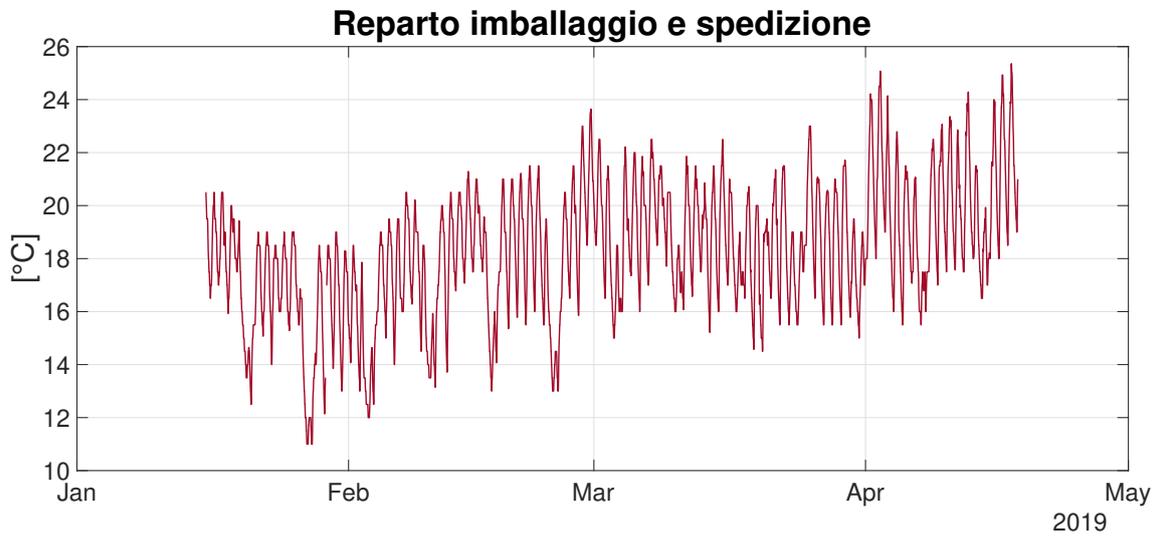


Figura 4.22: Reparto imballaggio e spedizione - temperatura misurata

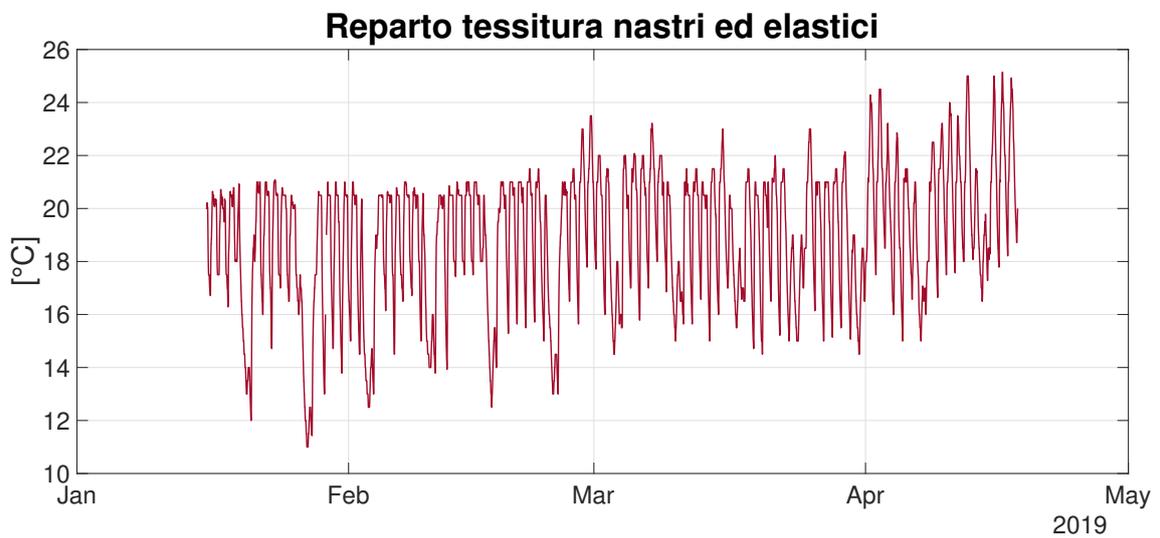


Figura 4.23: Reparto tessitura nastri ed elastici - temperatura misurata

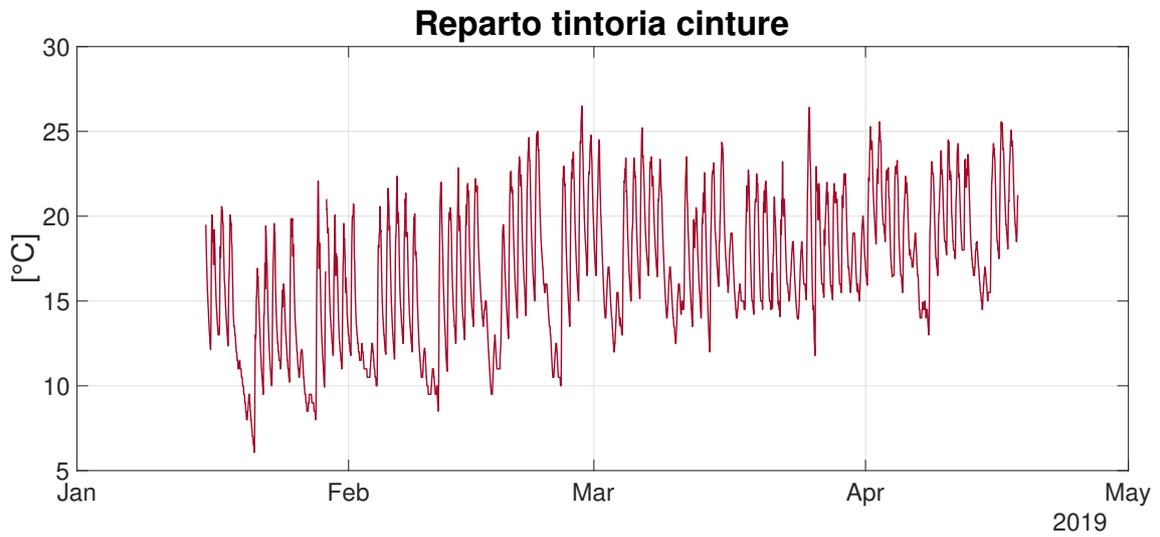


Figura 4.24: Reparto tintoria cinture - temperatura misurata

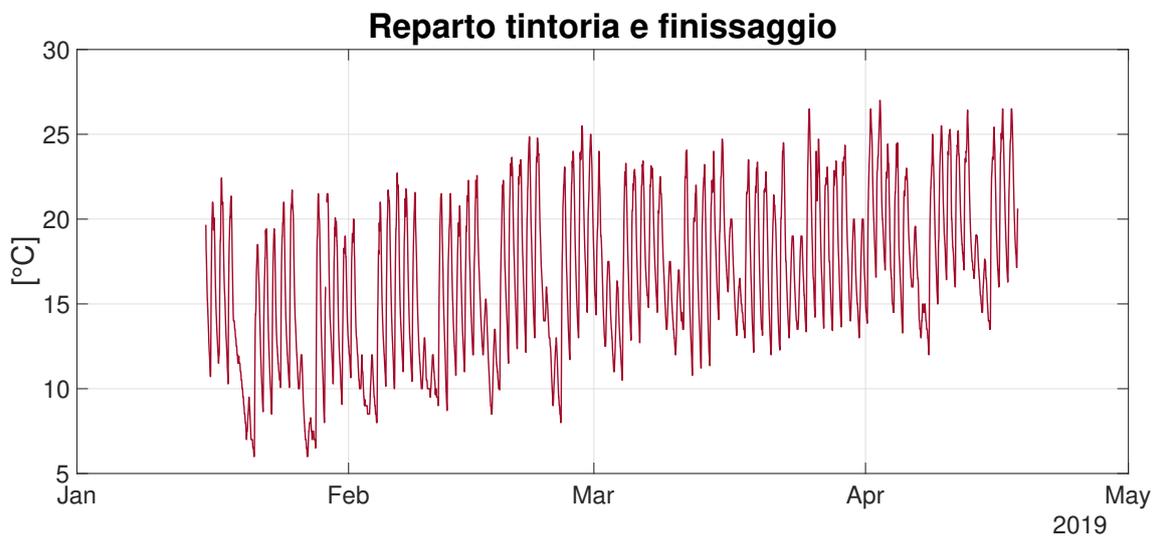


Figura 4.25: Reparto tintoria e finissaggio - temperatura misurata

## Umidità

Il controllo dell'umidità nell'ambiente assicura l'aumento della produttività grazie alla maggiore resistenza ed elasticità delle fibre tessili lavorate al 65...70% di umidità relativa. Queste condizioni garantiscono inoltre la diminuzione di pulviscolo nell'aria. Nelle misure effettuate, risulta chiaro che il sistema presente non riesce a soddisfare quanto richiesto dal filato per essere ben lavorato. Solo il reparto tessitura nastri ed elastici, grazie ad un sistema di controllo gestito da una centralina che agisce su una pompa idraulica, riesce a mantenere il valore dell'umidità relativa al di sopra del 60%. Di seguito i grafici con i valori misurati.

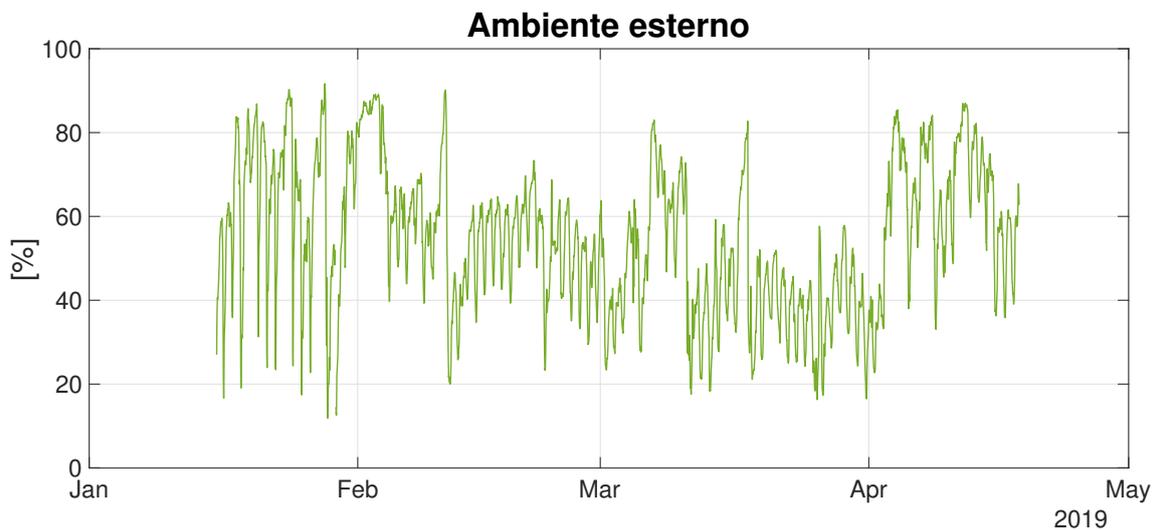


Figura 4.26: Ambiente esterno - umidità misurata

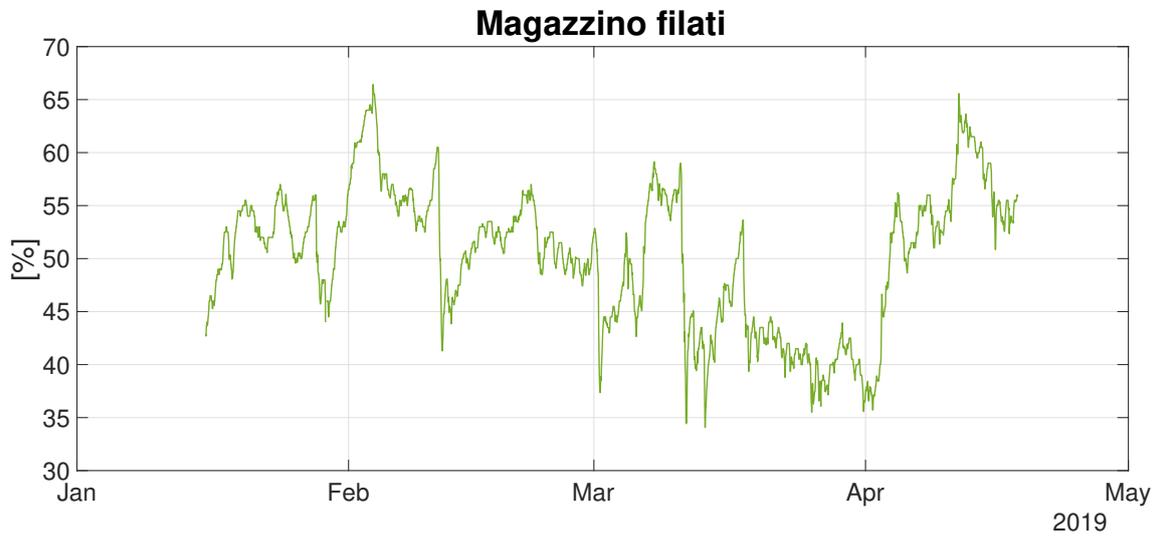


Figura 4.27: Magazzino filati - umidità misurata

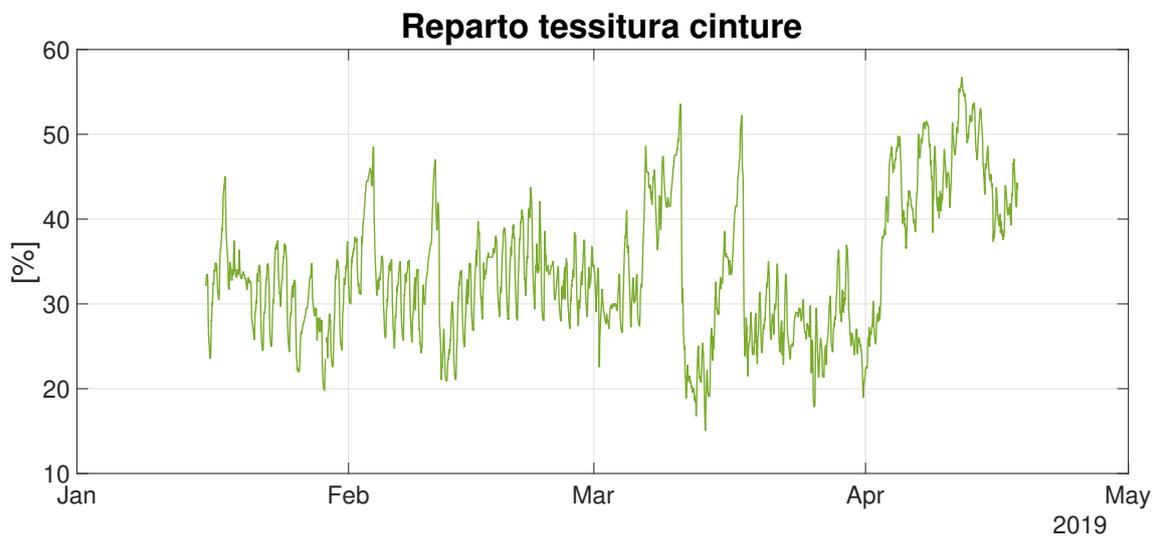


Figura 4.28: Reparto tessitura cinture - umidità misurata

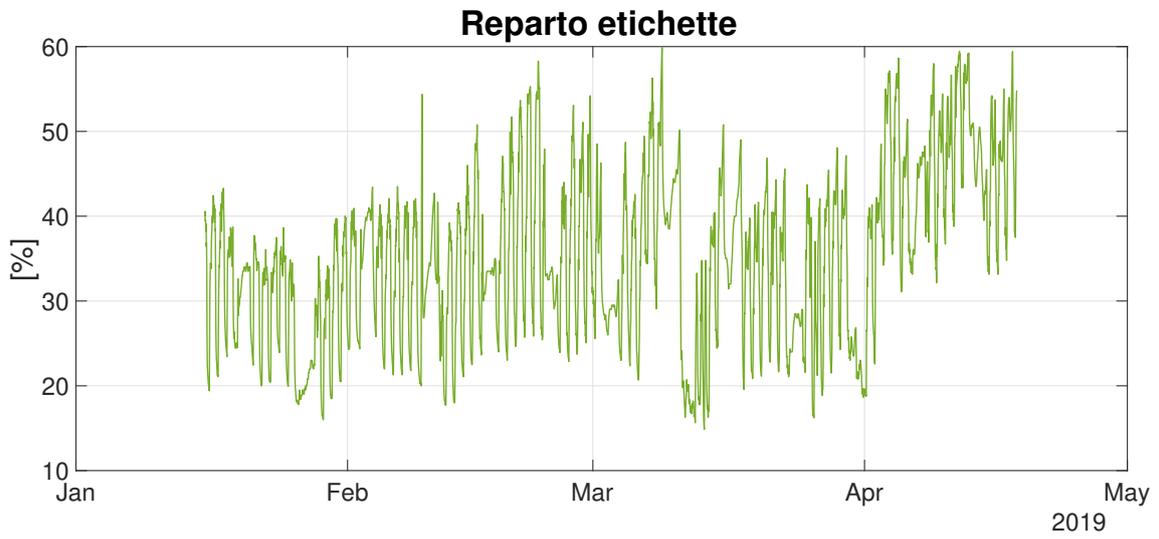


Figura 4.29: Reparto tessitura etichette - umidità misurata

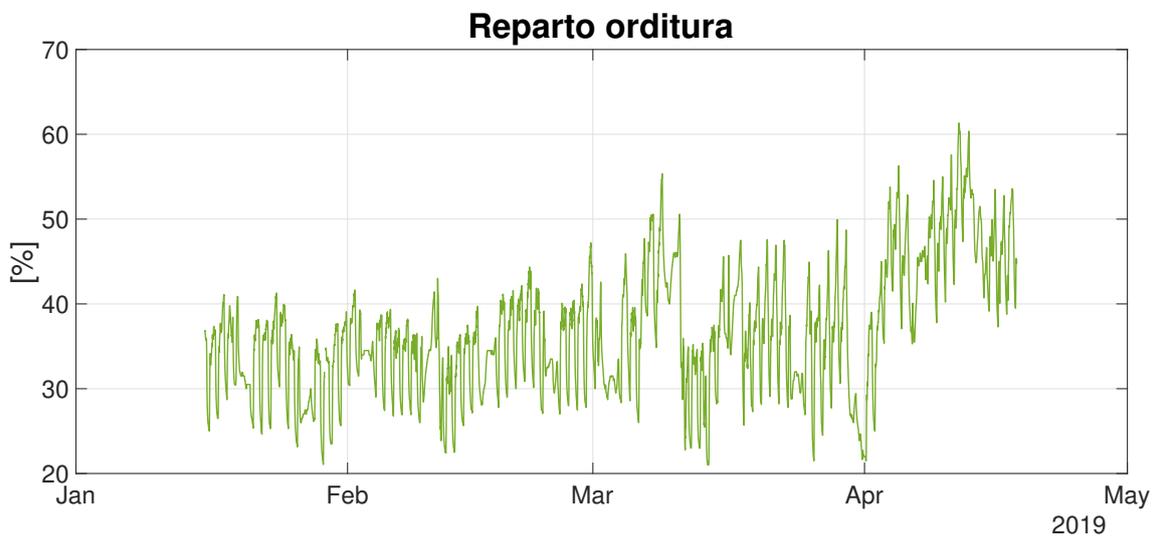


Figura 4.30: Reparto orditura - umidità misurata

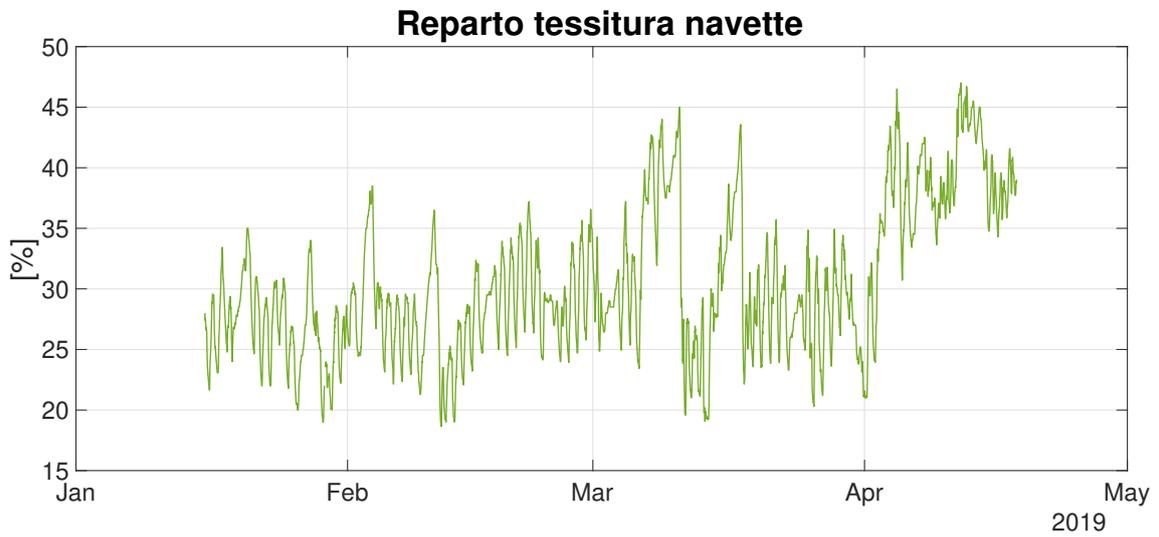


Figura 4.31: Reparto tessitura navette - umidità misurata

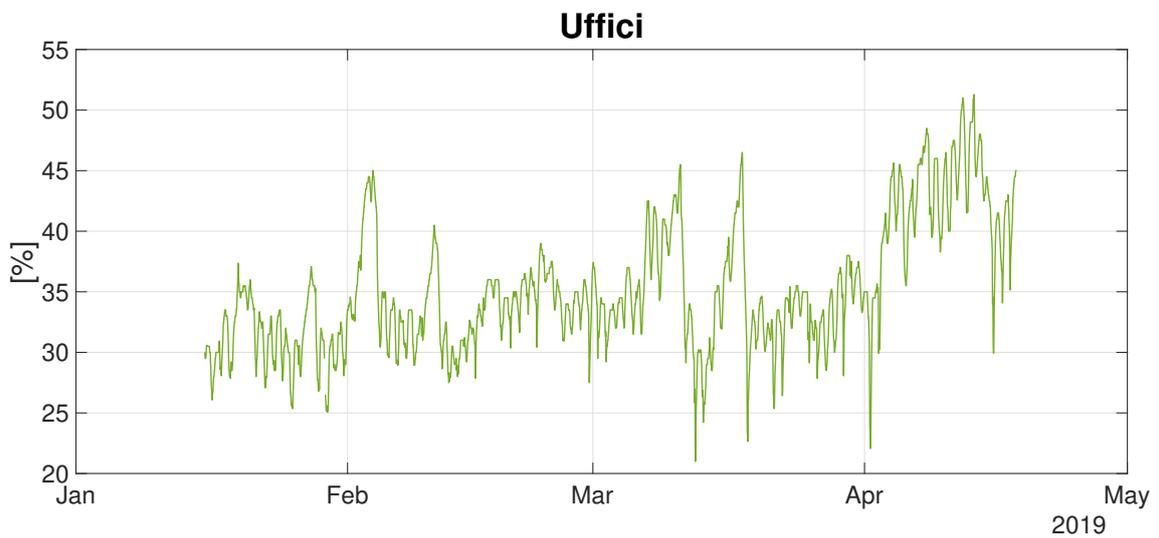


Figura 4.32: Uffici - umidità misurata

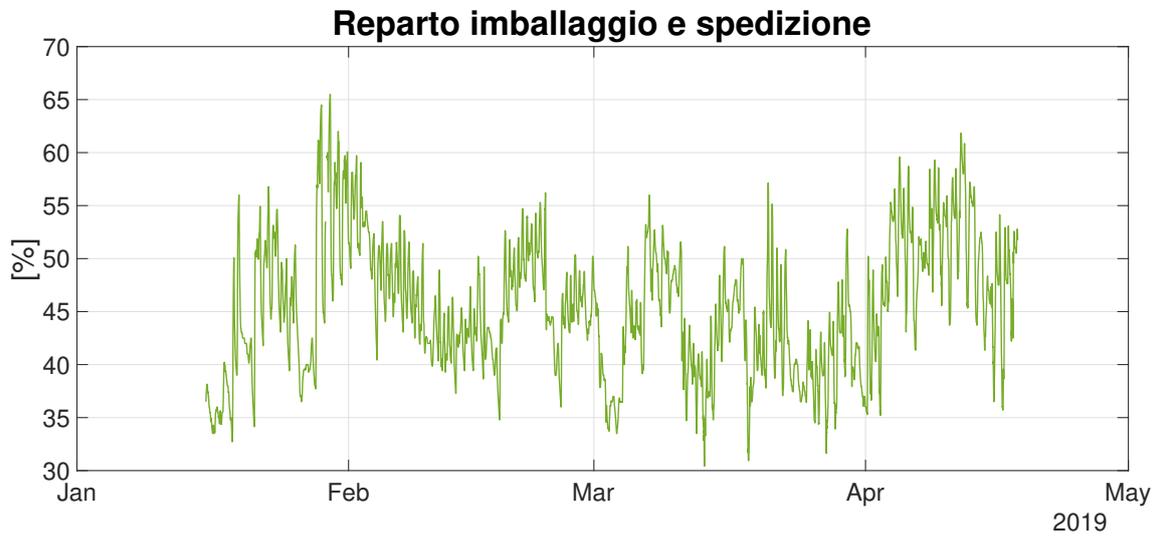


Figura 4.33: Reparto imballaggio e spedizione - umidità misurata

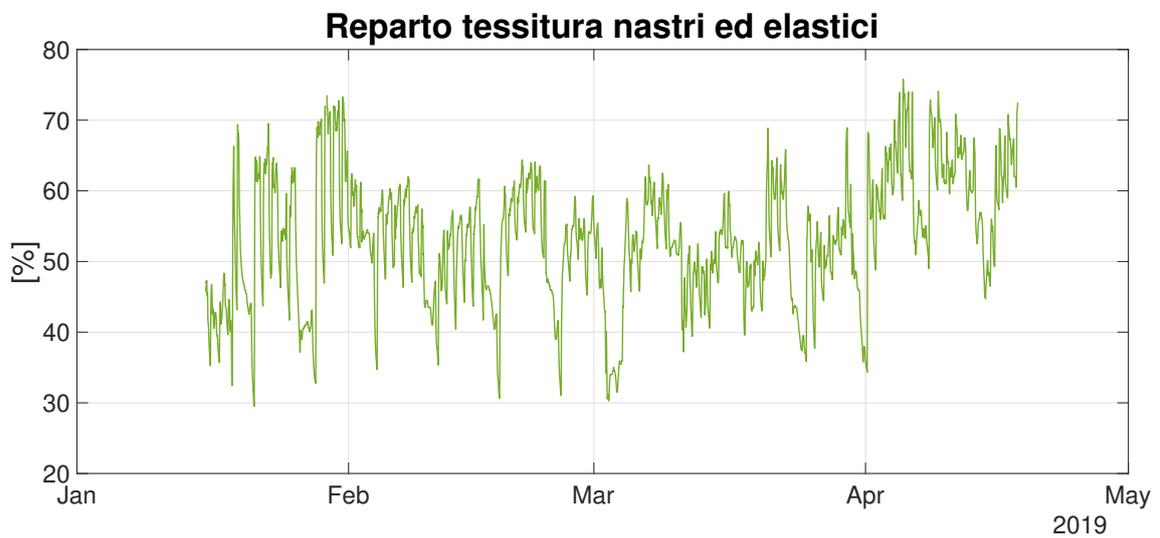


Figura 4.34: Reparto tessitura nastri ed elastici - umidità misurata

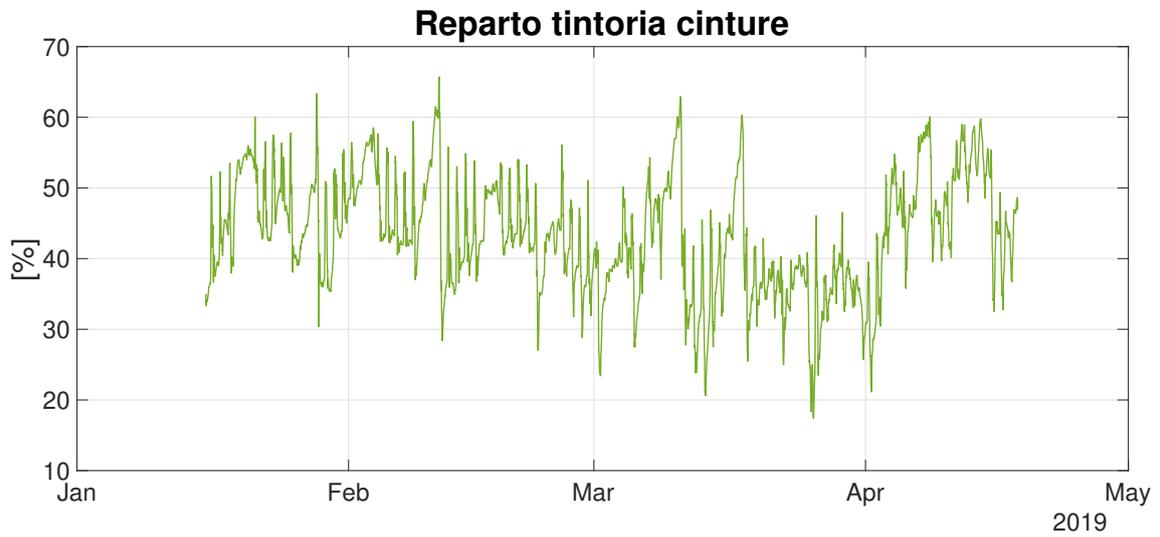


Figura 4.35: Reparto tintoria cinture - umidità misurata

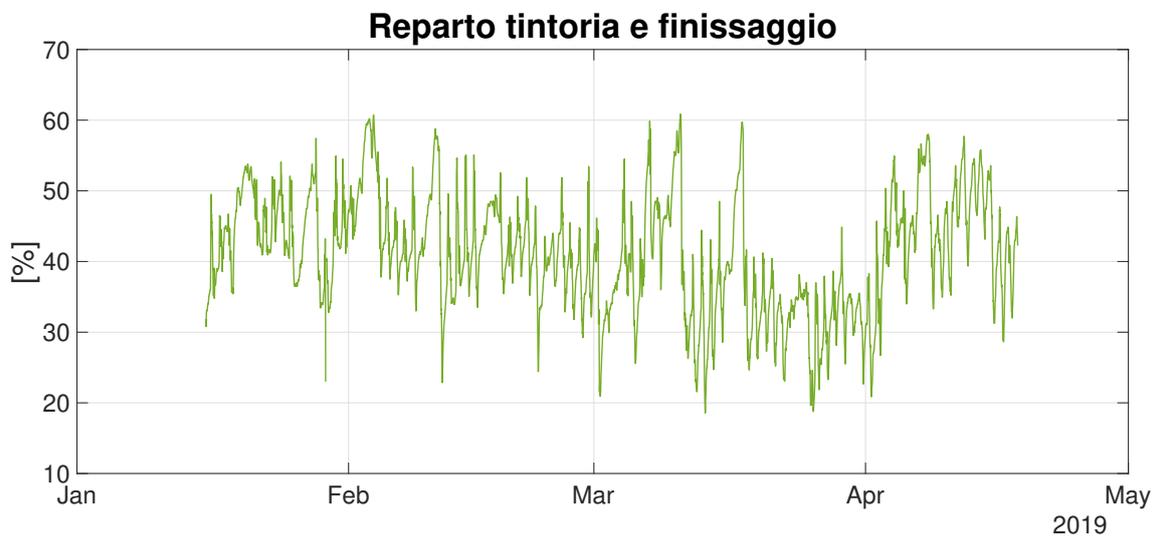


Figura 4.36: Reparto tintoria e finissaggio - umidità misurata

#### 4.4.2 Datalogger EL-USB-TC-LCD

I dataloggers hanno fornito le misure delle temperature di mandata e di ritorno delle centrali termiche CT Bono e CT Seveso. I dati di gennaio non sono da considerarsi validi, in quanto le termocoppie sono state applicate in maniera errata.

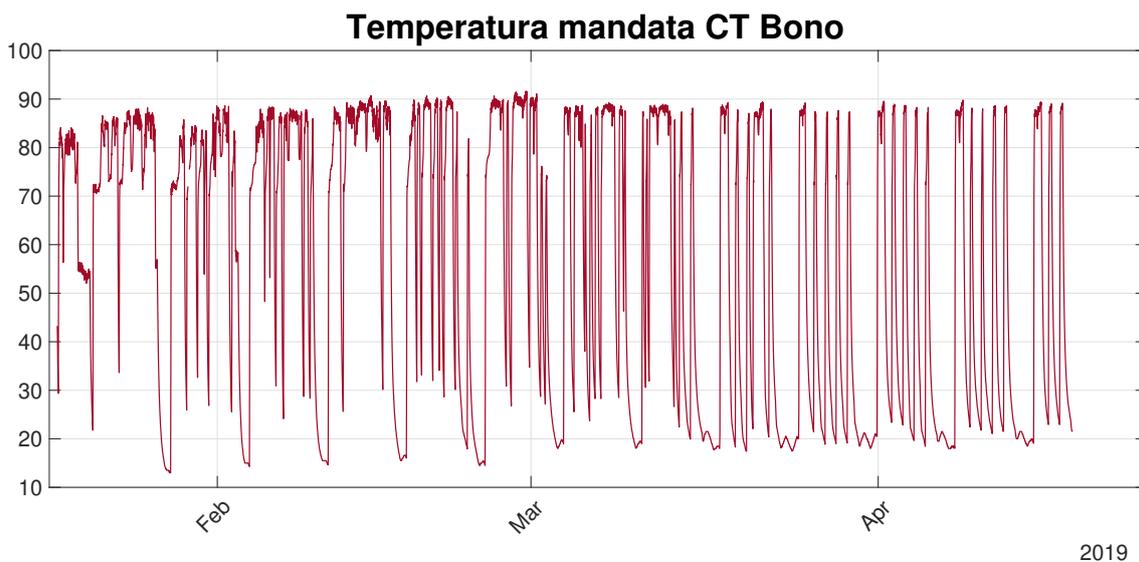


Figura 4.37: CT Bono - temperatura di mandata

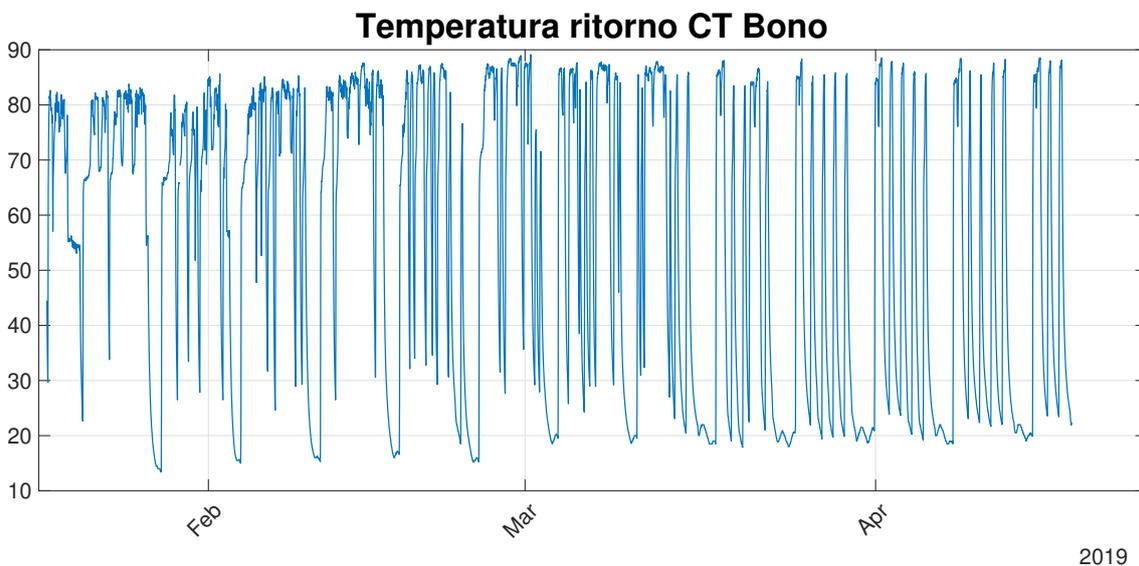


Figura 4.38: CT Bono - temperatura di ritorno

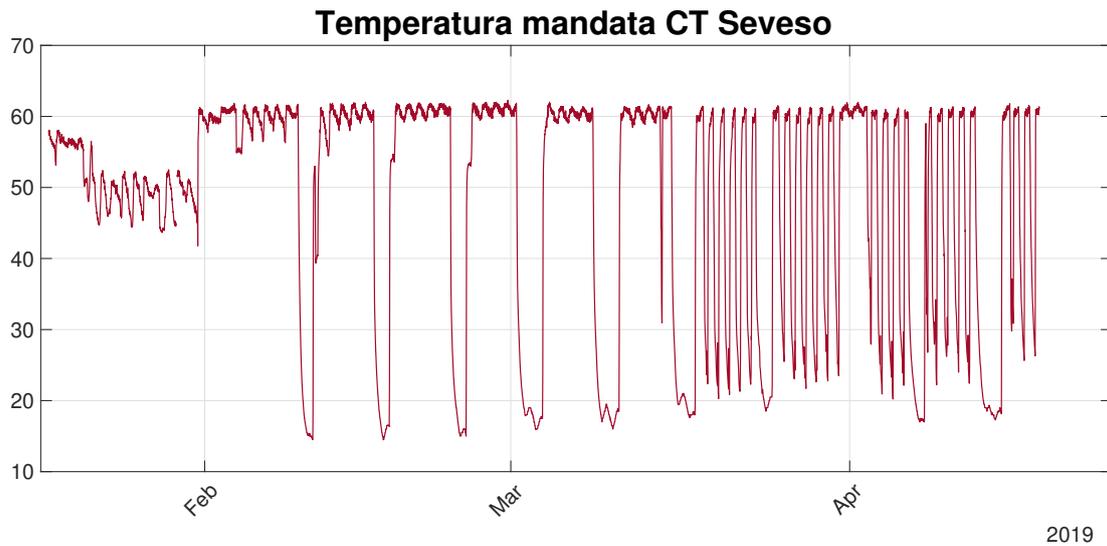


Figura 4.39: CT Seveso - temperatura di mandata

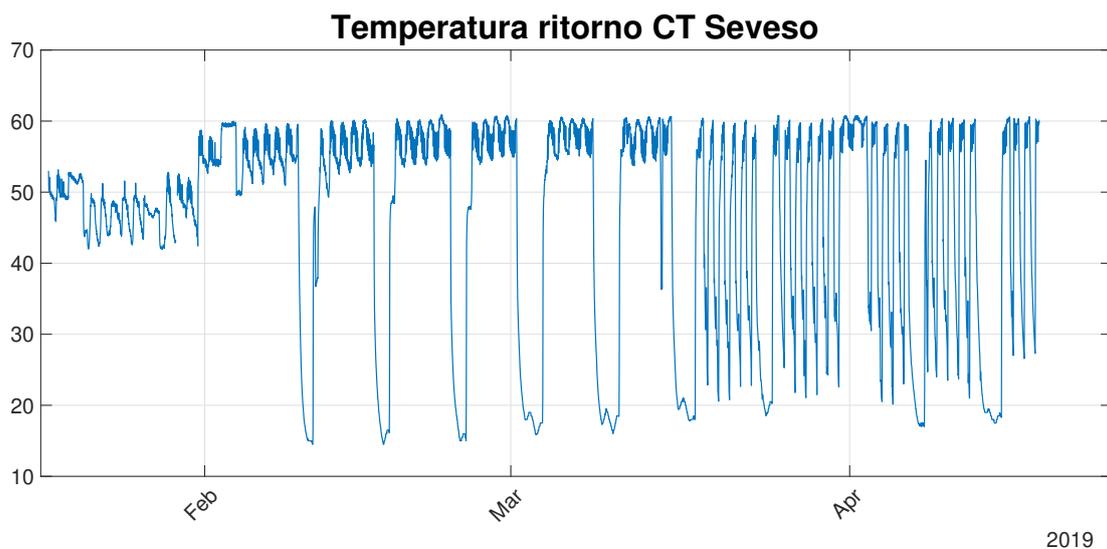


Figura 4.40: CT Seveso - temperatura di ritorno

Dai grafici precedenti, si nota un andamento regolare delle temperature della CT Seveso. Infatti, sembra che le caldaie di tale centrale, nel periodo più freddo, rimangono accese anche durante la notte. Questo spiega anche i grafici delle temperature nei locali riscaldati da tali caldaie. Per quanto riguarda la CT Bono, invece, l'andamento non è regolare. Sembra che tali caldaie vengono spente durante la notte, ma non in tutti i giorni.

Le due centrali termiche, inoltre, presentano temperature diverse. La CT Bono ha un set-point di mandata a circa 90°C, mentre la CT Seveso a circa 62,5°C, nonostante i terminali siano simili negli ambienti riscaldati. Il motivo di ciò sicuramente risiede nella storia dell'azienda e delle caldaie.

Per trovare il valore di  $\Delta T$  tra la mandata e il ritorno, tramite l'uso di Matlab per la gestione dei dati, si sono ricavati i due grafici seguenti.

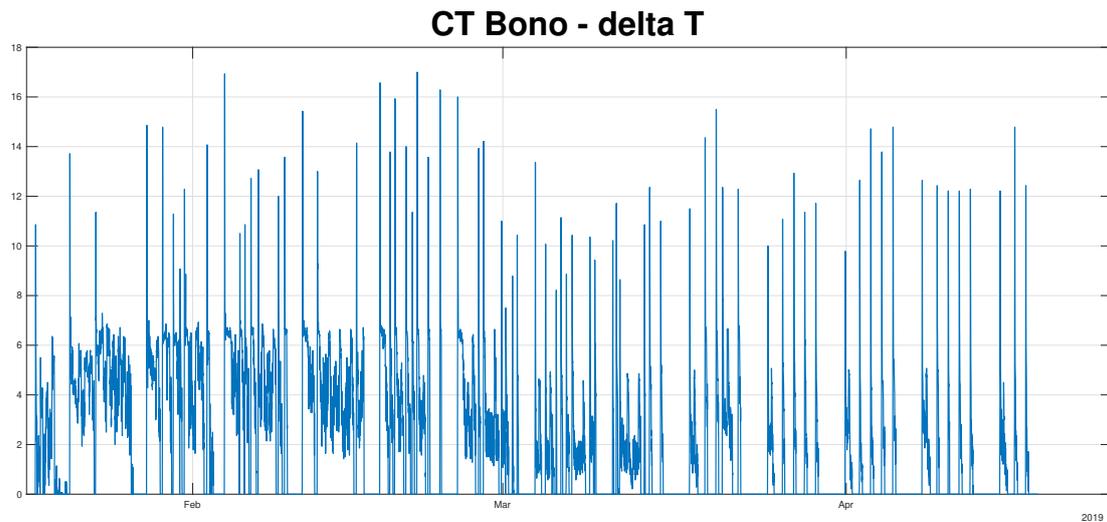


Figura 4.41: CT Bono - Delta T

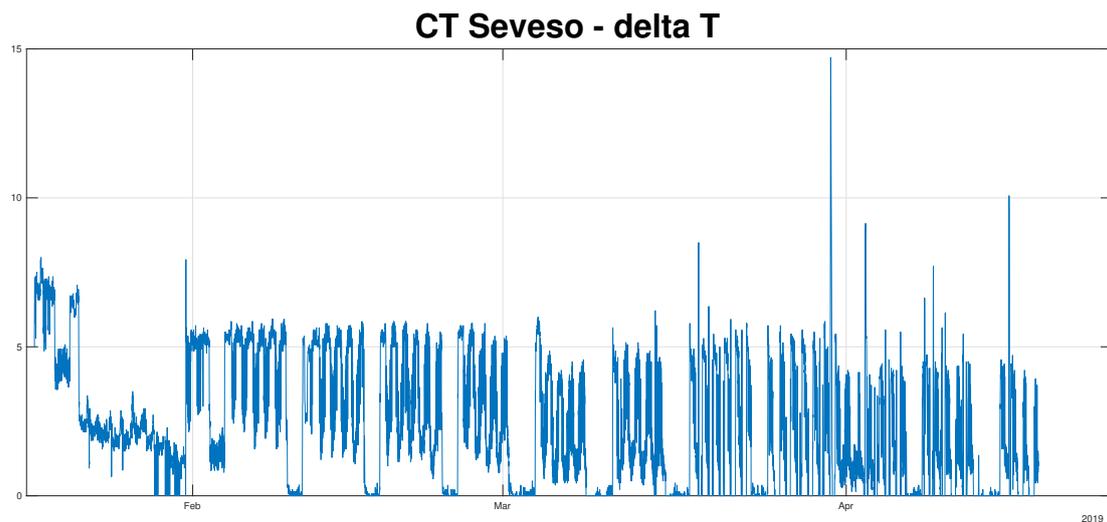


Figura 4.42: CT Seveso - Delta T

Come si può notare dalle Figure 4.41 e 4.42, i grafici mostrano un valore di  $\Delta T$  medio che varia durante il giorno, raggiungendo un massimo nelle ore diurne di  $6,5^{\circ}\text{C}$  per entrambe le centrali. I valori di  $\Delta T$  della CT Bono presentano dei picchi all'accensione. Questo verrà visto nel dettaglio successivamente nell'analisi dei dati delle centrali termiche.

### 4.4.3 Misuratore di portata a ultrasuoni

Il misuratore di portata, a causa di ritardi dovuti al venditore, è stato disponibile solo a partire dalla seconda metà di marzo e, di conseguenza, i dati misurati non si riferiscono al periodo più freddo dell'anno. Di seguito le misure effettuate.

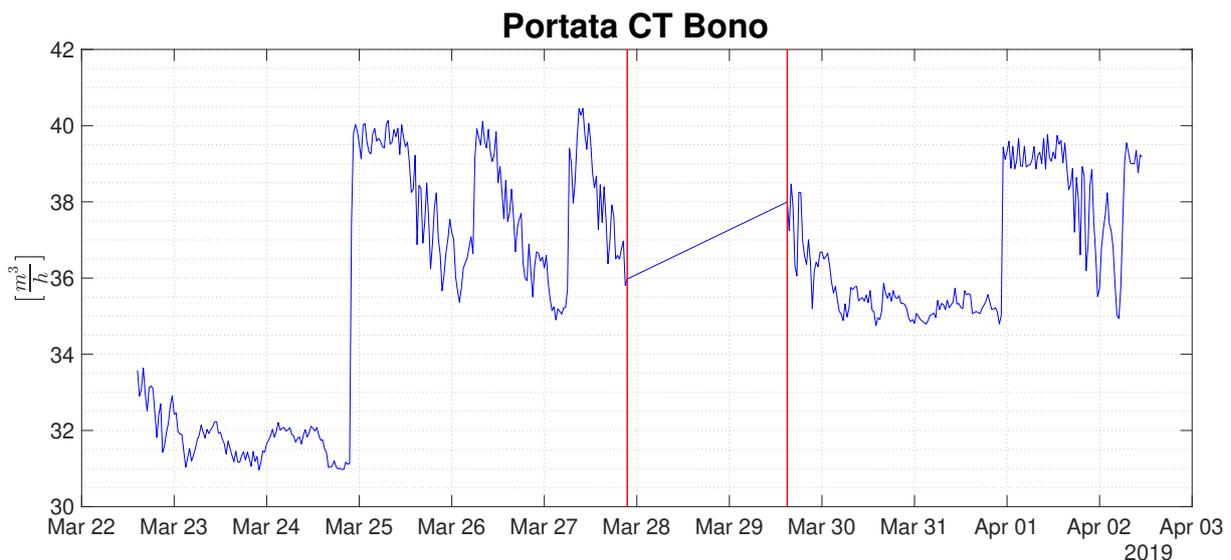


Figura 4.43: CT Bono - portata

In Figura 4.43, tra le due linee rosse il misuratore ha presentato dei problemi e non ha memorizzato i dati. L'idea è comunque che anche in quei giorni l'andamento fosse il medesimo degli altri giorni feriali.

Come si può notare dalle Figure 4.43 e 4.44, la CT Bono presenta un'andamento della portata variabile nei giorni feriali tra  $35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  e  $40 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , mentre scende a  $31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  nei giorni festivi.

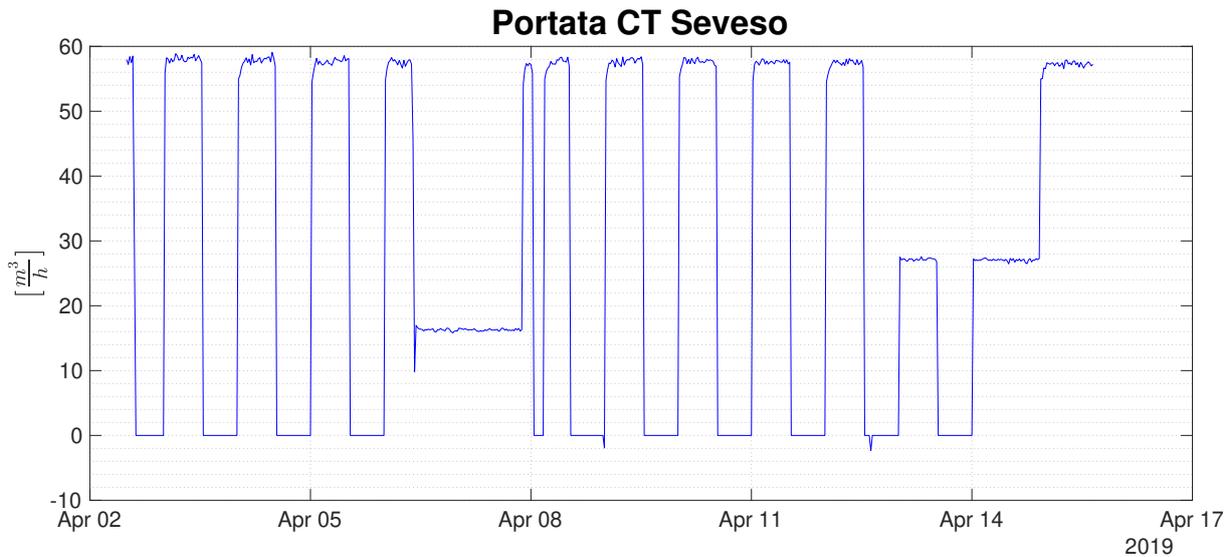


Figura 4.44: CT Seveso - portata

La CT Seveso, invece, mostra un andamento più regolare: nelle ore diurne dei giorni feriali la portata è costante a circa  $58 \frac{m^3}{h}$ , mentre allo spegnimento delle caldaie scende a  $0 \frac{m^3}{h}$ . Durante i giorni festivi, nelle ore diurne la portata si dimezza rispetto al valore dei giorni feriali: questo potrebbe essere giustificato dal fatto che si preferisce lasciare accesa una sola delle due caldaie per mantenere una temperatura minima nei locali.

#### 4.4.4 Analizzatore di rete portatile

Anche l'analizzatore di rete portatile è arrivato in ritardo rispetto alle tempistiche previste. Per tale motivo le misure effettuate si riferiscono soltanto a due locali, che, visto il numero di macchine installate, sono sembrati tra i più energivori. Di seguito i grafici delle misure effettuate.

##### Reparto tessitura nastri ed elastici

Il grafico riferito al reparto tessitura nastri ed elastici presenta delle curve di potenza attiva giornaliera abbastanza regolari. Si presenta un basso consumo il sabato a cui non è stato associato alcuna causa lavorativa.

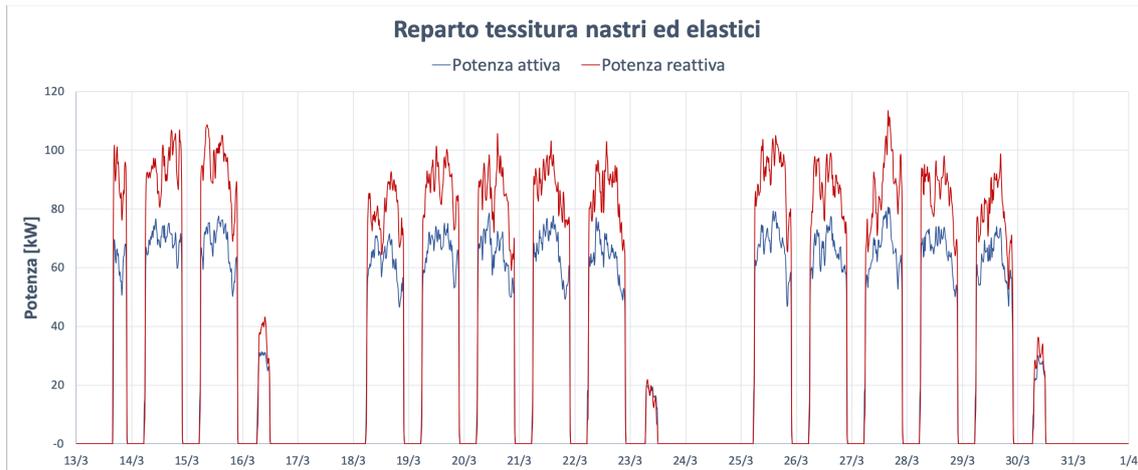


Figura 4.45: Reparto tessitura nastri ed elastici - Potenza elettrica



Figura 4.46: Reparto tessitura nastri ed elastici - Potenza elettrica giornaliera

Analizzando nel dettaglio un singolo giorno della settimana, viene confermato quanto detto nel capitolo 3. Infatti, al mattino, quando inizia il primo turno lavorativo, le macchine e i filati devono essere controllati rigorosamente per evitare danni al telaio e/o rotture del filato; questo si traduce in un consumo più basso nella prima ora lavorativa, rispetto all'ultima ora lavorativa della giornata in cui le macchine vengono semplicemente spente. Lo si nota dalla curva giornaliera che ha una pendenza minore al mattino, impiegando circa 1 ora prima di avere tutte le macchine operative; mentre, la sera, la pendenza è maggiore e in 15 minuti si passa dalla potenza massima assorbita a 0 kW.

## Reparti tintoria e finissaggio

Per quanto riguarda questo reparto le curve giornaliere presentano un andamento regolare, ma varia la potenza massima richiesta dal reparto. Questo dato è funzione della produzione e non è stato possibile studiarlo nel dettaglio. In Figura 4.47 si nota un periodo in cui lo strumento ha smesso di funzionare; mentre, nei giorni in cui si è rilevato un consumo costante e basso, l'azienda è stata chiusa per il ponte del 25 aprile.



Figura 4.47: Reparto tintoria e finissaggio - Potenza elettrica

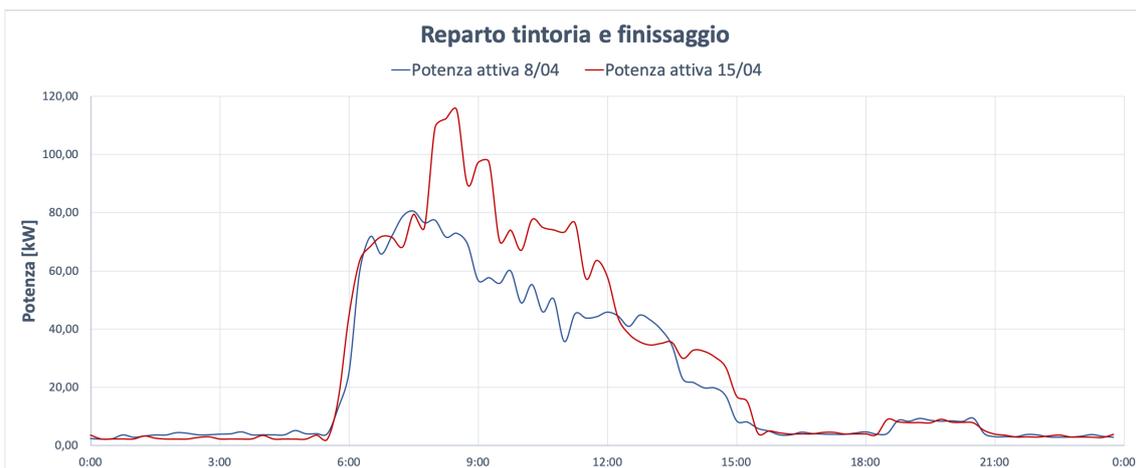


Figura 4.48: Reparto tintoria e finissaggio - Potenza elettrica giornaliera

Andando ad analizzare la potenza attiva giornaliera, in due giorni diversi per potenza

massima richiesta, si nota un andamento piuttosto simile. Dopo le ore 14:00 il reparto chiude e il consumo scende quasi a 0 kW. Rimane presente, appunto, un consumo molto basso e costante durante le ore non lavorative dovuto alla presenza di un impianto di depurazione delle acque scaricate dai macchinari della tintoria.

### **Potenza reattiva e fattore di potenza**

Una sezione a parte va dedicata alla potenza reattiva. In entrambi i locali analizzati, ma anche a livello dell'intero stabilimento, è presente una potenza reattiva molto elevata che va ad incidere sul consumo di energia elettrica e quindi anche sull'aspetto economico ad essa legato.

Nei circuiti a corrente alternata la corrente assorbita dalla maggior parte degli utilizzatori si può considerare come costituita da due componenti di natura diversa che possiamo definire rispettivamente magnetizzante e attiva.

- La componente attiva è quella che, come dice il nome, produce lavoro utile agendo per mezzo della macchina o dell'apparecchio relativo; il prodotto della corrente attiva in Ampere per la tensione dell'impianto in Volt rappresenta la potenza attiva (espressa in watt, simbolo W) assorbita dall'utilizzatore per essere convertita (con la deduzione dell'energia perduta trasformata in calore) in lavoro utile.
- La componente magnetizzante (chiamata anche corrente reattiva) è la componente della corrente necessaria ai fini esclusivi di produrre il flusso di magnetizzazione necessario al funzionamento degli utilizzatori a corrente alternata che richiedono la presenza di campi magnetici. Essa pertanto non produce lavoro utile. Il prodotto della corrente reattiva per la tensione rappresenta la potenza reattiva (espressa in voltampere reattivi, simbolo var).

La corrente attiva  $I_a$  è sempre in concordanza di fase con la tensione U mentre la corrente reattiva  $I_r$  è sempre in ritardo di  $90^\circ$  sulla tensione (Figura 4.49).

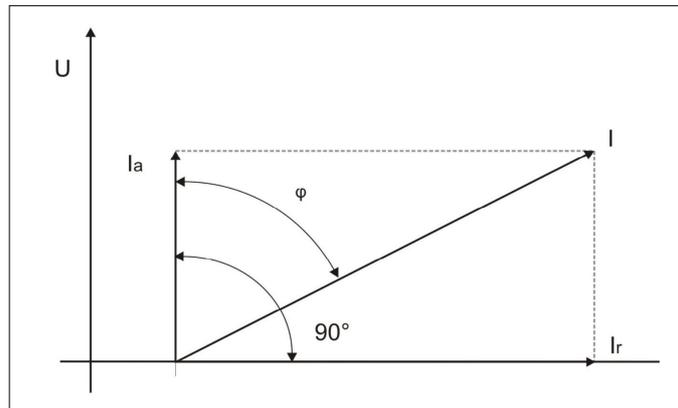


Figura 4.49: Diagramma vettoriale delle correnti in un circuito

Ne deriva che la corrente totale  $I$  risultante delle due componenti  $I_a$  e  $I_r$  è sempre in ritardo rispetto alla tensione  $U$  di un certo angolo  $\phi$  che dipende dai valori delle due componenti attiva e reattiva. Nel senso che quanto minore è la componente reattiva tanto più piccolo è l'angolo  $\phi$ . Al limite quando la componente  $I_r = 0$  la corrente  $I_a$  coincide con la corrente totale  $I$  e tutta la potenza assorbita dall'utilizzatore è trasformata in lavoro.

Il diagramma vettoriale della corrente (4.49) consente di definire la relazione matematica che lega le correnti tra loro: il rapporto tra la corrente attiva  $I_a$  e la corrente totale  $I$  viene definito "fattore di potenza":

$$f = \frac{I_a}{I} = \cos(\phi)$$

Tale relazione è sinteticamente tradotta in formula dalla funzione trigonometrica coseno dell'angolo  $\phi$  compreso tra la corrente  $I$  e la componente  $I_a$  (Figura 4.50).

La potenza reattiva non producendo lavoro utile non viene trasformata ma risulta alternativamente assorbita dal campo magnetico e quindi restituita al circuito elettrico.

È evidente che quanto più il fattore di potenza è inferiore a 1 tanto maggiore è la corrente  $I$  che interessa il circuito e gli utilizzatori a parità di corrente attiva  $I_a$ . In altri termini l'utilizzatore assorbe potenza apparente superiore alla potenza attiva necessaria per produrre il lavoro richiesto.

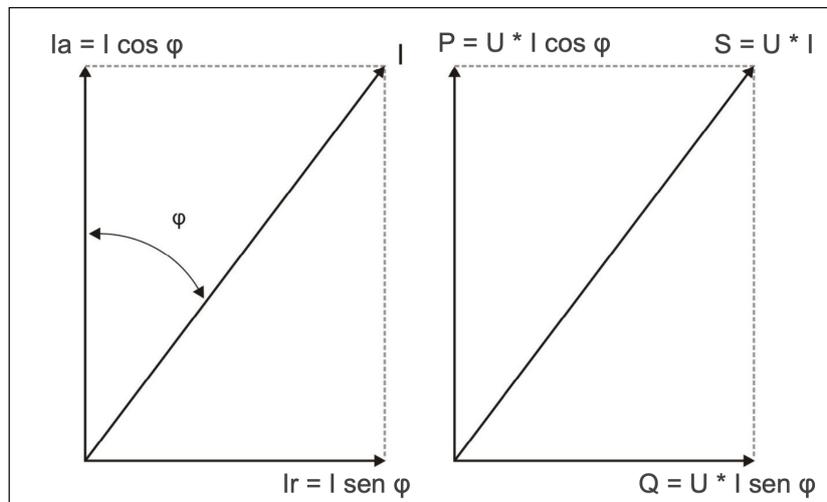


Figura 4.50: Rappresentazione grafica delle relazioni che legano correnti e potenze in un circuito

In base alla delibera AEEG 180/2013/R/EEL (in cui si fissano i corrispettivi per prelievi di energia reattiva da applicare a partire dall'anno 2016), il limite minimo del fattore di potenza, dal primo gennaio 2016, per non pagare penali è passato da 0,9 a 0,95. In pratica l'energia reattiva dovrà essere inferiore a un terzo dell'energia attiva assorbita.

Dalle misure effettuate e tramite le relazioni descritte, si è ricavato il fattore di potenza per i due reparti conoscendo la potenza attiva (kW)  $P$  e potenza reattiva (kvar)  $Q$ :

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{Q}{P} \quad \longrightarrow \quad \phi = \operatorname{arctg}\left(\frac{Q}{P}\right) \quad \longrightarrow \quad f = \cos(\phi)$$

I valori trovati sono mostrati nei grafici seguenti.



Figura 4.51: Reparto tessitura nastri ed elastici - fattore di potenza



Figura 4.52: Reparto tintoria e finissaggio - fattore di potenza

Per quanto riguarda il reparto tessitura nastri ed elastici il fattore di potenza è molto basso, circa un valore medio giornaliero di 0,6; mentre per quanto riguarda il reparto tintoria e finissaggio il valore medio è di circa 0,75 durante l'orario lavorativo, di circa 0,6 altrove. In entrambi i casi i valori sono inferiori al limite imposto dall'autorità.

## 4.5 Analisi dati delle centrali termiche

In questa sezione si è voluto analizzare nel dettaglio i dati misurati per le centrali termiche. Purtroppo il periodo di misura non è stato sufficientemente lungo per due motivi: l'arrivo in ritardo dello strumento di misura e il fatto che, essendo uno solo, se installato in una centrale non poteva essere installato nell'altra centrale.

Il primo passaggio effettuato, avendo i dati di portata ogni 30 minuti, è stato quello di applicare una media mobile ai valori di temperatura di mandata e di ritorno e di portarli sulla stessa base della portata. In questo modo è stato facile mediare i valori e calcolare i  $\Delta T$  ogni 30 minuti, necessari al calcolo della potenza  $\dot{Q}_{30min}$ .

$$\dot{Q}_{30min} [kW] = \dot{m}_{30min} \cdot c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot \Delta T_{30min} \cdot \frac{1 h}{3600 s}$$

dove  $\dot{m}$  rappresenta la portata di acqua misurata in  $\frac{m^3}{h}$ ,  $c_{pH_2O}$  è il calore specifico dell'acqua assunto pari a  $4,186 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$ ,  $\rho_{H_2O}$  è la densità dell'acqua assunta pari a  $1000 \frac{kg}{m^3}$  e  $\Delta T$  in  $^\circ C$  è la differenza della temperatura di mandata e quella di ritorno. Mediando sull'ora, è stato possibile trovare i valori di energia espressi in [kWh].

Con questi dati e con la valutazione della portata media nelle centrali termiche, sono state create le firme energetiche ed è stato valutato il possibile andamento delle potenze in tutto il periodo in cui si hanno a disposizione le misure di temperatura. I risultati ottenuti sono mostrati di seguito.

### 4.5.1 CT Bono

Il periodo analizzato è ridotto in quanto è stato considerato solo quello in cui sono disponibili i dati della portata.



Figura 4.53: CT Bono - andamento portata e delta T

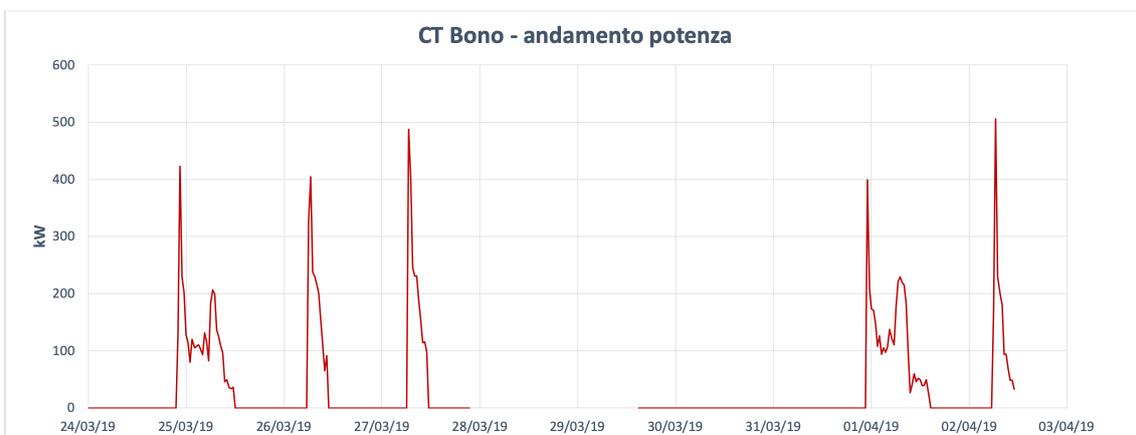


Figura 4.54: CT Bono - andamento potenza

Dalle Figure 4.53 e 4.54 si nota che la portata aumenta all'aumentare del  $\Delta T$ , assumendo per valori di  $\Delta T > 0$  un valore costante di circa  $39 \frac{m^3}{h}$ . La potenza, di conseguenza, mostra lo stesso andamento dei  $\Delta T$  e questo è confermato dalla Figura 4.55. Infatti, la correlazione è molto evidente e la pendenza rappresenta proprio la portata media che avevamo già trovato osservando i grafici.

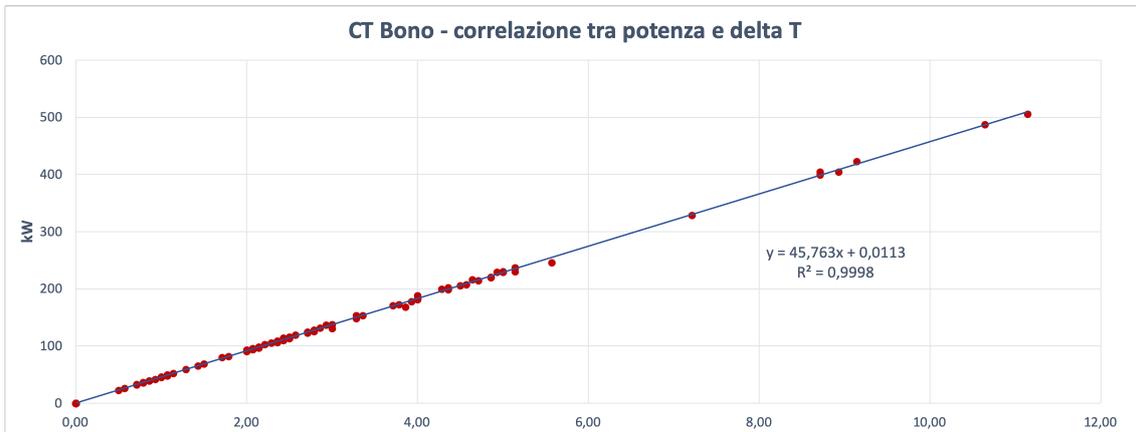


Figura 4.55: CT Bono - correlazione tra potenza e delta T

$$\dot{m}_{media} = \frac{45,763}{c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{45,763}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 39,357 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Si è cercato, anche, di trovare un legame tra potenza e gradi giorno calcolati ogni 30 minuti e tra energia e gradi ora. Purtroppo i risultati trovati, mostrati nelle figure seguenti non sono significativi. Alcune delle cause potrebbero essere: pochi dati a disposizione, accensione e spegnimento delle caldaie manuale e non controllato mediante un termostato interno.



Figura 4.56: CT Bono - correlazione tra potenza e gradi giorno

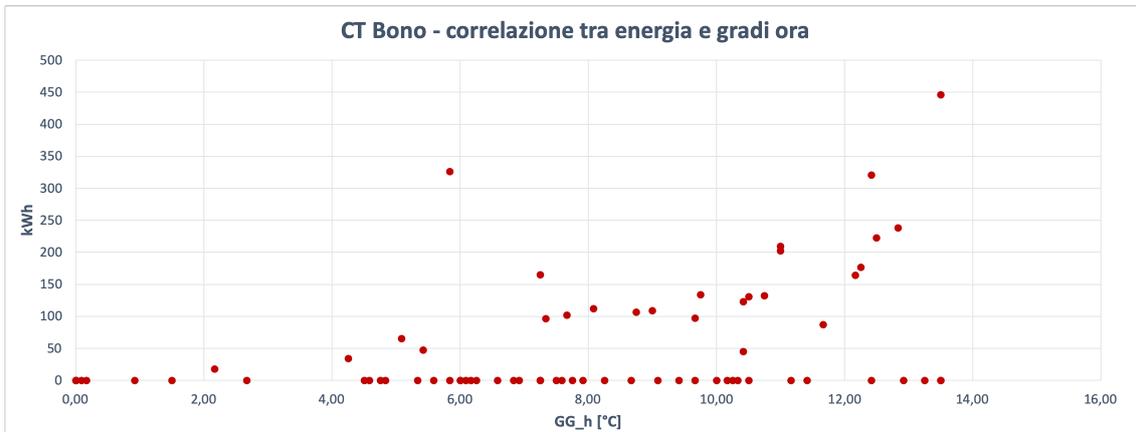


Figura 4.57: CT Bono - correlazione tra energia e gradi ora

In parte, i grafici mostrano che all'aumentare dei gradi giorno vi è un aumento della potenza, ma la correlazione rimane comunque insoddisfacente.

Successivamente, trovato il valore di portata media e considerato costante, si è calcolata la potenza per tutti i valori di temperatura a disposizione, usando sempre la stessa formula della potenza già vista prima.

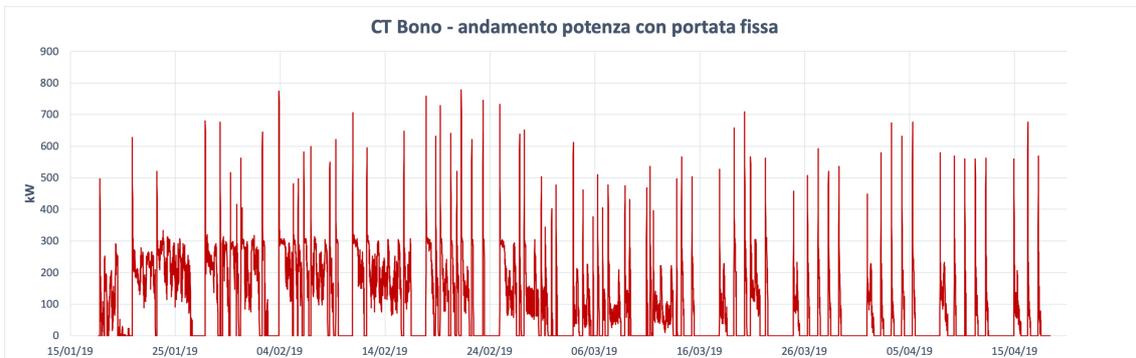


Figura 4.58: CT Bono - andamento potenza con portata costante

Come si nota in Figura 4.58, sembra che le caldaie nei mesi più freddi, fino alla prima metà di marzo, rimangano accese per un periodo di tempo maggiore durante il giorno e delle volte la notte non vengono spente. Discorso diverso per il periodo successivo, più caldo, in cui le caldaie vengono spente intorno alle 13:00 e vengono riaccese il giorno successivo alle 06:00. Per visualizzare meglio questi comportamenti, si riportano di

seguito i grafici di alcuni periodi caratteristici.



Figura 4.59: CT Bono - andamento potenza periodo 1



Figura 4.60: CT Bono - andamento potenza periodo 2



Figura 4.61: CT Bono - andamento potenza periodo 3

Oltre a quanto detto, si nota anche che all'accensione delle caldaie la potenza è massima e segue l'andamento del  $\Delta T$ . L'ipotesi è che, a causa anche dell'inerzia termica

dell'edificio, la caldaia lavora alla massima potenza per raggiungere subito la temperatura di set-point per poi stabilizzarsi.

Applicando un metodo deterministico, è possibile notare che la potenza, considerando i picchi di accensione, non supera gli 800 kW e quindi, in vista di un'eventuale sostituzione, sicuramente la potenza attualmente installata, pari a circa 3 MW, è da considerarsi sovradimensionata. Tale potenza, infatti, serviva per il riscaldamento di un volume molto più grande che col tempo si è ridotto notevolmente. Un'altra considerazione riguarda la mancanza di termostati per la regolazione della temperatura e di un controllo automatizzato. L'accensione manuale, effettuata da un operatore, può causare maggiori consumi e mancato comfort ambiente per i dipendenti.

Si tiene a sottolineare che l'analisi è influenzata dal fatto che si ha avuto a disposizione un periodo di tempo molto limitato e che gli strumenti di misura, oltre ad avere un'accuratezza non molto elevata, potrebbero essere stati installati in modo non ottimale.

Un'ulteriore analisi è stata quella di riportare, mediando i valori orari, i dati su base giornaliera, in modo da mettere in relazione l'energia termica con i gradi giorno e la temperatura media esterna, creando quella che si chiama "firma energetica".

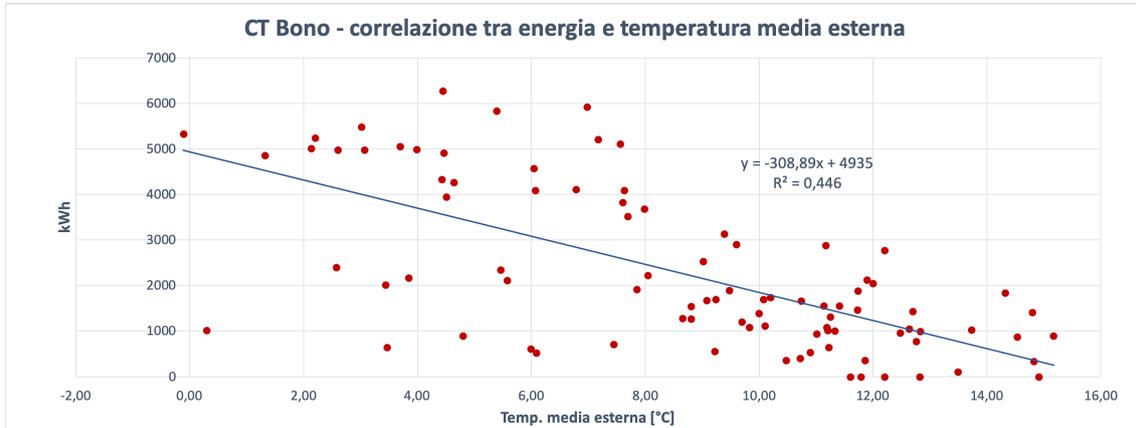


Figura 4.62: CT Bono - firma energetica

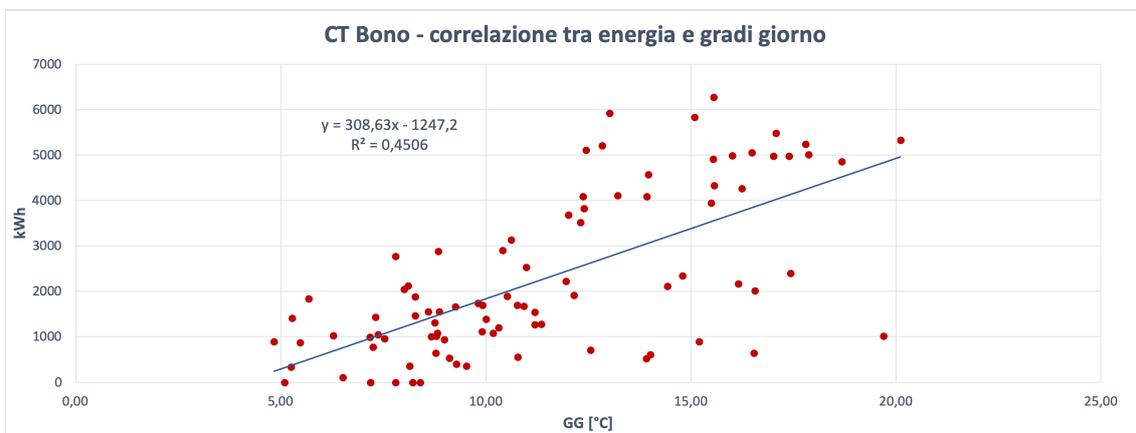


Figura 4.63: CT Bono - caratteristica energetica

Queste correlazioni, Figure 4.62 e 4.63, mostrano un legame, ma presentano molta dispersione. Le cause potrebbero essere le stesse descritte poco sopra. Inoltre, è importante notare che tale andamento è simile alla correlazione tra consumo di gas naturale e gradi giorno mostrata nel capitolo 3. Questo comportamento potrebbe significare che il maggior consumo nel periodo invernale è dovuto proprio a queste caldaie, che, nota l'età e il sovradimensionamento, lavorerebbero con un'efficienza molto bassa.

## 4.5.2 CT Seveso

Il periodo analizzato è più ampio rispetto al precedente caso, ma si tratta di un periodo più caldo, infatti riguarda la prima metà di aprile.

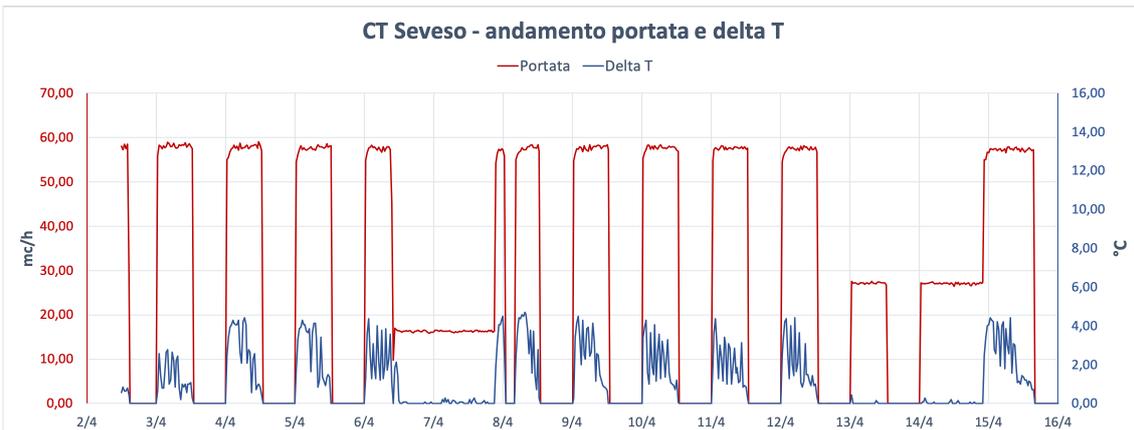


Figura 4.64: CT Seveso - andamento portata e delta T

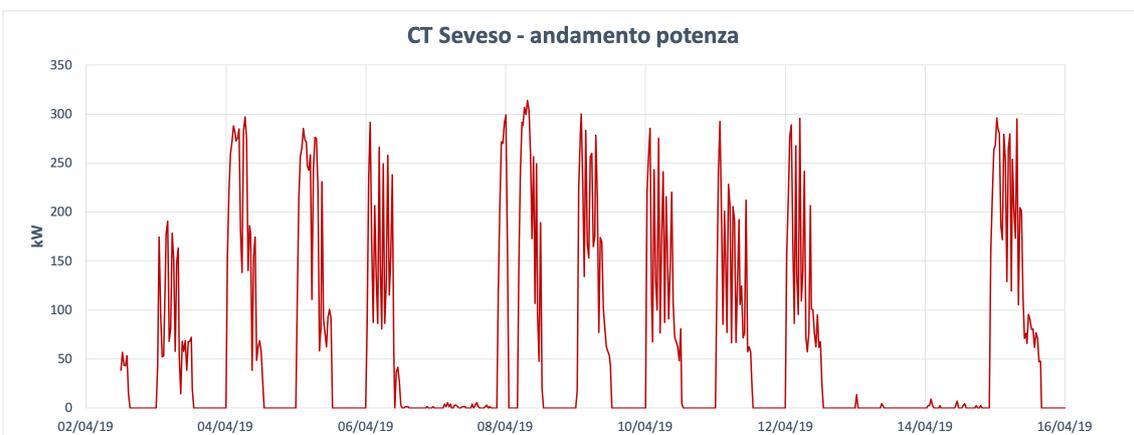


Figura 4.65: CT Seveso - andamento potenza

Dalle Figure 4.64 e 4.65 si nota che la portata aumenta all'aumentare del  $\Delta T$ , assumendo per valori di  $\Delta T > 0$  un valore costante di circa  $58 \frac{m^3}{h}$ . La potenza, di conseguenza, mostra lo stesso andamento dei  $\Delta T$  e questo è confermato dalla Figura 4.66. Tale grafico però mostra due andamenti separati, in quanto ci sono molti punti in cui  $\Delta T > 0$ , mentre la portata è nulla. Questo accade allo spegnimento delle caldaie. Per tale motivo sono



Figura 4.66: CT Seveso - correlazione tra potenza e delta T

stati filtrati i dati dei  $\Delta T$  e la correlazione che si ottiene è visibile in Figura 4.67. In questa correlazione, come fatto prima, la pendenza rappresenta la portata media.

$$\dot{m}_{media} = \frac{66,578}{c_{pH_2O} \cdot \rho_{H_2O}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = \frac{66,578}{4,186 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 57,258 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

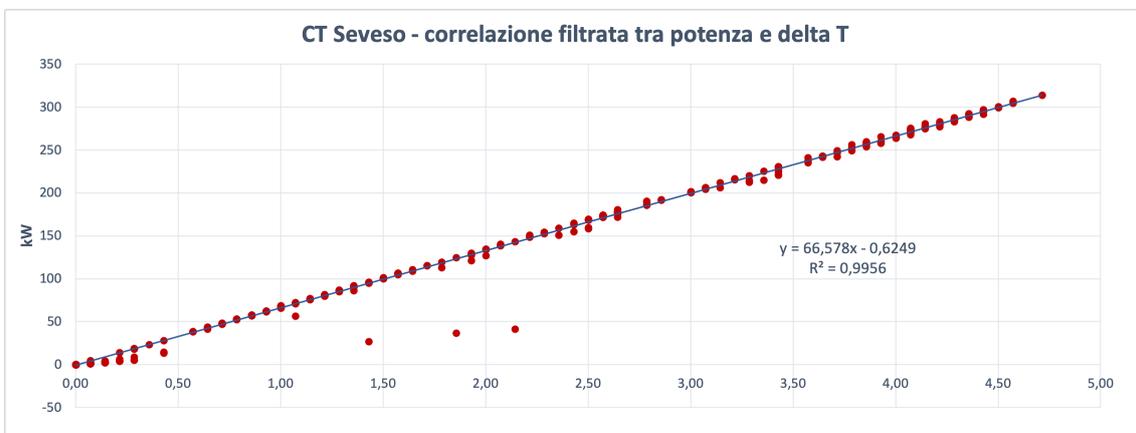


Figura 4.67: CT Seveso - correlazione tra potenza e delta T filtrato

Si è cercato, anche, di trovare un legame tra potenza e gradi giorno calcolati ogni 30 minuti e tra energia e gradi ora. Purtroppo i risultati trovati, mostrati nelle figure seguenti non sono significativi. Alcune delle cause potrebbero essere quelle descritte precedentemente per la CT Bono.

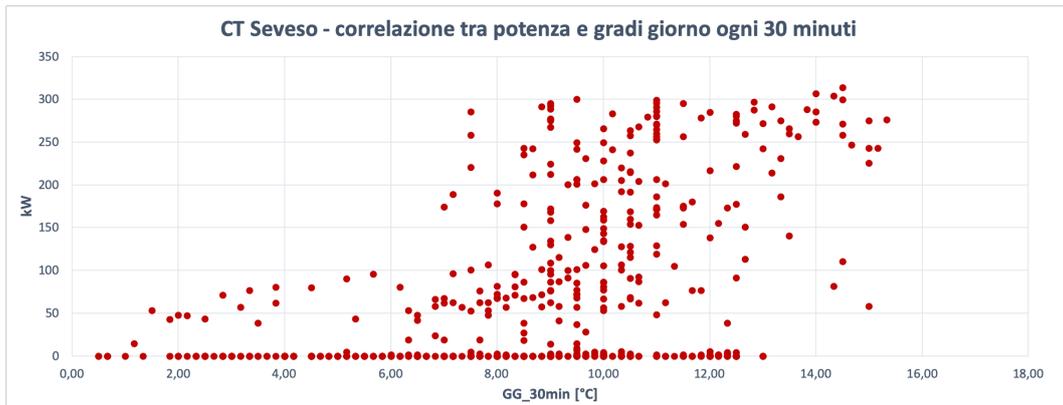


Figura 4.68: CT Seveso - correlazione tra potenza e gradi giorno

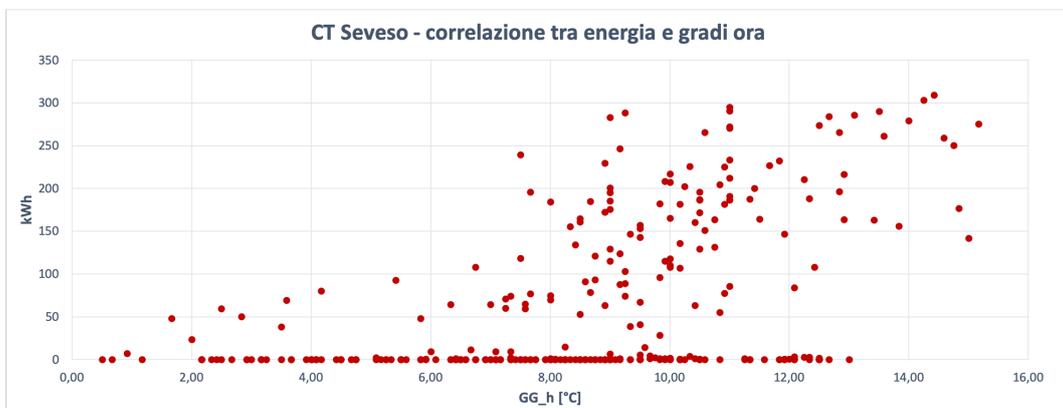


Figura 4.69: CT Seveso - correlazione tra energia e gradi ora

I risultati sono simili a quelli ottenuti per la CT Bono: si nota un certo legame, ma la correlazione non è soddisfacente. Successivamente, come fatto per la CT Bono, si è calcolata la potenza per tutti i valori di temperatura a disposizione, considerando costante la portata (Figura 4.70). Si può notare che la potenza massima erogata è abbastanza costante durante l'intero periodo analizzato; sono presenti solo dei picchi dovuti presumibilmente ad errori di misura. Anche in questo caso si nota una differenza tra le settimane più fredde e quelle più calde. Per tale motivo, sono stati presi due periodi differenti (Figure 4.71 e 4.72) e si sono messi a confronto. Come per la CT Bono, sembra che le caldaie nei giorni feriali del periodo più freddo non vengono spente la notte, mentre nel periodo più caldo si. In entrambi i casi si nota un andamento periodico giornaliero.



Figura 4.70: CT Seveso - andamento potenza con portata costante



Figura 4.71: CT Seveso - andamento potenza periodo 1



Figura 4.72: CT Seveso - andamento potenza periodo 2

Applicando un metodo deterministico, si può notare che la potenza, non considerando i picchi che sono stati ipotizzati legati a errori di misura, non supera i 500 kW e quindi, in vista di un'eventuale sostituzione, sicuramente la potenza attualmente installata, pari

a circa 1 MW, risulta un po' sovradimensionata, ma conservativa nel caso di guasti a una delle due caldaie presenti. Anche in questo caso, un elemento che ci limita nella spiegazione della caratteristica energetica è l'accensione manuale.

Un'ulteriore analisi è stata quella di riportare, mediando i valori orari, i dati su base giornaliera, in modo da mettere in relazione l'energia termica con i gradi giorno e la temperatura media esterna, creando quella che si chiama "firma energetica".

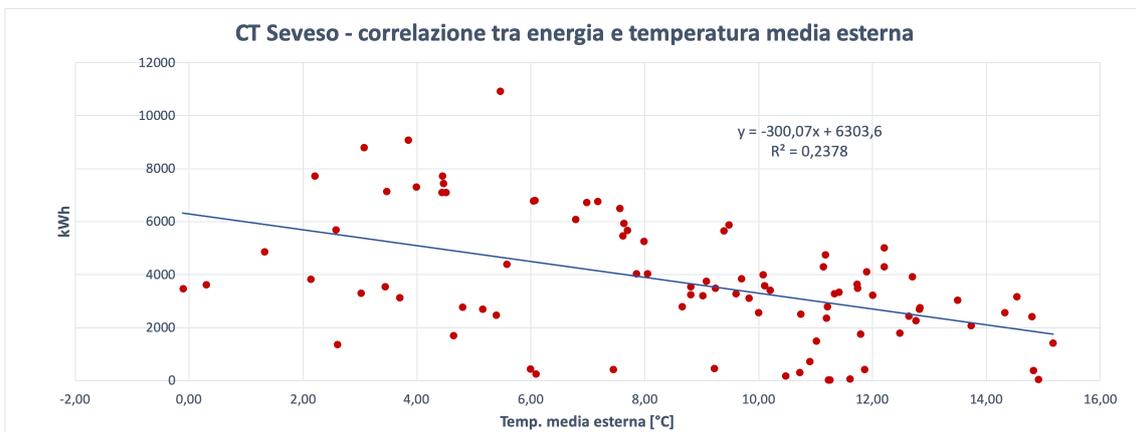


Figura 4.73: CT Seveso - firma energetica

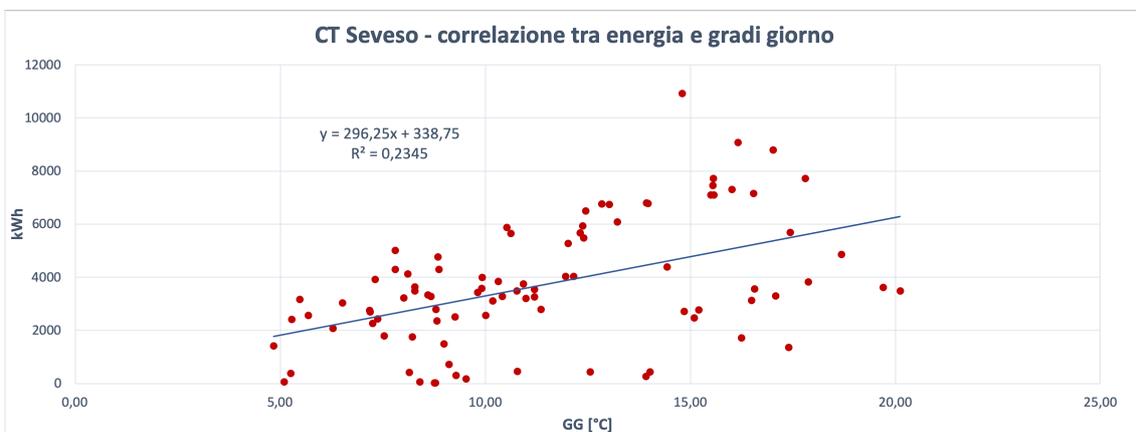


Figura 4.74: CT Seveso - caratteristica energetica

I risultati ottenuti mostrano certamente un legame, ma la correlazione non è significativa.

## CAPITOLO 5

---

### Conclusioni

---

In questo lavoro di tesi è stata effettuata un'analisi energetica di un'azienda tessile, proponendo dove possibile dei miglioramenti delle prestazioni.

Nella fase iniziale dello studio sono stati analizzati i consumi di energia elettrica e di gas naturale degli ultimi anni a livello di stabilimento, evidenziandone periodicità e andamenti e permettendo di legare i consumi con i relativi energy drivers. Non è stato possibile, in prima analisi, analizzare il consumo di singoli reparti e/o centrali termiche in quanto l'azienda in questione era sprovvista di misuratori di alcun tipo.

In termini energetici è emerso che il 60% del consumo totale espresso in tep è dovuto al gas naturale, mentre il restante 40% all'energia elettrica. Il consumo di energia elettrica è circa costante tutto l'anno con dei valori più alti nei mesi invernali dovuti alla presenza di sistemi ausiliari per il riscaldamento dei locali. Il consumo di gas naturale invece presenta un andamento parabolico con un massimo nei mesi più freddi dell'anno.

In termini economici, invece, è emerso che negli ultimi anni il 58% della spesa totale è dovuta all'approvvigionamento di energia elettrica. Tale spesa è influenzata

dall'andamento dei mercati energetici.

Nella seconda fase sono stati legati i consumi del 2018 con i relativi energy drivers, creando i modelli di caratterizzazione energetica coi dati a disposizione che meglio rappresentavano i consumi. Il consumo elettrico è risultato essere fortemente influenzato dalle ore lavorate giornaliere durante tutto l'anno, mentre nel periodo invernale anche dalle condizioni climatiche. Non è stato possibile legare il consumo alla produzione, in quanto quest'ultimo dato non è disponibile. Il consumo di gas naturale è strettamente influenzato dalle condizioni climatiche nel periodo invernale, poiché la maggior parte di gas è utilizzata dagli impianti di riscaldamento, solo una piccola parte è usata per produrre vapore per il ciclo produttivo. Durante il resto dell'anno, il consumo è stato assunto costante perchè dipendente, appunto, dalla produzione che è un dato non disponibile.

I modelli trovati sono stati validati mediante il CUSUM tabulare. Prendendo come periodo di setup da utilizzare come riferimento l'anno 2018, sono stati valutati i consumi dei primi 6 mesi del 2019 (periodo di monitoraggio). Da quest'analisi è emerso che il modello dei consumi di gas naturale è risultato valido, mentre quello dell'energia elettrica è andato fuori controllo. Il motivo è che nei primi mesi del 2019 il consumo è risultato maggiore del previsto a causa della presenza di nuove attività commerciali, collegate, sotto un accordo tra le parti, al contatore elettrico dell'azienda.

Successivamente, grazie all'acquisto di strumenti di misura volti a definire in dettaglio alcuni aspetti energetici dell'azienda, sono stati analizzati i dati dei dataloggers, del misuratore di portata e dell'analizzatore di rete.

Da questi dati è emerso che le temperature dei locali riscaldati dalla centrale termica CT Bono presentano andamenti periodici giornalieri e che non viene mantenuta una temperatura minima per le ore notturne. Comportamento diverso per i locali riscaldati dalla CT Seveso, dove nelle ore notturne la temperatura non scende oltre i 18°C.

Per quanto riguarda l'umidità, non essendo presente un sistema di controllo, ma solo degli apparecchi che mettono in ambiente acqua nebulizzata, il valore di umidità trovato nei vari locali è inferiore al 60%, ad eccezione del reparto tessitura nastri ed elastici in cui

è presente un sistema controllato da una centralina che a sua volta comanda una pompa idraulica. Questo dato è molto importante perchè per lavorare al meglio le fibre tessili è necessario mantenere l'umidità al di sopra del 65%.

Successivamente, dai dataloggers di temperatura e dai dati di portata è stato possibile calcolare l'andamento della potenza termica prodotta dalle caldaie delle centrali termiche CT Bono e CT Seveso. L'andamento della portata è legato in entrambi i casi ai  $\Delta T$  e in genere si mantiene costante durante le ore di funzionamento.

È emerso che la CT Bono è sovradimensionata rispetto alla potenza richiesta dal volume riscaldato. La potenza massima trovata coi dati a disposizione è risultata pari a 800 kW, rispetto ai 3 MW installati. Il dimensionamento della CT Seveso, invece, è abbastanza conservativo. La potenza massima trovata è di circa 500 kW, rispetto a circa 1 MW attualmente installato. In caso di guasti, una sola delle due caldaie presenti può coprire in grossa parte il carico termico richiesto. Inoltre, è stata confermata l'assenza di un termostato, come già visto dai dati di temperatura dei locali, e l'accensione e lo spegimento manuale per mezzo di un operatore.

Dall'analisi dei dati dell'analizzatore di rete portatile, è emerso che i due reparti analizzati presentano un consumo abbastanza regolare con periodicità giornaliera, ad esclusione dei giorni festivi. Un dato molto importante è la presenza elevata di energia reattiva, o un fattore di potenza abbastanza basso, inferiore al limite imposto dall'autorità.

## **5.1 Proposte di miglioramento**

Di seguito, dopo l'analisi effettuata e data la presenza di impianti obsoleti, privi di qualsiasi sistema di misura e controllo, vengono mostrati gli interventi proposti al fine di migliorare le prestazioni energetiche e non dell'azienda.

### **Sostituzione delle caldaie**

Dall'analisi fatta, nota l'età di tutte le caldaie presenti per il riscaldamento (oltre i 30 anni) e nota la spesa che l'azienda sostiene per l'approvvigionamento di gas naturale, la sostituzione delle caldaie è un investimento importante e da fare al più presto. La soluzione proposta vede l'installazione di un sistema modulare di caldaie a condensazione collegate in cascata. In questo modo, le centrali termiche lavorerebbero quasi sempre al massimo rendimento, generando un elevato risparmio economico. La potenza termica da installare è stata individuata nel capitolo precedente ed è inferiore a quella attualmente presente.

Oltre alla sostituzione delle caldaie, va rivista l'intera linea di distribuzione, in cui sono presenti tratti non coibentati e tratti non utili ai fini del riscaldamento, e i terminali.

### **Rifasamento elettrico industriale**

Vista la presenza di un fattore di potenza basso, la proposta è quella di adattare un sistema di rifasamento, connesso in parallelo ai carichi, in modo da ridurre il valore della potenza reattiva induttiva che deve essere fornita dal gestore del servizio elettrico locale, portando così alla riduzione o al totale abbattimento degli addebiti per eccessivo assorbimento di potenza reattiva.

In aggiunta agli immediati effetti di risparmio, il rifasamento offre ulteriori importanti vantaggi tecnici: ad esempio un aumento del  $\cos(\phi)$  riduce considerevolmente le perdite per potenza dissipata sulle linee di trasmissione, con la conseguente riduzione del processo di invecchiamento.

### **Controllo dell'umidità**

Nelle aziende tessili il controllo dell'umidità è essenziale per la realizzazione di prodotti di alta qualità. Un ambiente correttamente umidificato garantisce un aumento della produttività e, nel caso di umidificazione adiabatica, un consistente raffrescamento dell'ambiente.

All'interno di industrie tessili i filati e i semilavorati, non ancora trasformati in tessuti, hanno bisogno di umidità per evitare la rottura dei nodi e la formazione di elettricità statica. Un efficace sistema di nebulizzazione e umidificazione non solo aumenta la trazione delle fibre naturali, ma ne consente la malleabilità. È dato infatti che i materiali igroscopici sono in grado di cedere e assorbire vapore acqueo dall'ambiente in cui sono realizzati e trattati.

Il controllo dell'umidità nell'ambiente assicura l'aumento della produttività grazie alla maggiore resistenza ed elasticità delle fibre tessili lavorate al 65...70% di umidità relativa. Queste condizioni garantiscono inoltre la diminuzione di pulviscolo nell'aria.

La soluzione proposta è un sistema di raffrescamento evaporativo che porta importanti benefici microclimatici in qualsiasi ambiente industriale, sia in estate che in inverno. Oltre a umidificare l'ambiente di produzione, il raffrescamento evaporativo abbatte le temperature e contribuisce al miglioramento del benessere fisico del personale nelle aree di lavoro dell'industria tessile. Controllare l'umidità all'interno degli stabili attraverso un impianto di raffrescamento significa:

- aumento della trazione delle fibre naturali dei tessuti;
- aumento dell'elasticità dei filati;
- meno elettricità statica;
- clima migliore nelle aree di produzione;
- aria più pulita da polveri e solventi chimici.

---

## Bibliografia

---

- [1] ONU Assemblea Generale, *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*, 21 Ottobre 2015, A/RES/70/1.
- [2] Arpa Emilia-Romagna (Agenzia Regionale Prevenzione, Ambiente ed Energia), *Ecoscienza: sostenibilità e controllo ambientale*, rivista n°6 - anno 2017.
- [3] S. Mancò, Dispense del corso di Gestione dei Sistemi Energetici, Torino: s.n., 2017.
- [4] F. Bugarin, Miglioramento delle Prestazioni Energetiche e Ambientali di un'Azienda del Settore Farmaceutico, 2018.
- [5] C. Beccari, TOPtesi – Bundle for typesetting multilanguage theses, 2019.

---

## Siti Web consultati

---

- [1] <https://www.unric.org/it/agenda-2030>
- [2] [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_it](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it)
- [3] <http://www.arpa.piemonte.it>
- [4] <https://luce-gas.it>
- [5] <https://www.riels.it>
- [6] <https://www.lascarelectronics.com>
- [7] <https://www.energyteam.it>
- [8] <https://www.e-distribuzione.it>
- [9] <https://www.italgas.it>
- [10] <https://it.wikipedia.org>
- [11] <https://nt24.it>