



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica

Tesi Di Laurea Magistrale In Ingegneria Energetica

**EFFICIENZA ENERGETICA DI AZIENDE ENERGIVORE  
DEL SETTORE PLASTICO: AUDIT, INDICI DI  
PRESTAZIONE ENERGETICA E BEST AVAILABLE  
TECHNIQUES**

Relatore: Prof. Ing. Arturo Lorenzoni

Tutor aziendale: Ing. Francesco Visentin

Laureando: Marco Cavallin

n. matricola: 1156826

Anno Accademico 2018/2019



# Indice

---

Abstract.....	1
Riassunto.....	3
Introduzione.....	5
1. Contesto Legislativo e Normativo.....	9
1.1 Legislazione Europea.....	11
1.2 Recepimento Legislativo 2012/27/UE in Italia: D.lgs. 102/2014.....	15
1.3 Proposta di Direttiva 2016/27/UE.....	20
1.4 Strategia Energetica Nazionale 2017.....	22
1.5 Normativa Tecnica.....	25
1.5.1 Norma UNI CEI/TR 11428:2011.....	25
1.5.2 Norma UNI CEI EN 16247:2012.....	30
1.5.3 Norma UNI CEI EN 16212:2012.....	31
1.5.4 Norma UNI CEI EN 16231:2012.....	32
1.5.5 Norma UNI CEI 11352:2014.....	32
1.5.6 Norma UNI CEI EN 15900:2010.....	33
1.5.7 Norma UNI CEI EN ISO 50001:2018.....	33
2. Diagnosi Energetica.....	37
2.1 Oggetto della Diagnosi.....	40
2.2 Modalità di Svolgimento e Raccolta Dati.....	42
2.3 Lavorazione delle Materie Plastiche.....	45
2.3.1 Stampaggio a Iniezione.....	48
2.3.2 Estrusione.....	50
2.3.3 Soffiaggio.....	53
2.4 Indicatori di Prestazione Energetica.....	55
2.4.1 Benchmarking e Consumo Energetico Specifico – SEC.....	56
2.4.2 Metodo di Calcolo degli Indici di Prestazione.....	60
2.4.3 Risultati degli Studi Analizzati.....	64
2.5 Principali Interventi di Efficientamento Energetico Considerati.....	71
2.5.1 Fotovoltaico.....	71
2.5.2 Cogenerazione e Trigenerazione.....	72
2.5.3 Rifasamento Elettrico.....	74

2.5.4 Re-Lamping Illuminazione.....	79
2.5.5 Valutazione Perdite di Aria Compressa.....	80
2.5.6 Indicatori Economici.....	81
3. Best Practices.....	85
3.1 Stampaggio a Iniezione.....	87
3.1.1 Macchine Idrauliche e Macchine Elettriche.....	88
3.1.2 Rivestimenti Isolanti/Termocoperte.....	90
3.1.3 Raffreddamento Conforme.....	91
3.1.4 Azionamenti a Velocità Variabile (VSD) – Inverter.....	91
3.1.5 Buoni Comportamenti per Ridurre il Consumo Energetico.....	94
3.2 Estrusione.....	96
3.2.1 L’Estrusore.....	96
3.2.2 Estrusione di Film Piano.....	97
3.2.3 Estrusione di Film Soffiato.....	97
3.2.4 Estrusione di Profili.....	97
3.2.5 Buoni Comportamenti per Ridurre il Consumo Energetico.....	98
3.3 Soffiaggio.....	99
3.3.1 Principali Soluzioni per il Risparmio Energetico.....	99
3.4 Altri Processi.....	101
3.4.1 Stampaggio a Rotazione (Rotomoulding).....	101
3.4.2 Stampaggio a Compressione.....	102
3.4.3 Termoformatura.....	105
3.4.4 Materiali Compositi.....	107
3.5 Utilities e Periferiche.....	110
3.5.1 Motori e Alternatori.....	110
3.5.2 Aria Compressa.....	111
3.5.3 Ventilazione.....	113
3.5.4 Essiccazione.....	113
3.5.5 Riscaldamento e Illuminazione.....	114
3.5.6 Raffreddamento.....	115
3.6 Energy Management.....	116
3.6.1 Monitoraggio e Targeting.....	116
4. Casi Studio.....	119
4.1 Caso 1.....	119

4.2 Caso 2.....	144
4.3 Caso 3.....	161
4.4 Caso 4.....	178
4.5 Altri Casi.....	193
4.5.1 Caso 5.....	193
4.5.2 Caso 6.....	195
4.5.3 Caso 7.....	196
4.5.4 Caso 8.....	197
4.5.5 Caso 9.....	198
4.5.6 Caso 10.....	200
4.5.7 Caso 11.....	201
4.5.8 Caso 12.....	201
4.5.9 Caso 13.....	203
5. Sintesi dei Risultati.....	205
Conclusioni.....	211
Appendice 1.....	215
Appendice 2.....	222
Indice delle Figure.....	224
Indice delle Tabelle.....	227
Allegato 1.....	231
Allegato 2.....	237
Bibliografia e Sitografia.....	241



# Abstract

---

*This thesis work deals with the energy efficiency of energy intensive companies operating in plastic industry.*

*Initially, the main European directives concerning the concept of energy efficiency are analyzed, in particular the 2012/27/EU directive and its transposition into Italian legislation. Some technical sets of rules concerning energy audit have also been studied.*

*After introducing the main plastics processes, and the specific performance indicators for this sector, identifying benchmark values, the state of the art of the best energy efficiency practices available in literature is reported.*

*The main body of the work consists of the analysis of 13 case studies: for some companies, consumption and production data were collected with monthly details, while others provided only annual data by filling in specific questionnaires.*

*For the case studies where more data was available, the production process was described first, then the company's situation at the time of the inspection, and finally an accurate analysis of the energy performance indicators was carried out, obtaining the general specific energy consumption and where possible, the specific energy consumption for main activity, expressed in kWh/kg.*

*Some of the main energy efficiency interventions have also been evaluated, such as the installation of a photovoltaic system, a trigeneration plant, electric power factor correction (for which has been developed a Matlab code that derives the optimal value of rephasing power, from the withdrawal data), re-lamping illumination and reducing compressed air losses.*

*Finally, the results are analyzed and compared, identifying which actions and interventions increase the energy efficiency of the production processes.*





# Riassunto

---

Questo lavoro di tesi tratta l'efficienza energetica delle industrie a forte consumo di energia che operano nel settore plastico.

Inizialmente vengono analizzate le principali direttive europee inerenti al concetto di efficienza energetica, in particolare la direttiva 2012/27/EU ed il suo recepimento nella legislazione italiana. Sono state studiate anche alcune normative tecniche riguardanti le diagnosi energetiche.

Dopo aver introdotto i principali processi di lavorazione delle materie plastiche, e gli indicatori di prestazione caratteristici di questo settore, individuando dei valori di *benchmark*, viene riportato lo stato dell'arte delle migliori pratiche di efficienza energetica disponibili in letteratura.

Il corpo del lavoro è costituito dall'analisi di 13 casi studio: per alcune aziende sono stati raccolti dati di consumo e di produzione con dettaglio mensile, mentre altre hanno fornito solamente dati annuali tramite la compilazione di appositi questionari.

Per i casi studio in cui era disponibile una maggior quantità di dati, è stato prima descritto il processo produttivo, la situazione dell'azienda al momento del sopralluogo, e poi effettuata un'accurata analisi degli indicatori di prestazione energetica, ricavando il consumo specifico di energia generale e dove possibile il consumo specifico di energia per attività principale, espressi in kWh/kg.

Sono anche stati valutati alcuni interventi di efficientamento energetico, quali l'installazione di un impianto fotovoltaico, di un impianto di trigenerazione, il rifasamento elettrico (per cui è stato sviluppato un codice Matlab che dai dati di prelievo quart'orario ricava il valore ottimale della potenza rifasante), il *re-lamping* illuminazione e la riduzione delle perdite di aria compressa.

Infine, vengono analizzati e confrontati i risultati ottenuti, individuando quali azioni ed interventi incrementano maggiormente l'efficienza energetica dei processi produttivi.



# Introduzione

---

L'energia è una delle componenti fondamentali dello sviluppo sociale e tecnologico che hanno permesso l'evoluzione dell'uomo, tanto da essere ormai considerata una delle basi della società moderna.

Il continuo sfruttamento di fonti energetiche non rinnovabili nel corso della storia ha portato però a gravi cambiamenti climatici e variazioni dell'ecosistema terrestre, tanto da mettere in pericolo il futuro del nostro pianeta.

Dopo averne preso consapevolezza, l'uomo ha iniziato ad impegnarsi attivamente a livello mondiale al fine di elaborare delle soluzioni che risolvano tali problemi, o quantomeno li rallentino il più possibile.

In un mondo che affronta continuamente sfide globali come la rapida crescita della popolazione, la sicurezza alimentare ed i cambiamenti climatici, la società deve scegliere e fare affidamento su soluzioni più efficienti per garantire uno sviluppo sostenibile. [1]

L'incremento dell'efficienza energetica degli edifici e dei sistemi impiantistici è un passaggio fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi europei stabiliti in ambito energetico-ambientale.

Con il termine "efficienza energetica" si intende sempre il portare a compimento, attraverso il minor consumo di energia possibile, un'azione considerata utile e necessaria allo scopo prestabilito. È possibile quindi definire un sistema energeticamente più efficiente rispetto ad un altro solo se, a parità di prestazioni richieste, riesce ad ottenere lo stesso risultato con l'utilizzo di un minor quantitativo di energia, grazie alle migliori pratiche e tecnologie disponibili sul mercato e mediante l'adozione di un comportamento responsabile verso gli usi energetici. Essere efficienti energeticamente vuol dire sfruttare l'energia in modo razionale, eliminare sprechi e perdite dovute al funzionamento e alla gestione non ottimale, abbattendo i costi fissi e variabili della propria attività e ottenendo benefici ambientali.

Sia a livello civile che industriale per intraprendere un serio percorso di efficientamento energetico è importante procedere preliminarmente con l'esecuzione di un'approfondita diagnosi energetica. [2]

Questo lavoro di tesi è volto ad analizzare il concetto di efficienza energetica, relativamente alle industrie a forte consumo di energia che lavorano nel settore plastico.

Grazie alla loro versatilità, le materie plastiche hanno permesso l'innovazione ed il progresso di svariati settori, tanto che la plastica viene utilizzata sia per fabbricare componenti specifici che oggetti di utilizzo comune. [1]

Il settore plastico, è un settore particolarmente maturo dal punto di vista tecnologico, di conseguenza è necessario indagare con attenzione tutti gli aspetti migliorabili, al fine di ottimizzare le prestazioni e ridurre i consumi.

Nel settore plastico, le spese energetiche rappresentano la terza voce di costo all'interno del bilancio di un'azienda, pertanto il loro contenimento rappresenta una necessità per mantenere elevata la competitività sul mercato, a patto, naturalmente, di non pregiudicare la funzionalità e l'efficienza dei processi produttivi.

Il bisogno è quindi quello di coniugare la riduzione dei costi di approvvigionamento energetico con l'incremento dell'efficienza energetica: che si tratti di implementare nuove tecnologie o di attuare il *revamping* di impianti ormai obsoleti, ogni processo produttivo ha bisogno di interventi ad hoc, a cui ricorrere dopo un attento *audit* energetico, al fine di valutare quali e quante risorse eventualmente vengano sprecate. [3]

Il presente elaborato è stato redatto nel corso di un progetto formativo svolto presso "RXENERGY S.r.l.s.", una società di consulenza che si occupa di efficienza energetica principalmente nel settore industriale e nella Pubblica Amministrazione.

Inizialmente, sono state analizzate le principali direttive e normative tecniche, sia europee che italiane, inerenti al concetto di efficienza energetica ed *energy audit*.

È stato spiegato brevemente in che cosa consiste una diagnosi energetica, quali sono state le principali modalità di svolgimento e raccolta dati, e sono stati introdotti i principali processi di lavorazione delle materie plastiche.

Dopo aver definito gli indici di prestazione energetica relativi a questo settore, sono stati analizzati tre studi, sia a livello europeo che italiano, per ricavare degli indicatori di *benchmark* da confrontare con i dati reali.

Prima dell'analisi dei casi studio, è presente un capitolo che raccoglie tutte le *Best Practices* disponibili in letteratura per migliorare l'efficienza energetica nei vari processi produttivi, al fine di definire lo stato dell'arte del settore.

Sono stati quindi analizzati i dati ricavati da 13 aziende, alcune delle quali hanno reso disponibili i dati mensili, mentre altre solamente i dati annuali.

Per ogni caso studio, non è stata effettuata una vera e propria diagnosi energetica, ma sono stati ricavati gli indici di prestazione, da confrontare con i valori di *benchmark*, in modo da individuare possibili miglioramenti o eventuali anomalie.

Per tutti i casi studio che presentano un elevato grado di dettaglio, sono stati inoltre valutati alcuni possibili interventi di efficientamento energetico che potessero migliorare le varie realtà. Infine, l'elaborato si conclude con una sintesi dei risultati, che può essere utile ad un'associazione di categoria, che evidenzia le azioni che portano a degli incrementi di prestazioni con ritorni economici interessanti, in cui il suggerimento è quello di adottare tali pratiche in modo che diventino uno standard.



# 1 Contesto Legislativo e Normativo

---

“L’Unione Europea si trova di fronte a sfide senza precedenti determinate da una maggiore dipendenza dalle importazioni di energia, dalla scarsità di risorse energetiche, nonché dalla necessità di limitare i cambiamenti climatici e di superare la crisi economica.” [4]

Già negli anni ‘90 è apparsa evidente la necessità di definire un nuovo modello di crescita economica e industriale sostenibile dal punto di vista ambientale e climatico.

In questo contesto va inserito il Protocollo di Kyoto<sup>1</sup> che, a cavallo del nuovo millennio, ha definito obiettivi di riduzione delle emissioni, gettando le basi per quella politica di de-carbonizzazione di cui l’Europa si farà portavoce negli anni a venire.

L’Accordo di Parigi del dicembre 2015 (COP21)<sup>2</sup>, adottato da 197 Paesi ed entrato in vigore il 4 Novembre 2016, definisce un piano d’azione globale e giuridicamente vincolante per limitare il riscaldamento terrestre ben al di sotto dei 2°C, e per proseguire l’azione volta a limitare l’aumento di temperatura a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali, segnando un passo fondamentale verso la de-carbonizzazione.

Contemporaneamente la comunità internazionale ha stilato, in seno alle Nazioni Unite, l’Agenda 2030<sup>3</sup> per lo sviluppo sostenibile, che prefigura un nuovo sistema di *governance* mondiale per influenzare le politiche di sviluppo attraverso 17 obiettivi e 169 target, tra i quali la lotta ai cambiamenti climatici e l’accesso all’energia pulita. [5]

L’efficienza energetica costituisce un valido strumento per affrontare questa situazione e raggiungere questi obiettivi.

Essa migliora la sicurezza di approvvigionamento dell’Unione, riducendo il consumo di energia primaria e diminuendo le importazioni di energia, contribuisce a ridurre le emissioni di gas serra in modo efficiente in termini di costi e quindi a ridurre i cambiamenti climatici.

---

<sup>1</sup> Protocollo di Kyoto: è un accordo internazionale per contrastare il riscaldamento globale.

Il trattato, di natura volontaria, è stato sottoscritto l’11 dicembre 1997 durante la Conferenza delle parti di Kyoto (la COP3) ma è entrato in vigore solo il 16 febbraio 2005 grazie dalla ratifica del Protocollo da parte della Russia (che era avvenuta nel precedente novembre 2004).

(Fonte: <https://www.reteclima.it/protocollo-di-kyoto/>)

<sup>2</sup> Accordo di Parigi: è un accordo globale sui cambiamenti climatici che è stato raggiunto il 12 dicembre 2015.

(Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/timeline/>)

<sup>3</sup> Agenda 2030: è un programma d’azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell’ONU. L’avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile ha coinciso con l’inizio del 2016, guidando il mondo sulla strada da percorrere nell’arco dei prossimi 15 anni: i Paesi, infatti, si sono impegnati a raggiungerli entro il 2030.

(Fonte: <https://www.unric.org/it/agenda-2030>)

“Il passaggio a un’economia più efficiente sotto il profilo energetico dovrebbe inoltre accelerare la diffusione di soluzioni tecnologiche innovative e migliorare la competitività dell’industria, rilanciando la crescita economica e favorendo la creazione di posti di lavoro di qualità elevata in diversi settori connessi con l’efficienza energetica.” [6]

Gli strumenti adottati a livello dell’Unione per disciplinare l’efficienza energetica, rispecchiano la crescente importanza dell’energia in quanto sfida politica ed economica, e la stretta correlazione con settori strategici quali la sicurezza dell’approvvigionamento energetico, i cambiamenti climatici, la sostenibilità, il mercato interno e lo sviluppo economico. [7]

Per tali ragioni, prima di intraprendere il lavoro di analisi delle *Best Practices* e degli indici di prestazione relativi al settore plastico, si è ritenuto opportuno fornire un quadro generale del contesto legislativo europeo rispettivamente all’ambiente e all’energia. In particolare, sono stati analizzati i punti di maggiore interesse all’interno delle principali leggi e decreti relativamente al tema trattato.



## 1.1 Legislazione Europea

In seguito a cambiamenti climatici sempre più drastici ed evidenti, e ad una sempre crescente dipendenza dell'uomo dall'energia, l'Unione Europea ha deciso di impegnarsi al fine di poter realizzare un'economia caratterizzata da bassi consumi energetici, la cui energia risulti sicura, affidabile, concorrenziale, sostenibile e prodotta a livello locale. [8]

In aggiunta a questa attenzione per il mercato energetico, la politica energetica promuove l'interconnessione delle reti e l'efficienza energetica, considerando sia fonti fossili che rinnovabili, quali energia solare, eolica, geotermica, idroelettrica, mareomotrice e da biomassa. L'articolo 194 del trattato sul funzionamento dell'Unione Europea introduce una base giuridica specifica per il settore dell'energia, basata su competenze condivise fra l'UE e i Paesi membri.

I provvedimenti europei sull'efficienza energetica<sup>4</sup> sono diversi, pertanto nell'elenco seguente si riportano quelli che vengono considerati di maggior interesse per il settore industriale.

- **Direttiva 2012/27/UE** del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.
- **Direttiva 2010/30/CE** del 19 maggio 2010 concernente l'indicazione del consumo di energia e di altre risorse dei prodotti connessi all'energia, mediante l'etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti (rifusione).
- **Direttiva 2010/31/CE** del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- **Direttiva 2009/73/CE** relativa a norme comuni per il mercato interno del gas naturale e che abroga la direttiva 2003/55/CE.
- **Direttiva 2009/72/CE** relativa a norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica e che abroga la direttiva 2003/54/CE.
- **Decisione n. 406/2009/CE** concernente gli sforzi degli Stati membri per ridurre le emissioni dei gas a effetto serra al fine di adempiere agli impegni della Comunità in materia di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2020.
- **Direttiva 2009/31/CE** comunitaria relativa allo stoccaggio geologico di biossido di carbonio e recante modifica della direttiva 85/337/CEE del Consiglio, delle direttive del Parlamento europeo e del Consiglio 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE,

---

<sup>4</sup> Disponibile nel sito dell'Unione Europea nella sezione dedicata alla legislazione su temi energetici.  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/energy/energy\\_efficiency/index\\_it.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/index_it.htm)

2006/12/CE, 2008/1/CE e del regolamento (CE) n. 1013/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio.

- **Direttiva 2009/29/CE** comunitaria che modifica la direttiva 2003/87/CE al fine di perfezionare ed estendere il sistema comunitario per lo scambio di quote di emissione di gas a effetto serra.
- **Direttiva comunitaria 2009/28/CE** sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. Rettifica della direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
- **Direttiva comunitaria 2008/1/CE** sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento.
- **Direttiva comunitaria 2005/32/CE** sulla progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia.
- **Decisione 2007/74/CE** che fissa valori di rendimento di riferimento armonizzati per la produzione separata di elettricità e di calore (in applicazione della 2004/8/CE).
- **Direttiva comunitaria 2002/91/CE** sul rendimento energetico in edilizia.
- **Direttiva comunitaria 2001/77/CE** sulla promozione delle fonti rinnovabili.

La normativa europea, attualmente in vigore, riguardante l'efficienza energetica è la Direttiva 2012/27/EU<sup>5</sup>, che stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione Europea al fine di raggiungere gli obiettivi del 20% di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2020 e, contestualmente, di spianare la strada a futuri miglioramenti nel settore. [6]

Essa stabilisce norme atte a rimuovere le barriere nel mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che ostacolano l'efficienza nella fornitura e nell'utilizzo di energia; impone agli Stati membri dell'Unione Europea di fissare degli obiettivi nazionali per il 2020 e introduce delle misure giuridicamente vincolanti per favorire un uso più efficiente dell'energia, dalla trasformazione alla distribuzione, fino al consumo finale.

Ai sensi della direttiva, ciascuno Stato membro stabilisce un obiettivo nazionale indicativo di efficienza energetica, basato sul consumo di energia primaria o finale, sul risparmio di energia primaria o finale o sull'intensità energetica. [6]

---

<sup>5</sup> Link alla direttiva europea: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32012L0027>

Gli Stati dovranno elaborare una strategia a lungo termine per favorire la ristrutturazione degli edifici residenziali e commerciali, sia pubblici che privati.

La strategia, elaborata sulla base di una ricognizione del parco immobiliare, dovrà essere pubblicata entro il 30 aprile 2014 e/o aggiornata ogni tre anni.

Gli Stati dovranno:

- Promuovere la disponibilità, per tutti i clienti finali, di diagnosi energetiche di elevata qualità, svolte in maniera indipendente, da esperti qualificati, o eseguite sotto sorveglianza di autorità indipendenti. A differenza delle grandi imprese, le piccole e medie imprese (PMI) sono escluse dall'obbligo di eseguire gli *audit* energetici;
- Incentivare la diffusione a prezzi accessibili di contatori intelligenti in grado di misurare il consumo effettivo e di fornire informazioni sul tempo effettivo di utilizzo;
- Valutare l'applicazione della cogenerazione ad alto rendimento, del teleriscaldamento e teleraffrescamento, promuovendone l'utilizzo;
- Mettere a punto regimi di certificazione, accreditamento e qualificazione, rendendoli disponibili per i fornitori di servizi e *audit* energetici;
- Istituire strumenti finanziari o agevolare il ricorso a quelli esistenti per il miglioramento dell'efficienza energetica, e facilitare gli interventi di efficientamento energetico degli edifici.

Gli *audit* energetici diventano particolarmente importanti a seguito della Direttiva sull'efficienza energetica del 2012, tanto che le grandi imprese sono tenute a sottoporsi regolarmente a diagnosi energetica obbligatoria o ad implementare sistemi di gestione dell'energia. Parallelamente, gli Stati membri sono tenuti a promuovere gli *audit* energetici volontari per le PMI, anche attraverso incentivi finanziari.

Nell'articolo 8 "*Audit* energetici e sistemi di gestione dell'energia", infatti, viene indicato che gli Stati membri promuovano la disponibilità per tutti i clienti finali, di *audit* energetici di elevata qualità, efficaci in rapporto ai costi, svolti in maniera indipendente da esperti qualificati e/o accreditati secondo criteri di qualificazione, o eseguiti e sorvegliati da autorità indipendenti conformemente alla legislazione nazionale.

Gli *audit* energetici possono essere svolti da esperti interni o *auditor* dell'energia a condizione che lo Stato membro interessato abbia posto in essere un regime di garanzia e controllo della qualità, inclusa, se del caso, una selezione casuale annuale di almeno una percentuale statisticamente significativa di tutti gli *audit* energetici svolti.

Allo scopo di garantire l'elevata qualità degli *audit* energetici e dei sistemi di gestione dell'energia, gli Stati membri stabiliscono criteri minimi trasparenti e non discriminatori per gli *audit* energetici, ed elaborano programmi intesi ad incoraggiare le PMI a sottoporsi a diagnosi energetica e favorire la successiva attuazione delle raccomandazioni risultanti da tali *audit*.

Le imprese che non sono PMI e che attuano un sistema di gestione dell'energia o ambientale, certificato da un organismo indipendente secondo le pertinenti norme europee o internazionali, sono esentate dall'obbligo di diagnosi energetica, a condizione che gli Stati membri assicurino che il sistema di gestione in questione includa un *audit* energetico.

Gli *audit* energetici possono essere indipendenti o far parte di un *audit* ambientale di più ampia portata. Gli Stati membri possono richiedere che la valutazione della fattibilità tecnica ed economica del collegamento a una rete locale di teleriscaldamento o teleraffrescamento esistente o pianificata faccia parte dell'*audit* energetico.

Infine, gli Stati membri dell'Unione Europea possono attuare regimi d'incentivazione e sostegno per l'attuazione delle raccomandazioni risultanti dagli *audit* energetici e misure analoghe. [6]

## 1.2 Recepimento Legislativo 2012/27/UE in Italia: D.lgs. 102/2014

In Italia, la Direttiva europea 2012/27/UE, è stata recepita tramite il Decreto legislativo n.102 del 4 Luglio 2014<sup>6</sup>, di “Attuazione delle direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE” che stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell’efficienza energetica che concorrono al conseguimento “dell’obiettivo nazionale di risparmio energetico imposto dall’Unione Europea indicato nell’articolo 3, che consiste nella riduzione, entro l’anno 2020, di 20 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio<sup>7</sup> dei consumi di energia primaria, pari a 15,5 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio di energia finale, conteggiati a partire dal 2010”, in coerenza con la Strategia energetica nazionale. [9]

Gli articoli principali vengono di seguito analizzati:

**Art. 5** - “Miglioramento della prestazione energetica degli immobili della Pubblica Amministrazione”

“A partire dal 2014 e fino al 2020 saranno realizzati interventi di riqualificazione energetica su almeno il 3% annuo della superficie coperta utile climatizzata degli immobili della pubblica amministrazione centrale o che, in alternativa, comportino un risparmio energetico cumulato nel periodo 2014 – 2020 di almeno 0,04 Mtep. Le regioni e gli enti locali dovranno concorrere al raggiungimento dell’obiettivo nazionale attraverso l’approvazione:

- di obiettivi e azioni specifici di risparmio energetico e di efficienza energetica;
- di provvedimenti volti a favorire l’introduzione di un sistema di gestione dell’energia, comprese le diagnosi energetiche, il ricorso alle ESCO e ai contratti di rendimento energetico (EPC).” [9]

**Art. 6** - “Acquisti delle Pubbliche amministrazioni centrali”

“Nei contratti di acquisto di prodotti e servizi o di nuova locazione di immobili, oltre che negli appalti di fornitura in regime di locazione finanziaria, le pubbliche amministrazioni centrali dovranno rispettare i requisiti minimi di efficienza energetica che saranno inclusi tra i criteri di valutazione delle offerte. Il bando di gara obbligherà i fornitori del servizio ad utilizzare prodotti conformi ai requisiti minimi dimostrabili, e tale obbligo si considererà assolto qualora l’acquisto di prodotti, servizi ed immobili rispetti almeno i “Criteri Ambientali Minimi (CAM)” per le pertinenti categorie di prodotti indicate al punto 3.6 del “Piano d’azione per la

---

<sup>6</sup> D. Lgs 4 Luglio 2014, n. 102: <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/07/18/14G00113/sg>

<sup>7</sup> Il tep (tonnellata equivalente di petrolio) è un’unità di misura di energia che rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo, ed equivale a 41,860 GJ.

sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione (PAN GPP)”. Tutte le amministrazioni pubbliche e quindi anche le regioni, le province autonome di Trento e Bolzano e gli enti locali dovranno adeguare i propri ordinamenti al fine di rispettare i requisiti minimi di efficienza energetica.” [9]

#### **Art. 7 - “Regime obbligatorio di efficienza energetica”**

“L’obiettivo di risparmio nazionale cumulato di energia finale da conseguire nel periodo compreso tra il 1° gennaio 2014 e il 31 dicembre 2020, è determinato secondo la metodologia di attuazione ai sensi dell’articolo 7 della direttiva 2012/27/UE. Il regime obbligatorio riguardante l’efficienza energetica è costituito dal meccanismo dei certificati bianchi<sup>8</sup>, il quale dovrà garantire il conseguimento di un risparmio energetico al 31 dicembre 2020 non inferiore al 60% dell’obiettivo di risparmio energetico nazionale cumulato.

I risparmi di energia per i quali non siano stati riconosciuti titoli di efficienza energetica, rispetto all’anno precedente e in condizioni normalizzate, riscontrabili dai bilanci energetici predisposti da imprese che attuano un sistema di gestione dell’energia conforme alla norma ISO 50001, e dagli *audit* energetici previsti, sono comunicati dalle imprese all’ENEA e concorrono al raggiungimento degli obiettivi fissati per il 2020.” [9]

#### **Art. 8 - “Diagnosi energetiche e sistemi di gestione dell’energia”**

“Le grandi imprese<sup>9</sup> e le imprese energivore<sup>10</sup>, sono tenute ad eseguire una diagnosi energetica nei siti produttivi localizzati sul territorio nazionale entro il 5 dicembre 2015 e successivamente ogni 4 anni in conformità a quanto riportato dell’allegato 2 dello stesso decreto, pena una

---

<sup>8</sup> I Certificati Bianchi, o Titoli di Efficienza Energetica (TEE) sono titoli negoziabili che certificano i risparmi energetici conseguiti negli usi finali di energia, realizzando interventi di incremento dell’efficienza energetica. Per ulteriori informazioni, vedere: <https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/certificati-bianchi>

<sup>9</sup> La definizione di grande impresa, ad integrazione di quanto previsto dall’articolo 2 del D.Lgs 102/2014, deve essere altresì desunta in via residuale a partire dalla definizione di “microimprese, piccole imprese e medie imprese”, enunciata dalla Raccomandazione 2003/361/CE della Commissione del 6 maggio 2003, che costituisce il riferimento a livello europeo ai fini dell’applicazione delle politiche comunitarie all’interno della comunità e dello Spazio economico europeo (art. 1), recepita in Italia attraverso il decreto del Ministro delle attività produttive del 18 aprile 2005. Pertanto, tutte le imprese che non sono qualificabili come PMI, ai sensi della citata normativa, sono da considerarsi grandi imprese e come tali soggette all’obbligo di diagnosi di cui all’articolo 8 del D.Lgs 102/2014.

Le categorie di imprese sono individuate sulla base di un determinato numero di soggetti occupati e di un duplice criterio finanziario, rappresentato dal fatturato annuo e dal totale di bilancio. La grande impresa è l’impresa che occupa almeno 250 persone, il cui fatturato annuo supera i 50 milioni di euro o il cui totale di bilancio annuo supera i 43 milioni di euro.

(Fonte: “Chiarimenti in materia di diagnosi energetiche nelle imprese” del MiSE in data 19/05/2015)

<sup>10</sup> La definizione di impresa “energivora” è identificata dal consumo assoluto dei vettori energetici, e in base all’incidenza del costo dell’energia sul proprio volume complessivo d’affari come riportato nel Decreto del 5 aprile 2013 “Definizione delle imprese a forte consumo di energia”.

(Fonte: <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/04/18/13A03398/sg>)

sanzione amministrativa. Tale obbligo non si applica alle grandi imprese che hanno adottato sistemi di gestione conformi EMAS (*Eco - Management and Audit Scheme*) e alle norme ISO 50001 o EN ISO 14001, a condizione che il sistema di gestione in questione includa un *audit* energetico. Le diagnosi dovranno essere condotte da società di servizi energetici (SSE), esperti in gestione dell'energia (EGE) o *auditor* energetici.

Decorsi 24 mesi dalla data di entrata in vigore del decreto, le diagnosi energetiche saranno eseguite solo da soggetti certificati secondo le norme UNI CEI 11352 (ESCO), UNI CEI 11339 (EGE) o da *auditor* energetici certificati secondo norme tecniche da elaborarsi. La diagnosi dovrà valutare anche la fattibilità tecnica, la convenienza economica e il beneficio ambientale, derivante dall'utilizzo del calore cogenerato o dal collegamento alla rete locale di teleriscaldamento eventualmente presenti nei pressi dell'impresa.

L'ENEA<sup>11</sup> costituirà una banca dati delle imprese soggette a diagnosi energetica ed eseguirà controlli a campione con possibilità di verifiche in situ. Le diagnosi svolte da *auditor* interni all'impresa saranno tutte verificate dall'ENEA.” [9]

#### **Art. 9 - “Misurazione e fatturazione dei consumi energetici”**

“Negli edifici con sistemi centralizzati di riscaldamento, di raffreddamento o di fornitura di acqua calda (incluse le reti di teleriscaldamento) viene resa obbligatoria la contabilizzazione dei consumi individuali e la suddivisione delle spese in base ai consumi effettivi di ciascuna utenza.

Entro il 31 dicembre 2016 le imprese di fornitura del servizio sono obbligate ad installare un contatore individuale per misurare l'effettivo consumo di calore o di raffreddamento o di acqua calda per ciascuna unità immobiliare. L'installazione del contatore deve risultare tecnicamente possibile, efficiente in termini di costi e proporzionato rispetto ai risparmi energetici potenziali. In caso contrario si ricorre all'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore individuali per misurare il consumo di calore in corrispondenza a ciascun radiatore posto all'interno delle unità immobiliari, secondo quanto previsto dalla norma UNI EN 834.

Il cliente finale può affidare la gestione del servizio di termoregolazione e contabilizzazione del calore ad un operatore diverso dall'impresa di fornitura.

---

<sup>11</sup> L'ENEA è un ente pubblico di ricerca italiano che opera nei settori dell'energia, dell'ambiente e delle nuove tecnologie a supporto delle politiche di competitività e di sviluppo sostenibile ed è vigilato dal Ministero dello sviluppo economico. La Legge 99 del 2009 affida all'ENEA attività finalizzate “alla ricerca e all'innovazione tecnologica nonché alla prestazione di servizi avanzati nei settori dell'energia, con particolare riguardo al settore nucleare e dello sviluppo economico sostenibile”. L'Agenzia è impegnata in numerosi settori quali efficienza energetica, fonti rinnovabili, ambiente e clima, sicurezza e salute, nuove tecnologie, ricerca di sistema elettrico. Link: <http://www.enea.it/it>

Nei condomini, le spese connesse al consumo di calore per il riscaldamento e acqua calda sanitaria degli appartamenti, vanno suddivise in funzione degli effettivi prelievi volontari di energia termica utile e dei costi generali per la manutenzione dell'impianto, secondo quanto previsto dalla norma tecnica UNI 10200 e s.m.i." [9]

**Art. 12** - "Disponibilità di regimi di qualificazione, accreditamento e certificazione"

"Decorsi 24 mesi dall'entrata in vigore del decreto, le ESCO e gli EGE potranno partecipare al meccanismo dei certificati bianchi solo se saranno certificati secondo, rispettivamente, le norme UNI CEI 11352 e UNI CEI 11339." [9]

**Art. 14** - "Servizi energetici ed altre misure per promuovere l'efficienza energetica"

"I nuovi edifici che conseguiranno una riduzione certificata di almeno il 20% dell'indice di prestazione energetica previsto dal D.L. 192/2005 e s.m.i., beneficeranno di un bonus cubatura: lo spessore degli elementi edilizi (murature e solai) che racchiudono il volume riscaldato, eccedente i 30 cm e fino ad un massimo di ulteriori 30 cm per tutte le strutture e fino ad un massimo di 15 cm per quelli orizzontali intermedi, non sono considerati nei computi per la determinazione dei volumi, delle altezze, delle superfici e nei rapporti di copertura.

Anche gli edifici esistenti oggetto d'interventi di riqualificazione energetica che conseguiranno una riduzione certificata di almeno il 10% dei limiti di trasmittanza previsti dal D.L. 192/2005 e s.m.i. delle murature esterne e degli elementi di chiusura superiori ed inferiori, possono beneficiare di un bonus cubatura nella misura massima di 25 cm per il maggiore spessore delle pareti verticali esterne e di 30 cm per il maggior spessore degli elementi di copertura.

Nel rispetto di questi limiti è permesso derogare in merito alle distanze minime tra edifici, alle distanze minime dai confini di proprietà, alle distanze minime di protezione della sede stradale e ferroviaria, nonché alle altezze massime degli edifici. Le deroghe vanno esercitate nel rispetto delle distanze minime riportate nel Codice Civile." [9]

**Art. 15** - "Fondo nazionale per l'efficienza energetica"

"Viene istituito presso il Ministero dello Sviluppo Economico il "Fondo nazionale per l'efficienza energetica", di natura rotativa, destinato a sostenere il finanziamento di interventi di efficienza energetica, realizzati anche attraverso le ESCO, il ricorso a forme di partenariato pubblico - privato, società di progetto o di scopo, mediante due sezioni destinate rispettivamente a:

- concessione di garanzie;



- erogazione di finanziamenti, direttamente o attraverso banche e intermediari finanziari, inclusa la Banca Europea degli Investimenti (BEI), anche mediante la sottoscrizione di quote di fondi comuni di investimento.

Il fondo, che potrà raggiungere una dotazione finanziaria di oltre 75 milioni di euro all'anno, garantisce e/o finanzia:

- interventi di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici di proprietà della Pubblica Amministrazione;
- realizzazione di reti per il teleriscaldamento e per il teleraffrescamento;
- efficienza energetica dei servizi e infrastrutture pubbliche, compresa l'illuminazione pubblica;
- efficientamento energetico di interi edifici destinati ad uso residenziale, compresa l'edilizia popolare;
- efficienza energetica e riduzione dei consumi di energia nei settori dell'industria e dei servizi.” [9]

**Allegato 2** - “Criteri minimi per gli *audit* energetici, compresi quelli realizzati nel quadro dei sistemi di gestione dell'energia”

L'allegato in questione definisce i criteri minimi per le diagnosi energetiche, compresi quelli realizzati nel quadro dei sistemi di gestione dell'energia. I criteri che deve possedere una diagnosi energetica di qualità:

- sono basati su dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e, per quanto riguarda l'energia elettrica, sui profili di carico;
- comprendono un esame dettagliato del profilo di consumo energetico di edifici o di gruppi di edifici, di attività o impianti industriali, compreso il trasporto;
- dove possibile, si basano sull'analisi del costo del ciclo di vita, invece che su semplici periodi di ammortamento, in modo da tener conto dei risparmi a lungo termine, dei valori residuali degli investimenti a lungo termine e dei tassi di sconto;
- sono proporzionati e sufficientemente rappresentativi per consentire di tracciare un quadro fedele della prestazione energetica globale e, quindi, di individuare in modo affidabile le opportunità di miglioramento più significative;

Gli *audit* energetici consentono calcoli dettagliati e convalidati per le misure proposte in modo da fornire informazioni chiare sui potenziali risparmi. I dati utilizzati per le diagnosi energetiche possono essere conservati per le analisi storiche e per il monitoraggio della prestazione.

### **1.3 Proposta di Direttiva 2016/27/UE**

Alla luce degli obiettivi dell'Agenda 2030, nel 2016 è stata introdotta una nuova proposta di direttiva<sup>12</sup> che adegua gli obiettivi all'orizzonte del 2030, sulla scorta di quanto stabilito dal Consiglio europeo del 2014, ossia un valore del 27% da raggiungere entro il 2030 e da riesaminare entro il 2020 tenendo presente un livello UE del 30%, e della risoluzione del Parlamento che chiede un obiettivo vincolante del 40%. [7]

Tale proposta stabilisce un obiettivo vincolante di efficienza energetica da realizzare nel 2030 dall'Unione nel suo insieme.

In tal modo, gli Stati membri e gli investitori avranno una prospettiva di lungo termine per pianificare le politiche e gli investimenti e per adeguare le strategie integrandovi il risparmio di energia.

“Basato su politiche ad hoc elaborate a livello di tutta l'Unione, nazionale e regionale, questo obiettivo apporterà all'Europa molteplici benefici sostanziali: determinerà una diminuzione del consumo di energia finale del 17% rispetto al 2005 e un aumento della crescita economica, con un incremento del PIL di circa 0,4% (70 miliardi di euro).” [7]

Inoltre, rafforzerà la competitività delle imprese europee, che potranno contenere i costi grazie alla prevista riduzione media dei prezzi dell'energia elettrica, da 161 a 157 €/MWh, per famiglie e imprese; creerà opportunità locali per le imprese e genererà occupazione, quest'ultima stimata a 400 000 nuovi posti entro il 2030 in tutti i settori, in particolare nell'edilizia, determinando tra l'altro una maggiore domanda di manodopera qualificata: con un consumo del 40% di energia finale infatti, l'edilizia è il settore più energivoro in Europa, e racchiude pertanto grandi potenzialità a fronte di un obiettivo di efficienza del 30%.

L'obiettivo dovrebbe infine ridurre i costi delle misure antiinquinamento e della sanità di una cifra compresa tra 4,5 e 8,3 miliardi di euro, e migliorare notevolmente la sicurezza energetica riducendo le importazioni di gas del 12% nel 2030. [7]

Tale proposta estende perciò oltre il 2020 l'obbligo di risparmio energetico mantenendo il tasso dell'1,5% e la possibilità di utilizzare sia i regimi obbligatori di efficienza energetica sia le misure alternative. Mantiene altresì inalterata la flessibilità di cui godono attualmente gli Stati membri quanto alle modalità di attuazione dell'obbligo di risparmio energetico, in conformità dei rispettivi contesti politici e condizioni di mercato. [7]

---

<sup>12</sup> Link alla proposta di direttiva: <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/IT/COM-2016-761-F1-IT-MAIN-PART-1.PDF>

Questa estensione temporale è cruciale per conseguire gli obiettivi dell'Unione in materia di energia e clima, poiché si prevede che circa la metà dei risparmi supplementari necessari per realizzare l'obiettivo del 30% di efficienza energetica nel 2030 saranno generati grazie ad essa. La proposta rafforza gli aspetti sociali dell'efficienza energetica disponendo che si tenga conto della precarietà energetica in sede di concezione dei regimi obbligatori di efficienza energetica e delle misure alternative. La riduzione delle fatture andrà altresì a particolare vantaggio dei consumatori più vulnerabili. [7]

Nel rispetto del principio di proporzionalità, le modifiche proposte non vanno al di là di quanto necessario per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti, ed adegueranno il quadro legislativo vigente all'orizzonte temporale 2030 rendendolo più chiaro ed attuabile. [7]

In particolare, vengono modificati gli articoli 1 e 3 della direttiva 2012/27/UE, al fine di adeguare l'obiettivo vincolante di efficienza energetica al 30% per il 2030.

Non vengono stabiliti obiettivi vincolanti a livello nazionale, ma è previsto che gli Stati membri comunichino i rispettivi contributi indicativi di efficienza energetica per il 2030 nei piani nazionali integrati per l'energia e il clima.

“L'articolo 7 è stato modificato per estendere al 2030 il periodo obbligatorio che attualmente arriva fino al 2020, e per precisare che gli Stati membri possono scegliere di realizzare i risparmi energetici prescritti attraverso un regime obbligatorio di efficienza energetica, misure alternative o una combinazione dei due approcci.

Gli Stati membri potranno tenere conto in certa misura delle nuove tecnologie e delle energie rinnovabili installate negli edifici.” [7]

“Il calcolo del volume di risparmi da realizzare nel periodo 2021 - 2030 continuerà ad essere basato sulle vendite medie annue di energia ai clienti finali effettuate nel triennio precedente l'inizio del periodo obbligatorio.” [7]

“L'articolo 9 sulla misurazione e l'articolo 10 sulla fatturazione sono modificati in modo da renderli applicabili solamente al gas e sono stati integrati da nuove e chiare disposizioni applicabili solo al riscaldamento, al raffreddamento e all'acqua calda forniti da una Fonte centrale.” [7]

Sebbene questa risulti essere solamente una proposta di direttiva, verrà probabilmente approvata a breve, in quanto il 13 novembre 2018, il parlamento Europeo ha approvato un obiettivo vincolante per le energie rinnovabili (32% nel 2030), e uno indicativo sull'efficienza energetica (32,5% nel 2030).

Questi obiettivi saranno rivisti entro il 2023 e potranno essere solamente innalzati. [10]

## 1.4 Strategia Energetica Nazionale 2017

“Nel 2016, in un contesto internazionale segnato da un rafforzamento dell’attività economica mondiale e da bassi prezzi delle materie prime, l’Italia ha proseguito il suo percorso di rafforzamento della sostenibilità sociale ed ambientale, dell’efficienza e della sicurezza del proprio sistema energetico, con effetti anche in termini di ricadute occupazionali.

Le fonti rinnovabili hanno consolidato il proprio ruolo di primo piano nel sistema energetico nazionale confermandosi una componente centrale dello sviluppo sostenibile del Paese.

Si stima che nel 2016 le rinnovabili abbiano coperto circa il 17,5% dei consumi finali lordi di energia con un apporto particolarmente rilevante nel settore termico ed elettrico.

È proseguito inoltre il miglioramento dell’efficienza energetica: l’intensità energetica del PIL ha ripreso il suo trend di riduzione dopo la breve interruzione registrata nel 2015, raggiungendo un decremento complessivo pari al 4,3% rispetto al 2012.

Tale miglioramento è frutto anche dei molti strumenti di promozione adottati che hanno portato a rilevanti risparmi di energia e, conseguentemente, alla riduzione di emissioni inquinanti: complessivamente, nel periodo 2005-2016, si stima che con le misure per l’efficienza energetica siano stati risparmiati 10,7 milioni di tep all’anno di energia primaria e oltre 3,1 miliardi di euro di mancate importazioni che hanno alleggerito la bolletta energetica del Paese. La crescente incidenza delle rinnovabili e la riduzione dell’intensità energetica hanno contribuito, negli ultimi anni, alla riduzione della dipendenza del nostro Paese dalle fonti di approvvigionamento estere.

La quota di fabbisogno energetico nazionale soddisfatta da importazioni nette rimane elevata (75,6%) ma più bassa di circa 7 punti percentuali rispetto al 2010.” [5]

“Gli approvvigionamenti esteri più importanti sono costituiti da petrolio, prodotti raffinati, e gas, le cui forniture provengono maggiormente da Paesi con elevati profili di rischio geopolitico; a controbilanciare tale situazione sfavorevole vi è la forte diversificazione dei fornitori, avviata in tempi storici (Algeria, Libia, Iran, Russia) e continuata attivamente sino ad oggi (e.g., Azerbaijan, Qatar, USA, Canada).

Rimane però un divario in termini di costi energetici che svantaggia il nostro Paese: il differenziale fra i prezzi dei prodotti energetici in Italia e nell’Unione europea rimane positivo e si è arrestato il processo di convergenza iniziato qualche anno fa.

In questo contesto, le sfide principali sono:

- Valorizzare il calo dei costi di alcune tecnologie a fonti rinnovabili e quindi dotarsi degli strumenti per perseguirne la crescita contenendo gli oneri di sistema, agendo anche e

principalmente sui fattori abilitanti per l'ulteriore diffusione, come l'adeguamento delle reti e la semplificazione delle procedure. D'altra parte, la diffusione delle rinnovabili comporterà anche l'aumento della generazione distribuita e la maggiore importanza del ruolo del cosiddetto "*prosumer*" (produttore-consumatore), con la necessità di individuare strumenti di governo del fenomeno che assicurino insieme la sicurezza del sistema, la tutela dei consumatori e l'equa ripartizione degli oneri di rete e di sistema;

- Nel mondo dell'efficienza energetica, aggredire il settore non-ETS indirizzando le politiche per conseguire i risparmi necessari al target su settore civile e trasporti, continuando a sollecitare l'innovazione nei settori produttivi, anche come leva per la competitività;
- Continuare a garantire la sicurezza in un mercato in profonda trasformazione: l'aumento, negli ultimi anni, della penetrazione delle rinnovabili ha accentuato, nel settore elettrico, le esigenze di adeguatezza e flessibilità, con ricorso a nuove tecnologie e nuovi assetti; d'altra parte, il gas costituisce una Fonte ancora essenziale per gli usi domestici e industriali, oltre che elettrico, e ciò impone una maggiore attenzione alla diversificazione delle fonti di approvvigionamento;
- Nel settore petrolifero, in un contesto di graduale riduzione dei consumi, la tutela del tessuto industriale, anche per assicurare adeguata disponibilità di prodotti derivati e favorire, ove opportuno, la riconversione delle infrastrutture verso i biocarburanti." [5]

Al fine di realizzare questi obiettivi, è stata sviluppata la Strategia Energetica Nazionale (SEN). "La SEN 2017 pone un orizzonte di azioni da conseguire al 2030, e un percorso che è anche coerente con lo scenario a lungo termine del 2050 che prevede la riduzione di almeno l'80% delle emissioni rispetto al 1990.

Gli obiettivi al 2030 in linea con il Piano dell'Unione dell'Energia sono:

- Migliorare la competitività del Paese, continuando a ridurre il gap di prezzo e di costo dell'energia rispetto all'Europa, in un contesto di prezzi internazionali crescenti;
- Raggiungere e superare in modo sostenibile gli obiettivi ambientali e di decarbonizzazione al 2030 definiti a livello europeo, in linea con i futuri traguardi stabiliti nella COP21;
- Continuare a migliorare la sicurezza di approvvigionamento e la flessibilità dei sistemi e delle infrastrutture energetiche.

Il miglioramento della competitività del Paese richiede interventi per ridurre i differenziali di prezzo per tutti i consumatori, il completamento dei processi di liberalizzazione e strumenti per tutelare la competitività dei settori industriali energivori, prevenendo i rischi di delocalizzazione e tutelando l'occupazione.” [5]

Per quanto riguarda i prezzi, gli obiettivi risultano i seguenti:

- ridurre il gap di costo tra il gas italiano e quello del nord Europa, nel 2016 pari a circa 2 €/MWh;
- ridurre il gap sui prezzi dell'elettricità rispetto alla media UE, pari a circa 35 €/MWh nel 2015 per la famiglia media e intorno al 25% in media per le imprese. [5]

Nel raggiungimento dei traguardi di crescita sostenibile stabiliti dalla COP21, fonti rinnovabili ed efficienza energetica contribuiscono non soltanto alla tutela dell'ambiente ma anche alla sicurezza, riducendo la dipendenza del sistema energetico, e all'economicità, favorendo la riduzione dei costi e della spesa.

Le azioni strategiche per il raggiungimento degli obiettivi europei sono diverse, e vengono elencate di seguito:

- Promuovere ulteriormente la diffusione delle tecnologie rinnovabili, raggiungendo il 28% di rinnovabili sui consumi complessivi al 2030 rispetto al 17,5% del 2015.
- Favorire interventi di efficienza energetica che permettano di massimizzare i benefici di sostenibilità e contenere i costi di sistema.
- Accelerare la de-carbonizzazione del sistema energetico.
- Incrementare le risorse pubbliche per ricerca e sviluppo tecnologico in ambito *clean energy*. [5]

Un altro aspetto importante consiste nel migliorare la sicurezza e l'adeguatezza dei sistemi energetici e la flessibilità della rete elettrica e del gas, al fine di:

- integrare crescenti quantità di fonti rinnovabili elettriche, anche distribuite, potenziando e facendo evolvere le reti e i mercati verso configurazioni smart, flessibili e resilienti;
- gestire la variabilità dei flussi e le punte di domanda di gas, e diversificare le fonti e le rotte di approvvigionamento nel complesso quadro geopolitico dei paesi da cui l'Italia importa gas;
- aumentare l'efficienza della spesa energetica grazie all'innovazione tecnologica. [5]

## 1.5 Normativa Tecnica

Una norma è un documento che dice “come fare bene le cose”, garantendo sicurezza, rispetto per l’ambiente e prestazioni certe.

Secondo il Regolamento UE 1025<sup>13</sup> del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sulla normazione europea, per “norma” si intende: “una specifica tecnica, adottata da un organismo di normazione riconosciuto, per applicazione ripetuta o continua, alla quale non è obbligatorio conformarsi, e che appartenga a una delle seguenti categorie:

- norma internazionale: una norma adottata da un organismo di normazione internazionale;
- norma europea: una norma adottata da un’organizzazione europea di normazione;
- norma armonizzata: una norma europea adottata sulla base di una richiesta della Commissione ai fini dell’applicazione della legislazione dell’Unione sull’armonizzazione;
- norma nazionale: una norma adottata da un organismo di normazione nazionale”.

Le norme, quindi, sono documenti che definiscono le caratteristiche (dimensionali, prestazionali, ambientali, di qualità, di sicurezza, di organizzazione ecc.) di un prodotto, processo o servizio, secondo lo stato dell’arte e sono il risultato del lavoro di decine di migliaia di esperti in Italia e nel mondo. Le caratteristiche peculiari delle norme tecniche sono consensualità, democraticità, trasparenza e volontarietà. [11]

Di seguito verranno analizzate le principali normative tecniche relative all’efficienza e alla diagnosi energetica.

### 1.5.1 Norma UNI CEI/TR 11428:2011

Questa norma che definisce i requisiti e la metodologia comune per le diagnosi energetiche nonché la documentazione da produrre, è stata ritirata il 1° marzo 2018 e non ancora sostituita. Tale rapporto veniva applicato al settore terziario, industriale, residenziale ed alle pubbliche organizzazioni, a tutti i sistemi energetici, a tutti i vettori e agli usi di energia. Non definiva i requisiti specifici per le diagnosi relative ad edifici, processi produttivi e trasporti.

Sebbene non sia più in vigore, dato che il ricorso alla diagnosi energetica è un passo fondamentale per un’organizzazione, di qualunque dimensione o tipologia, che voglia migliorare la propria efficienza energetica, si è ritenuto opportuno svolgere una rapida analisi

---

<sup>13</sup> Reg. UE 1025: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:316:0012:0033:IT:PDF>

di questa norma al fine capire il punto di partenza e le principali caratteristiche di una diagnosi energetica, che verranno poi trattate nel capitolo successivo.

Lo scopo principale della diagnosi energetica consiste nel raggiungimento di una conoscenza approfondita del reale comportamento energetico della realtà oggetto di esame, in modo da individuare gli eventuali interventi da eseguire per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- miglioramento dell'efficienza energetica;
- riduzione dei costi;
- miglioramento della sostenibilità ambientale;
- riqualificazione del sistema energetico.

Tali obiettivi sono raggiungibili tramite l'utilizzo dei seguenti strumenti:

- razionalizzazione dei flussi energetici;
- recupero delle energie disperse;
- individuazione di tecnologie per il risparmio di energia;
- gestione dei rischi tecnici ed economici;
- miglioramento delle modalità di conduzione e manutenzione (O&M).

La diagnosi energetica deve ispezionare l'intero Sistema Energetico oggetto di indagine:

- valutando gli aspetti energetici significativi;
- individuando modalità operative, comportamenti di utenti e la loro influenza su consumi energetici ed efficienza energetica;
- elencando aree e processi che richiedono ulteriori dati quantitativi a supporto dell'analisi successiva;
- generando raccomandazioni per la riduzione dei consumi energetici.

Pertanto, all'interno della normativa, la diagnosi energetica è definita come una procedura sistematica volta a:

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



In quanto procedura sistematica, la diagnosi energetica deve possedere i seguenti requisiti:

- **Completezza:** definizione del sistema energetico comprensivo degli aspetti energetici significativi<sup>14</sup>;
- **Attendibilità:** acquisizione di dati reali in numero e qualità necessari per lo sviluppo dell'inventario energetico e sopralluogo del sistema energetico;
- **Tracciabilità:** identificazione e utilizzo di un inventario energetico, documentazione dell'origine dei dati e dell'eventuale modalità di elaborazione a supporto dei risultati della diagnosi, includendo le ipotesi di lavoro eventualmente assunte.
- **Utilità:** identificazione e valutazione sotto il profilo costi/benefici degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica, gli interventi devono essere espressi attraverso documentazione adeguata e differenziata in funzione del settore, delle finalità e dell'ambito di applicazione.
- **Verificabilità:** identificazione degli elementi che consentono la verifica del conseguimento dei miglioramenti di efficienza risultanti dalla applicazione degli interventi proposti.

Inoltre, questa procedura deve essere eseguita da una persona fisica o giuridica che possieda competenze, capacità e strumentazione adatte al tipo di diagnosi intrapresa e agli obiettivi concordati. Tali soggetti sono ESCO (da UNI CEI 11352)<sup>15</sup>, EGE (da UNI CEI 11339)<sup>16</sup> e ENERGY MANAGER<sup>17</sup> (dall'articolo 19 della legge 10/91). Tale soggetto, viene identificato come Responsabile della Diagnosi (*ReDE*).

Una volta raccolte tutte le informazioni, si passa alla fase di analisi, in cui saranno esaminati i dati al fine di individuare opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica.

Per mezzo di questa analisi si ricavano ulteriori informazioni che consistono in:

---

<sup>14</sup> Aspetti energetici significativi: elementi delle attività, dei beni o dei servizi dell'organizzazione che possono influenzare l'uso di energia o il consumo di energia.

<sup>15</sup> ESCO: Persona fisica o giuridica che fornisce servizi energetici, ovvero altre misure di miglioramento dell'efficienza energetica nelle installazioni o nei locali dell'utente e, in questo modo, accetta un certo margine di rischio finanziario. (Fonte: UNI CEI 11352)

<sup>16</sup> EGE: figura professionale che gestisce l'uso dell'energia in modo efficiente coniugando conoscenze in campo energetico con competenze gestionali, economico-finanziarie e di comunicazione. (Fonte: UNI CEI 11339)

<sup>17</sup> Energy Manager: individua azioni, interventi, procedure e quanto necessario per promuovere l'uso razionale dell'energia, assicura predisposizione di bilanci energetici, predispone dati energetici (i soggetti con elevati consumi energetici hanno l'obbligo di nomina dell'energy manager). (Fonte: Articolo 19 legge 10/91)

- un bilancio ed un diagramma dei flussi energetici suddivisi per utilizzo e per modalità di approvvigionamento;
- relazioni fra i consumi ed i fattori che ne influenzano le variazioni;
- indicatori di prestazione energetica effettivi e di riferimento;
- evidenza di qualsiasi cambiamento delle prestazioni occorse nel tempo;
- diagramma temporale della domanda di energia;
- determinazione e quantificazione dei potenziali risparmi energetici compatibili con gli obiettivi della diagnosi;
- confronto fra le possibili soluzioni di risparmio energetico in termini di costi e consumi energetici;
- possibili interazioni fra azioni multiple di risparmio energetico.

In conclusione, una diagnosi energetica può essere riassunta in dodici passaggi fondamentali che vengono elencati di seguito e rappresentati nella Figura 1.1:

- 1) raccolta dei dati relativi alle bollette di fornitura energetica e ricostruzione dei consumi effettivi di elettricità e combustibili per uno o più anni considerati significativi ai fini della diagnosi energetica;
- 2) identificazione e raccolta dei fattori di aggiustamento cui riferire i consumi energetici;
- 3) identificazione e calcolo di un indice di prestazione energetica effettivo espresso in energia/fattore di riferimento;
- 4) raccolta delle informazioni necessarie alla creazione dell'inventario energetico e allo svolgimento della diagnosi;
- 5) costruzione degli inventari energetici relativi all'oggetto della diagnosi;
- 6) calcolo dell'indice di prestazione energetica operativo;
- 7) confronto tra indice di prestazione energetica operativo e quello effettivo. Se gli indici convergono, si prosegue l'analisi con il passo successivo, altrimenti si torna al passo 4) e si affinerà l'analisi del processo produttivo e degli inventari energetici, individuando le cause della non convergenza. La convergenza tra gli indici può considerarsi raggiunta per scostamenti percentuali tra gli indici ritenuti accettabili in funzione del settore d'intervento e dello stato del sistema energetico;
- 8) individuazione dell'indice di prestazione energetica obiettivo;

- 9) se i valori espressi dagli indicatori sono tra loro comparabili, la diagnosi può considerarsi conclusa, in quanto l'obiettivo definito dall'indice di riferimento è stato raggiunto;
- 10) se esiste uno scarto significativo tra l'indice di prestazione operativo del punto 6) e l'indice di prestazione obiettivo del punto 8), si individuano le misure di miglioramento dell'efficienza che consentano il loro riallineamento;
- 11) per tali misure devono essere condotte le rispettive analisi di fattibilità tecnico-economiche;
- 12) le misure individuate, singole ed integrate, sono ordinate in funzione degli indici concordati tra *ReDE* e committente.

Al termine di tale operazione si esegue di nuovo il punto 9. Una volta attuata questa procedura, l'analisi si considera conclusa. [12]

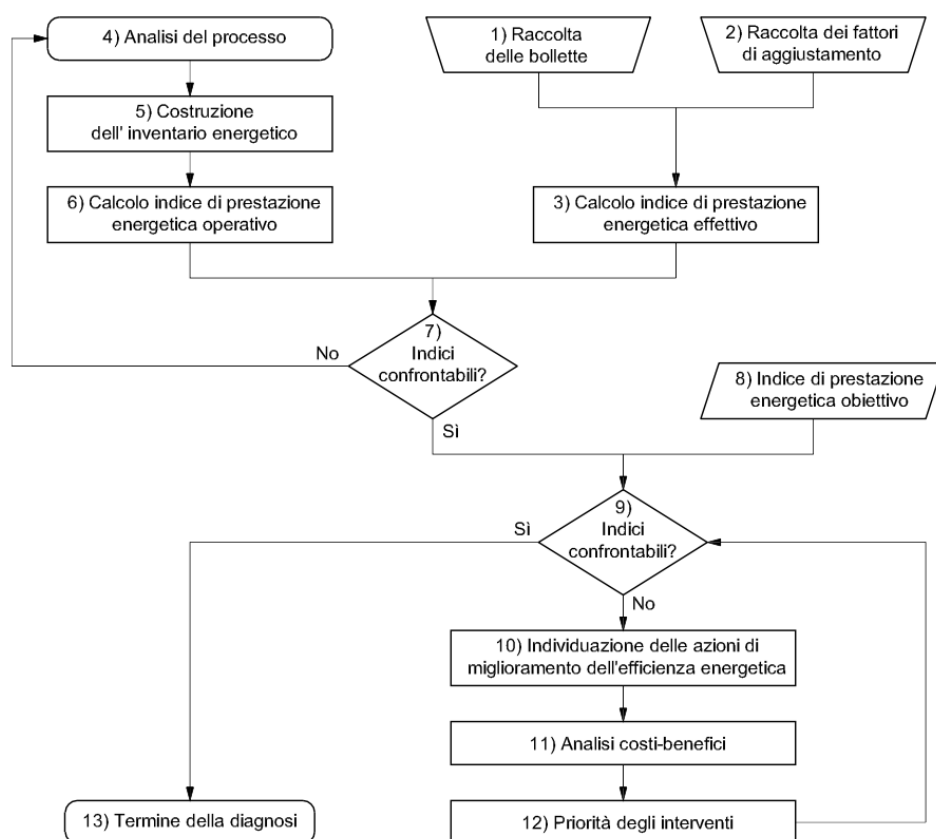


Figura 1.1: Schema di esecuzione di una Diagnosi Energetica (Fonte: UNI CEI/TR 11428)

## **1.5.2 Norma UNI CEI EN 16247:2012**

Il documento di riferimento per la redazione di una diagnosi energetica a cui devono essere sottoposte obbligatoriamente le grandi imprese e le imprese energivore, è la normativa UNI CEI EN 16247. Di seguito vengono analizzate le cinque parti in cui la norma è suddivisa:

### **1) UNI CEI EN 16247 - 1:2012**

#### Diagnosi energetiche - Parte 1: Requisiti generali

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

### **2) UNI CEI EN 16247 - 2:2014**

#### Diagnosi energetiche - Parte 2: Edifici

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

### **3) UNI CEI EN 16247 - 3:2014**

#### Diagnosi energetiche - Parte 3: Processi

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

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

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

### **4) UNI CEI EN 16247 - 4:2014**

#### Diagnosi energetiche – Parte 4: Trasporto

La presente norma determina i requisiti, la metodologia e la reportistica specifici per le diagnosi energetiche nel settore dei trasporti e affronta ogni situazione in cui viene effettuato uno spostamento, non importa chi sia l'operatore (compagnia pubblica o privata o se l'operatore si dedica esclusivamente al trasporto oppure no). Le procedure

descritte si applicano alle diverse modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, aereo), oltre che ai differenti ambiti (locale, a lunga distanza) e all'oggetto trasportato (fondamentalmente merci e persone).

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

### Diagnosi energetiche - Parte 5: Competenze dell'*auditor* energetico

La presente norma specifica le competenze che l'*auditor* energetico o un team di *auditor* energetici deve possedere per effettuare in maniera efficace diagnosi energetiche conformi ai requisiti della parte 1 (aspetti generali delle diagnosi) eventualmente integrata dalle parti specifiche per i settori edifici, processi e trasporti. (Questa nuova figura non deve essere confusa con quella di "*auditor*" di sistema attiva nel mondo dei sistemi di gestione dell'energia, della qualità o dell'ambiente e che ha un ruolo del tutto diverso). [13]

## 1.5.3 Norma UNI CEI EN 16212:2012

La presente norma è relativa ai "Calcoli dei risparmi e dell'efficienza energetica". Essa è la versione ufficiale della norma europea EN ISO 16212 (edizione giugno 2011). La norma fornisce un approccio generale per i calcoli dei risparmi e dell'efficienza energetica utilizzando metodologie:

- *top down* (discendente)
- *bottom up* (ascendente)

L'approccio generale è applicabile ai risparmi energetici negli edifici, nelle automobili, nei processi industriali, ecc. Riguarda il consumo energetico in tutti gli usi finali, mentre non indaga sulla fornitura di energia. Per quanto riguarda le forme di energia rinnovabile "a valle del contatore" (come l'energia termica proveniente da pannelli solari), queste riducono l'energia in ingresso al sistema perciò possono essere prese in considerazione nel calcolo dei risparmi energetici. La norma ha il duplice scopo di poter essere utilizzata sia per valutazioni ex-post di risparmi già realizzati sia per valutazioni ex-ante di risparmi attesi.

La norma non è utilizzabile per calcolare i risparmi energetici di singole unità famigliari, aziende o altri consumatori finali. [14]

#### **1.5.4 Norma UNI CEI EN 16231:2012**

La presente norma è relativa alla “Metodologia di *benchmarking* dell’efficienza energetica”. Lo scopo del *benchmarking* è di stabilire i dati chiave e gli indicatori di consumo energetico, sia tecnici che comportamentali, qualitativi e quantitativi, per la comparazione delle prestazioni. La norma descrive come definire i confini dell’oggetto che si sta analizzando, con riferimento per esempio a strutture, attività, processi, prodotti, servizi e organizzazioni.

Il *benchmarking* può essere interno (relativo ad una determinata organizzazione) o esterno (tra organizzazioni).

Esso fornisce indicazioni sui criteri da utilizzare per scegliere gli appropriati livelli di dettaglio per la raccolta delle informazioni, per la loro elaborazione e revisione in accordo con gli obiettivi dell’analisi stessa. La norma non fornisce specifici requisiti prestazionali in merito all’uso dell’energia.

Per tutte le attività collegate a processi di miglioramento continuo si deve invece fare riferimento ai sistemi di gestione dell’organizzazione, come ad esempio la UNI CEI EN ISO 50001:2018. [15]

#### **1.5.5 Norma UNI CEI 11352:2014**

La presente norma è relativa a “Gestione dell’energia – Società che forniscono servizi energetici (ESCO) - Requisiti generali e lista di controllo per la verifica dei requisiti”. Essa definisce i requisiti generali e una lista di controllo per la verifica dei requisiti delle società di servizi energetici (ESCO) che forniscono ai propri clienti servizi di efficienza energetica conformi alla UNI CEI EN 15900, con garanzia dei risultati.

In particolare, descrive i requisiti generali e le capacità (organizzativa, diagnostica, progettuale, gestionale, economica e finanziaria) che una ESCO deve possedere per poter offrire i servizi di efficienza energetica e le attività peculiari, qui descritti, presso i propri clienti.

Fornisce inoltre una lista di controllo per la verifica delle capacità delle ESCO e i contenuti minimi dell’offerta contrattuale del servizio di miglioramento dell’efficienza energetica offerta da una ESCO.

Tra i requisiti si ricorda la richiesta di avere un Esperto in Gestione dell’Energia (EGE certificato secondo la norma UNI CEI 11339 o in possesso dei requisiti richiesti) nel proprio organico. [16]

### **1.5.6 Norma UNI CEI EN 15900:2010**

La presente norma è relativa ai “Servizi di efficienza energetica – Definizioni e requisiti”. Essa è la versione ufficiale della norma europea EN 15900 (edizione maggio 2010). La norma specifica le definizioni e i requisiti minimi per un servizio di miglioramento dell’efficienza energetica. La norma non descrive i requisiti del fornitore del servizio, ma individua e descrive le principali fasi del processo di fornitura del servizio e ne evidenzia i requisiti fondamentali. [17]

### **1.5.7 Norma UNI CEI EN ISO 50001:2018**

La presente norma definisce i requisiti per creare, attuare, mantenere e migliorare un sistema di gestione dell’energia (SGE) il quale è un complesso di azioni gestionali programmate e coordinate, procedure, documentazione e registrazione realizzati grazie ad una struttura organizzativa nella quale ruoli, responsabilità e risorse sono chiari e ben definiti (l’adozione di un sistema di gestione è volontaria).

Questa seconda edizione annulla e sostituisce la prima edizione (ISO 50001:2011), che è stata tecnicamente rivista.

Le principali modifiche rispetto alla precedente edizione sono le seguenti:

- adozione dei requisiti ISO per gli standard dei sistemi di gestione, tra cui una struttura di alto livello, testo centrale identico e termini e definizioni comuni, per garantire un elevato livello di compatibilità con gli altri standard dei sistemi di gestione;
- migliore integrazione con i processi di gestione strategica;
- maggiore enfasi sul ruolo del top management;
- inserimento di nuove definizioni, compreso il miglioramento della prestazione energetica;
- chiarimenti sulle esclusioni di alcuni tipi di energia;
- chiarimenti sul “riesame energetico”;
- introduzione del concetto di normalizzazione degli indicatori di prestazione energetica e delle relative *baselines* dell’energia;
- aggiunta di dettagli sul piano di raccolta dati energetici e relativi requisiti (in precedenza piano di misurazione dell’energia);

L'obiettivo della norma è quello di consentire ad un'organizzazione di perseguire, con un approccio sistematico, il miglioramento continuo della propria prestazione energetica, tra cui l'efficienza energetica, l'uso di energia e il consumo di energia, e dello stesso SGE.

La presente norma:

- è applicabile ad ogni organizzazione indipendentemente dalla tipologia, taglia, complessità, posizione geografica, approccio organizzativo o dai prodotti o servizi che fornisce;
- è applicabile alle attività che influenzano la prestazione energetica che sono gestite e controllate dall'organizzazione;
- è applicabile indipendentemente dalla quantità, uso e tipologia di energia consumata;
- richiede la dimostrazione di un miglioramento continuo della prestazione energetica, ma non definisce livelli di prestazione energetica da raggiungere;
- può essere utilizzata indipendentemente o essere allineata o integrata con altri sistemi di gestione.

Gli obiettivi principali da conseguire possono quindi essere sintetizzati in:

- attuare azioni di controllo dei processi e delle attività;
- determinare gli obiettivi di efficienza energetica;
- acquisire una adeguata conoscenza delle prestazioni energetiche;
- giungere ad identificare le opportunità di miglioramento;
- stabilire piani di azione per migliorare le prestazioni energetiche, sempre in ottica di sostenibilità economica.

La norma definisce i requisiti applicabili all'uso e consumo dell'energia, includendo l'attività di misurazione, di documentazione e di reportistica, di progettazione e d'acquisto per le attrezzature, i processi e il personale che contribuiscono alla definizione della prestazione energetica. Si applica a tutti i fattori che concorrono a determinare la prestazione energetica e che possono essere controllati e influenzati dall'organizzazione. La norma però non definisce specifici criteri di prestazione energetica.

È applicabile ad ogni organizzazione che desideri assicurarsi di essere conforme alla propria politica energetica e dimostrare tale conformità ad altri mediante autovalutazione e autodichiarazione di conformità o mediante certificazione di terza parte del proprio sistema di gestione dell'energia. La norma fornisce inoltre delle linee guida per il suo utilizzo.



Il sistema di gestione dell'energia descritto in questo documento è basato sulla struttura di miglioramento continuo **Plan-Do-Check-Act** che incorpora la gestione energetica nelle pratiche organizzative esistenti, come illustrato in Figura 1.2.

Nel contesto della gestione dell'energia, questo approccio può essere spiegato come segue:

- **Plan**: comprendere il contesto dell'organizzazione, stabilire una politica energetica e un team di gestione dell'energia, prendere in considerazione azioni per affrontare rischi e opportunità, condurre una revisione energetica, identificare usi energetici significativi e stabilire indicatori di prestazione energetica, energia di baseline, obiettivi energetici e piani d'azione necessari per fornire risultati che miglioreranno le prestazioni energetiche in conformità alla politica energetica dell'organizzazione.
- **Do**: attuare i piani d'azione, i controlli operativi e di manutenzione e la comunicazione, assicurare la competenza e considerare le prestazioni energetiche nella progettazione e nell'approvvigionamento.
- **Check**: monitorare, misurare, analizzare, valutare, controllare e condurre le revisioni di gestione della performance energetica e del sistema.
- **Act**: intraprendere azioni per risolvere le non conformità e migliorare continuamente le prestazioni energetiche e il sistema.

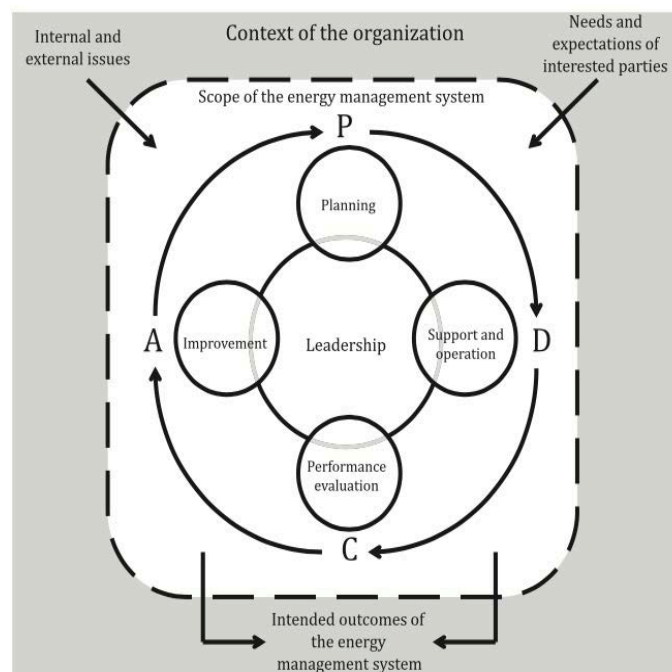


Figura.1.2: Ciclo Plan-Do-Check-Act

(Fonte: UNI CEI EN ISO 50001:2018)

Le grandi imprese o le imprese a forte consumo di energia che quindi adottano un sistema di gestione dell'energia conforme alla norma ISO 50001, che ovviamente includa un *audit* energetico realizzato secondo i requisiti indicati nell'Allegato 2 del D.Lgs. 102/2014, non sono più soggette all'obbligo di effettuare la diagnosi energetica entro il 5 dicembre dell'anno n-esimo e successivamente ogni 4 anni. [18]

## 2 Diagnosi Energetica

---

Prima di procedere con lo studio di alcuni casi pratici, si è ritenuto opportuno descrivere le principali caratteristiche relative allo svolgimento di una diagnosi energetica, in quanto essa consiste nello strumento più qualificato per analizzare il quadro della gestione energetica di un'attività.

Come anticipato nel capitolo precedente, la diagnosi energetica è una procedura sistematica che ha lo scopo di:

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

Pertanto, si tratta di un'attività che mette in evidenza il livello di efficienza della gestione, partendo dall'analisi dei flussi energetici significativi al fine di individuare le fasi del processo e le macchine maggiormente energivore, i possibili recuperi e le opportunità di applicare tecnologie *energy-saving* più attuali e/o emergenti.

Essa consente di approfondire il reale comportamento energetico di un sistema in modo da individuare una possibile serie di modifiche volte a migliorare l'efficienza energetica (valutandone i benefici, i costi, le condizioni di fattibilità e i rischi), minimizzare i costi di approvvigionamento, riqualificare sistemi energetici e promuovere la sostenibilità ambientale attraverso l'utilizzo di fonti energetiche alternative.

Inoltre, permette di predisporre la propria organizzazione in modo ricettivo e flessibile rispetto ai cambiamenti, in quanto essa sarà in grado adattarsi con maggiore facilità a futuri mutamenti di scenari interni e/o esterni.

L'*audit* energetico risulta anche una delle componenti principali all'interno di un programma di efficienza energetica, e la sua importanza nasce dal fatto che permette di inquadrare la situazione energetica della realtà aziendale ponendosi come riferimento rispetto al quale effettuare future valutazioni di efficientamento energetico.

Come indicato nella normativa di riferimento<sup>18</sup>, uno dei primi passi da effettuare per eseguire una diagnosi energetica è acquisire i dati energetici resi disponibili da tutti i sistemi di misura

---

<sup>18</sup> D. Lgs 4 Luglio 2014, n. 102

esistenti, sia tramite lettura diretta, che tramite analisi delle relative bollette, insieme ai dati di produzione.

Per i dati dei sistemi/sottoinsiemi energeticamente significativi di cui eventualmente è costituito l'oggetto della diagnosi, occorre che vi sia la presenza di contatori dedicati.

Nel caso non siano disponibili, è possibile fare ricorso a stime basate su calcoli, utilizzando valori progettuali, dati di targa, ore di utilizzo, rendimenti tipici di sistemi/componenti, corroborandoli con misure ad hoc con strumentazione portatile. Tutti i dati relativi a produzione e consumi energetici dovranno essere possibilmente riferiti ad un periodo di tre anni, incluso quello della diagnosi.

Per quanto riguarda l'organizzazione delle attività nel loro complesso, all'interno della diagnosi è presente la seguente suddivisione:

- Attività Principali:

In tale descrizione vanno inserite tutte le attività legate all'articolazione della produzione o che caratterizzano il servizio erogato, distinte per tipologia di prodotto/servizio laddove applicabile, e strutturate in fasi funzionali ben distinte.

Questo approccio è il passo fondamentale in quanto ogni area funzionale dovrà essere tale da essere caratterizzata da fasi della realtà aziendale ben enucleabili dal contesto generale e per le quali è univocamente possibile individuare i fabbisogni energetici e la specifica destinazione d'uso.

- Servizi Ausiliari ed Accessori:

In tale descrizione vanno inserite tutte le attività a supporto delle attività principali quali ad esempio il sistema di produzione dell'aria compressa, la centrale termica, la centrale frigo, i sistemi di aspirazione, di movimentazione dei materiali, ecc.

Questa parte di attività è di norma molto complessa in quanto può non esserci una correlazione diretta tra queste attività di supporto e le specifiche tipologie di prodotto/servizio oppure le diverse aree funzionali della realtà aziendale.

Il lavoro specifico pertanto è mirato ad individuare la destinazione d'uso più appropriata dei vari servizi generali.

- Servizi Generali (c.d. *Utilities*):

In tale descrizione vanno inserite tutte le attività che sono connesse al processo produttivo/servizio offerto i cui fabbisogni però non sono ad essi strettamente correlati.

In questo contesto fanno parte l'illuminazione, il riscaldamento, la climatizzazione in generale, gli uffici, ecc.

Questa parte di attività è altresì importante in quanto le specifiche destinazioni d'uso vanno definite in maniera puntuale, ovvero ad esempio il livello di luminosità, il livello di climatizzazione in funzione delle condizioni di utilizzo delle specifiche aree.

Una volta fornito il consumo di ogni utenza individuata, la “Struttura Energetica Aziendale” permette quindi di assegnare un indice prestazionale (consumo specifico) significativo ad ogni fase che costituisce la realtà aziendale, mettendo in correlazione l'energia consumata sia con il prodotto finito, che con la sua specifica destinazione d'uso.

Ciò consente di valutare per ogni fase significativa della realtà aziendale, ovvero area funzionale, sia lo specifico indice prestazionale, che il suo peso rapportato al fabbisogno energetico complessivo. [19]

## 2.1 Oggetto Della Diagnosi

L'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente) con la deliberazione 921/2017/R/eel<sup>19</sup> del 28 dicembre 2017, disciplina le nuove modalità operative per il riconoscimento delle agevolazioni per le imprese a forte consumo di energia elettrica, definite ai sensi del D.M. 21 dicembre 2017, a decorrere dal 1° gennaio 2018.

Il nuovo sistema, contrariamente a quello precedente, prevede la possibilità di ridurre direttamente dalle bollette elettriche gli oneri connessi al sostegno delle aziende agevolate.

Le agevolazioni, nella fase iniziale, saranno applicate in base ai seguenti requisiti:

- Per le imprese già energivore che presentano costi di fornitura di energia elettrica (intensità) rispetto al VAL (valore aggiunto lordo) di almeno il 20%, saranno applicati gli sgravi maggiori attraverso l'eliminazione (già a partire da gennaio 2018) della nuova componente di bolletta Asos (in vigore dal 1 gennaio 2018), anche se, per una parte di questi utenti, la componente Asos sarà oggetto di successivo conguaglio, sulla base delle indicazioni della CSEA (Cassa Conguaglio Settore Elettrico).
- Le imprese già energivore che hanno un costo di consumo dell'energia elettrica sul VAL inferiore al 20%, beneficeranno di classi di agevolazione basate sul rapporto fra il costo dell'energia elettrica ed il fatturato.

A decorrere dal 1° gennaio 2018 viene inoltre abbassata la soglia di consumo per la classificazione delle imprese energivore. I nuovi parametri passano da 2,4 GWh/anno ad 1 GWh/anno. In questo caso, il parametro relativo al consumo sarà riferito alla media del triennio precedente.

Vengono inoltre definiti i seguenti nuovi criteri di selezione:

- Aziende comprese nei settori dell'Allegato 3<sup>20</sup> delle Linee Guida della Comunità Europea in materia di aiuti di stato sulla base del codice Ateco.
- Aziende comprese nei settori dell'Allegato 5<sup>21</sup> delle Linee guida della Comunità Europea in materia di aiuti di stato, caratterizzate da un indice di intensità elettrica sul VAL non inferiore al 20%, sulla base del codice Ateco.
- Aziende che non rientrano fra quelle di cui ai precedenti punti, ma erano ricomprese negli elenchi delle imprese a forte consumo di energia per gli anni 2013 o 2014.

---

<sup>19</sup> Link deliberazione 921/2017/Reel: [http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060\\_01b.pdf](http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060_01b.pdf)

<sup>20</sup> Link Allegato 3: [http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060\\_01d.pdf](http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060_01d.pdf)

<sup>21</sup> Link Allegato 5: [http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060\\_01e.pdf](http://www.confindustria.pu.it/allegati/notizie/n20180060_01e.pdf)

Tra tutte le nuove aziende entrate a far parte di questa categoria, si è notato, sulla base del codice Ateco, che gran parte di esse appartengono al settore della lavorazione delle materie plastiche.

Per questo motivo, è stato deciso di svolgere il lavoro di tesi in tale ambito, andando ad analizzare varie aziende, sia nuove che vecchie energivore, principalmente situate tra le province di Padova e Treviso, che si sono rese disponibili a collaborare fornendo i dati necessari a ricavare vari indici di prestazione energetica, che verranno poi confrontati con quelli presenti in letteratura.

Inoltre, si è voluto delineare una chiara panoramica sullo stato dell'arte delle *Best Practices* presenti in letteratura per i principali processi appartenenti a questo settore, constatando poi quali tra queste venissero già applicate ai siti considerati, e quali invece potessero essere implementate al fine di migliorare l'efficienza energetica di queste aziende.

## 2.2 Modalità di Svolgimento e Raccolta Dati

Al fine di elaborare una corretta diagnosi energetica, risulta fondamentale ricavare i consumi dei singoli vettori energetici per le aziende considerate mediante un sondaggio iniziale, individuando così gli ambiti in cui gli interventi di miglioramento risulteranno significativi.

Il primo punto da sottolineare è che non sono richiesti sofisticati e costosi sistemi automatizzati per avviare un sondaggio iniziale sul sito. Un rilevamento approssimativo del consumo di energia basato su dati facilmente disponibili può identificare rapidamente le aree in cui è possibile apportare miglioramenti a basso costo.

Nel sondaggio iniziale è importante quindi capire dove, quando, perché e quanta energia viene utilizzata.

### Dove viene usata l'energia?

Rispetto alla prima domanda, ci sono quattro principali utilizzatori di energia nella lavorazione delle materie plastiche: motori (su presse, compressori d'aria, ecc.), sistemi di riscaldamento (su essiccatori, ecc.) e di raffreddamento (su canali di raffreddamento, stampi, trasmissioni, ecc.), ed illuminazione.

Dopo aver identificato le principali aree di utilizzo dell'energia, si effettua un calcolo approssimativo del costo dell'energia per area, utilizzando i dati reali ricavati dalle bollette energetiche dell'azienda.

### Quando viene utilizzata l'energia?

La lavorazione della plastica comporta un ciclo di domanda di energia, con picchi e depressioni che si verificano in diverse fasi della produzione. La maggior parte delle macchine che operano in questo settore necessitano di una fase di avviamento prima che inizi la produzione, ne consegue che in questa fase l'energia viene "sprecata" per scaldare i macchinari.

Analogamente, poiché la maggior parte dei processi polimerici utilizza l'elettricità per fornire calore diretto, i riscaldatori devono avere un tempo sufficiente per raggiungere la temperatura richiesta. Al contrario, quando per qualche motivo la produzione si interrompe, è spesso presente un intervallo di tempo prima che la macchina venga spenta.

Dopo aver identificato il carico giornaliero mediante la costruzione di una curva di carico, è possibile isolare il carico di base, che rappresenta il carico utilizzato solamente per i servizi generali e non correlato alla produzione.

Ridurre il carico di base è sicuramente un modo sicuro per risparmiare.



Per comprendere l'importanza del calcolo del carico di base, è anche importante capire in che modo la domanda di picco può influire sui costi energetici. Di solito, parte della bolletta dell'elettricità si basa su una richiesta massima del sito consentita. A volte questi costi possono essere ridotti programmando il funzionamento della macchina in modo che tutte le potenziali richieste individuali non coincidano, evitando così un picco nella domanda totale dell'azienda.

#### Perché viene utilizzata l'energia?

Arrivati a questo punto, avendo ricavato l'energia utilizzata e la quantità di prodotto lavorato, è possibile iniziare a ricavare alcuni indici di prestazioni che verranno spiegati nei paragrafi successivi.

I dati sull'utilizzo di energia per kg di prodotto possono essere così confrontati con le medie del settore, ove disponibili, per fornire alcuni obiettivi utili per il consumo di energia.

I risultati dell'analisi dovrebbero rivelare i modelli di consumo energetico per specifici prodotti, processi e procedure operative, evidenziando: quali prodotti o tipi di plastica utilizzano più energia; se i turni particolari consumano più energia di altri turni; le macchine che influiscono in modo particolare sull'uso di energia; prestazioni rispetto alle medie del settore; e dove l'energia viene utilizzata inutilmente durante le pause pranzo, i cambi di produzione, durante la notte e nei fine settimana.

#### Quanta energia viene utilizzata?

Per capire quanta energia viene utilizzata, è sufficiente misurare la quantità fornita all'azienda. I contatori sono generalmente molto affidabili e forniscono letture accurate per molti anni.

Tuttavia, si possono verificare piccoli errori difficili da individuare, pertanto, le aziende dovrebbero prendere le proprie letture regolarmente e confrontarle con le bollette elettriche. [20]

Per lo svolgimento del lavoro sono stati raccolti i dati di utilizzo per ogni singolo vettore energetico, mediante sopralluoghi, incontri con i responsabili delle singole aziende, tramite la compilazione di un questionario (riportato nell'Allegato 1) e la raccolta di documentazione.

Inoltre, al fine di disporre di una maggiore quantità di dati su cui eseguire il confronto, è stato inviato un questionario in forma semplificata (Allegato 2) a varie aziende a forte consumo di energia operanti nel settore plastico dislocate nella regione Veneto.

Dall'analisi dei consumi, basandosi sul processo produttivo caratteristico di ogni azienda, è stato possibile ricavare gli indici di prestazione energetica da confrontare con quelli trovati in letteratura, ed individuare i principali interventi di miglioramento dell'efficienza energetica.

Al termine dello studio inoltre, è stato fornito alle aziende considerate, una panoramica di quanto ricavato in modo tale da mostrare come queste si collocassero rispetto alla media italiana ed europea.

## 2.3 Lavorazione delle Materie Plastiche

“Le materie plastiche vengono prodotte nelle industrie chimiche (sotto forma di polvere, granuli, pastiglie, cilindretti ecc.) e risulta di fondamentale importanza la ricerca di tecniche di lavorazione che consentano di produrre materiali plastici capaci di prestazioni sempre più sofisticate. Tali polimeri possono essere classificati in base al loro comportamento relativamente al riscaldamento; infatti si possono distinguere, in prima approssimazione, in materie termoplastiche e termoindurenti.

- Le materie termoplastiche (polistirene, polipropilene, polivinilcloruro, resine acriliche, poliammidi, etc.) reagiscono al calore con un processo reversibile entro un dato limite di temperatura in quanto sono in grado di rammollire, acquisire una data malleabilità che ne permette la modellazione per formare prodotti finiti e, successivamente ad una fase di raffreddamento, ritornare ad acquisire rigidità.
- Le materie termoindurenti (poliuretano, politetrafluoroetilene, etc.) per effetto del riscaldamento induriscono e perdono la capacità di scorrimento.” [21]

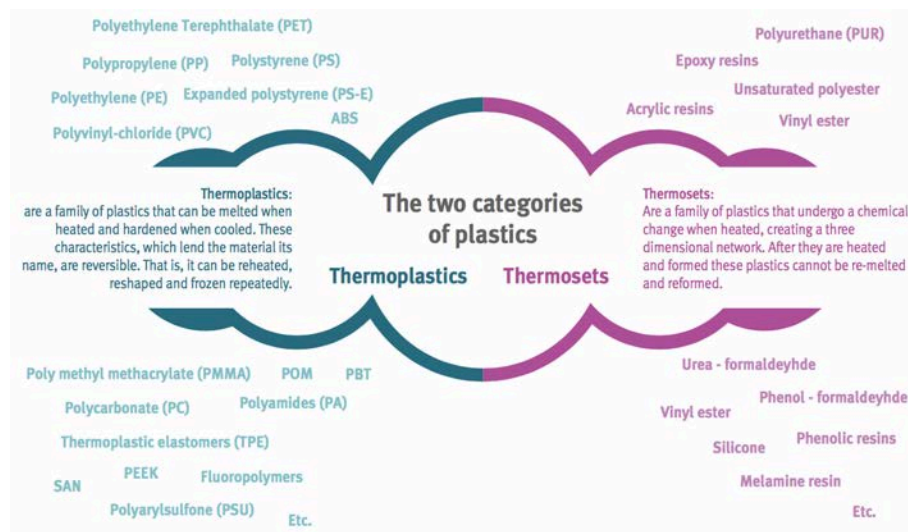


Figura 2.1: Suddivisione delle Materie Plastiche. (Fonte: Plastics – The Facts 2017)

La filiera delle materie plastiche e della gomma, che comprende, produttori, trasformatori, riciclatori e costruttori di macchine e attrezzature, conta nei 28 paesi membri UE quasi 60 mila aziende, molte delle quali PMI, che danno lavoro a oltre 1,5 milioni di persone.

Il giro d'affari è molto vicino a 350 miliardi di euro, con un bilancio commerciale in attivo per circa 15 miliardi di euro, considerando solamente produzione (9.700 miliardi) e trasformazione di materie plastiche (5.200 miliardi).

Nel 2016 sono state prodotte a livello mondiale 335 milioni di tonnellate di materie plastiche (termoplastiche, poliuretani, termoindurenti, adesivi e *coating*), tredici milioni in più rispetto all'anno precedente.

L'Europa (UE28+ Norvegia e Svizzera) ha contribuito per 60 milioni di tonnellate, due in più rispetto al 2015, ma ancora sotto il livello record raggiunto nel 2007 con 65 milioni di tonnellate.



Figura 2.2: Quantità di Materie Plastiche lavorate nel Mondo e in Europa (2015 – 2016).

(Fonte: *Plastics – The Facts 2017*)

La Germania si conferma saldamente al primo posto con il 24,5% delle plastiche trasformate, seguita dall'Italia con il 14,2%. Seguono Francia (9,6%), Spagna (7,7%), Regno Unito (7,5%) e Polonia (6,3%). Questi sei paesi, da soli, valgono quasi l'80% del consumo europeo di termoplastiche, poliuretani e termoindurenti. [1]

In Italia il comparto della trasformazione della plastica oggi vede la presenza di circa 11.000 imprese (pari al 22% delle imprese europee del settore) che fatturavano nel 2016 circa 30 miliardi di euro. Di queste, 5.000 sono attive nella prima trasformazione e impiegano poco meno di 110.000 addetti (il 6,8% del totale degli addetti europei). La produzione dell'industria di trasformazione delle materie plastiche italiana ha registrato nel 2017 buoni ritmi di crescita, con un incremento del +2,3% dei volumi rispetto al 2016. [22]

Sulla base di questi dati, si evince che per il nostro Paese, il settore della lavorazione delle materie plastiche è in continua espansione e miglioramento.

Nasce anche da questo presupposto infatti, la scelta di trattare tale argomento per il lavoro di tesi, per approfondire il concetto di efficienza energetica in un settore così tecnologicamente maturo, andando ad indagare dove e come viene utilizzata l'energia nei vari processi produttivi. Infatti, oltre all'energia necessaria per la lavorazione dei materiali termoplastici, come mostra la Figura 2.3, l'energia viene utilizzata in ogni settore dell'industria delle materie plastiche.

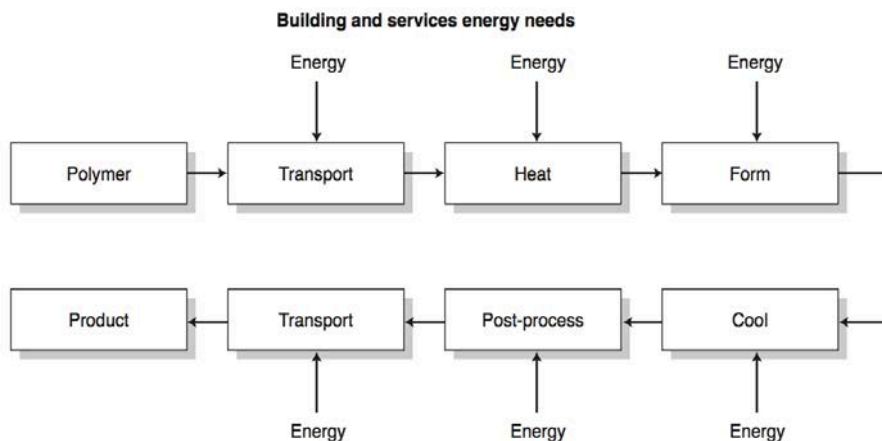


Figura 2.3: Energia utilizzata nell'industria plastica.

(Fonte: Good Practice Guide 292. Energy in Plastic Processing – A Practical Guide)

Come anticipato, uno dei principali vantaggi della plastica è la combinazione di buone proprietà di isolamento termico ed elettrico. Sfortunatamente però, questo significa anche che trasferiscono male il calore risultando quindi difficili da riscaldare e raffreddare. La lenta velocità del trasferimento di calore limita la velocità di elaborazione, rendendo il processo molto energivoro. Di conseguenza, l'utilizzo di energia può essere un fattore critico nascosto nella redditività del settore.

La Figura 2.3 mostra che esiste il potenziale per risparmiare energia e denaro in quasi tutte le fasi della catena di processo. Ad esempio, se ci vuole energia per riscaldare la plastica e più energia per raffreddarla in un secondo momento, è abbastanza ovvio che l'ottimizzazione dell'energia di riscaldamento iniziale ridurrà i costi di raffreddamento successivi. Poiché l'energia viene consumata in quasi tutte le fasi del processo, ha senso controllarla allo stesso modo di qualsiasi altro costo variabile. [20]

Nei paragrafi successivi quindi, verranno analizzati i principali processi di lavorazione (stampaggio a iniezione, estrusione e soffiaggio), al fine di capire in cosa consiste il processo e dove viene impiegata l'energia.

### 2.3.1 Stampaggio a Iniezione

Lo stampaggio a iniezione è il processo di trasformazione dei polimeri più importante, versatile e complesso, adatto per la produzione di oggetti in serie di ogni forma e dimensione.

È un processo rapido e utilizzato per produrre un numero elevato di articoli uguali, da componenti di ingegneria di alta precisione a beni di consumo usa e getta.

In una delle possibili configurazioni del macchinario è presente una tramoggia, che ha la funzione di caricare e preriscaldare il materiale granulare. Successivamente, i granuli vengono fatti cadere all'interno del cilindro tramite la rotazione e l'arretramento della vite di alimentazione e plastificazione. All'interno del cilindro i granuli vengono riscaldati da una serie di resistenze elettriche al di sopra della temperatura di fusione e plastificati dalla rotazione della vite in funzione del tipo di materiale, della grammatura del pezzo e della compattezza del pezzo finito. La pressa, dopo aver provveduto alla chiusura dello stampo, inizia la fase di iniezione rapida. Il materiale viene mantenuto in pressione fino a quando il pezzo stampato non si solidifica. Infine, la pressa effettua l'apertura dello stampo per permettere l'estrazione del pezzo stampato.

Lo stampaggio ad iniezione può avvenire tramite l'iniezione di mono-materia o di bi-materia a seconda che si utilizzi un solo polimero o due diversi polimeri, l'iniezione bicolore o multicolore con polimeri uguali ma di colori differenti, l'iniezione in co-stampaggio per la realizzazione di materiale plastico con elementi estranei, l'iniezione a gas per ottenere cavità interne. [21]

Ci sono sei fasi principali nel processo di stampaggio ad iniezione, che vengono illustrate nella Figura 2.4:

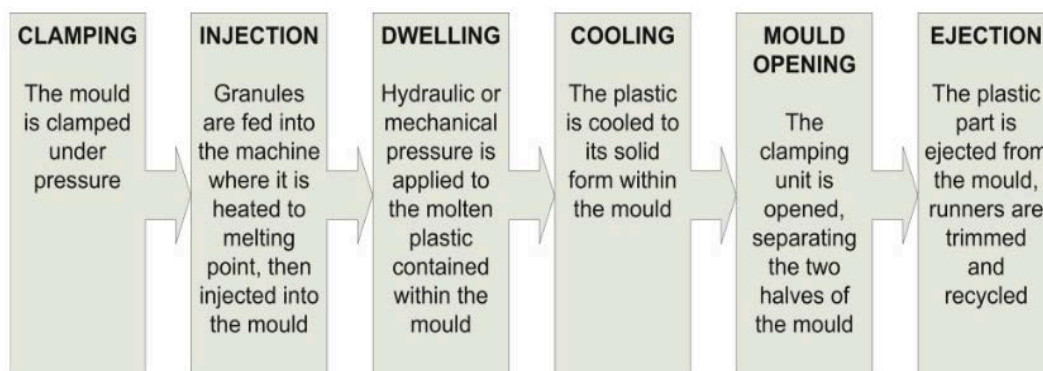


Figura 2.4: Fasi del processo di Stampaggio a Iniezione

(Fonte: Low Energy Plastic Processing, European Best Practice Guide, 2006)

Dato che il materiale plastico deve essere riscaldato, forzato nello stampo ad alta pressione e quindi raffreddato, il processo di stampaggio a iniezione è caratterizzato da un intenso consumo energetico.

In un ambiente sempre più competitivo, gli addetti allo stampaggio ad iniezione sono spinti a ridurre i loro costi con ogni mezzo disponibile.

Ci sono molti altri elementi operativi da considerare per raggiungere questo obiettivo, tuttavia, il consumo di energia è un fattore importante da affrontare. L'utilizzo di energia nello stampaggio a iniezione può essere diviso in due fasi: un elevato fabbisogno di energia in breve tempo quando il polimero viene iniettato e le parti vengono espulse e un fabbisogno energetico ridotto per un lungo periodo di tempo quando il polimero iniettato si raffredda.

L'energia è richiesta, non solo per fondere il polimero, e successivamente raffreddarlo, ma anche per generare la pressione al fine di forzare il polimero nello stampo.

Inoltre, l'energia viene utilizzata per aprire, chiudere e tenere lo stampo sotto pressione mentre il polimero prende forma e si raffredda.

Nella Figura 2.5 è rappresentata in maniera semplificata una macchina per lo stampaggio a iniezione.

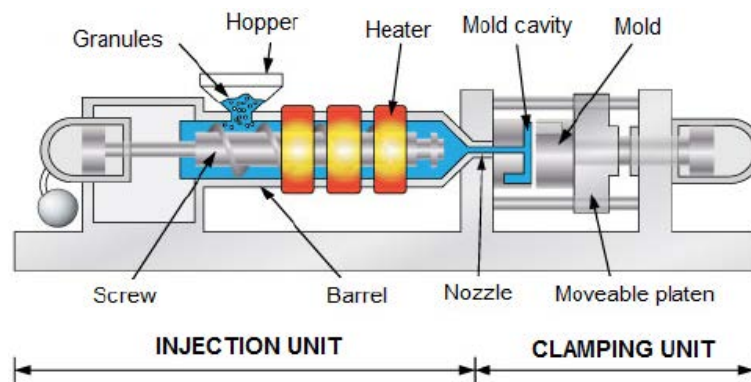


Figura 2.5: Schema semplificato di una macchina per Stampaggio a Iniezione.

(Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Simple-schematic-of-injection-molding-machine\\_fig1\\_236836771](https://www.researchgate.net/figure/Simple-schematic-of-injection-molding-machine_fig1_236836771))

La Figura 2.6 mostra come viene utilizzata l'energia in un tipico impianto di stampaggio. Circa il 60% del costo energetico può essere assegnato alle macchine per lo stampaggio a iniezione e il loro funzionamento rappresenta la maggiore opportunità di risparmio energetico.

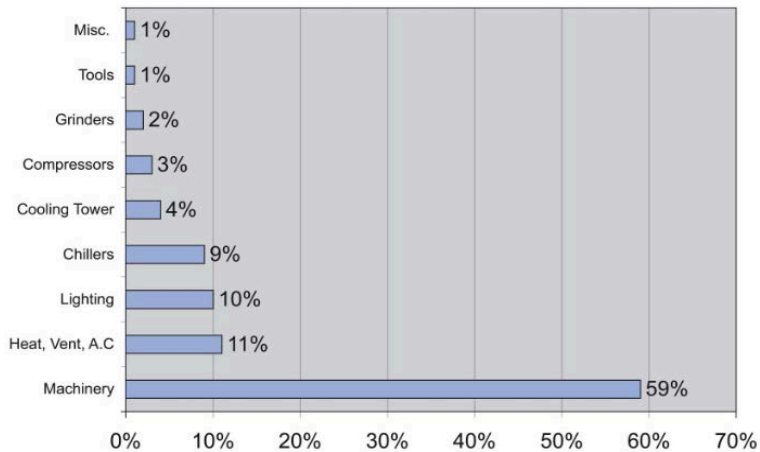


Figura 2.6: Tipico esempio del Consumo Energetico in un Impianto di Stampaggio a Iniezione

(Fonte: *Low Energy Plastic Processing, European Best Practice Guide, 2006*)

Inoltre, la potenza necessaria per produrre una parte stampata a iniezione dipende da molti fattori:

- il design, le dimensioni e la complessità dello stampo determinano le dimensioni della macchina. Maggiore è la forza di serraggio, maggiore è il consumo di energia;
- l'uso di canali caldi, nuclei idraulici o inserti;
- apparecchiature ausiliarie quali deumidificatori, essiccatori e riscaldatori di stampi;
- il tipo di materiale plastico utilizzato, poiché alcuni materiali hanno una temperatura di fusione più elevata;
- il tempo di ciclo, il quale indica il tempo durante il quale la pompa o il motore elettrico sono in funzione durante il processo di stampaggio a iniezione;
- una volta che la parte è stata espulsa, ci sono molti altri macchinari che consumano energia, ad esempio robot, nastri trasportatori e linee di confezionamento. [23]

### 2.3.2 Estrusione

L'estrusione è un processo continuo utilizzato per la produzione di semilavorati come film, lastre, profili e tubi. Sebbene il design dello stampo e alcuni componenti di una linea di estrusione differiscano a seconda del tipo di prodotto estruso, in ogni caso è possibile trovare le stesse fasi di produzione.

In una delle sue possibili configurazioni è presente una tramoggia che ha la funzione di caricare e preriscaldare il materiale in forma granulare. Successivamente, il granulato viene fatto cadere all'interno del cilindro nel quale è presente una vite senza fine che trascina il polimero fino a



farlo passare attraverso un'apertura, chiamata testa di estrusione o matrice, che impartisce la propria forma in maniera continua.

L'estrusore può essere mono-vite o bi-vite: nel secondo caso l'efficienza della miscelazione è migliore e le due viti parallele possono ruotare nello stesso senso (estrusore bi-vite co-rotante) o in senso opposto (estrusore bi-vite contro-rotante), scelto a seconda della specifica applicazione. La temperatura della macchina di estrusione è controllata in modo che il materiale processato acquisti il grado di fluidità adatto ed esca allo stato solido, a seguito di un'eventuale successiva sezione di raffreddamento.

Un ulteriore processo di estrusione prevede la possibilità di unire diversi materiali polimerici affini sia dal punto di vista chimico che termico: impianti in grado di eseguire tali tipi di lavorazioni vengono definiti di co-estrusione. [21]

Una linea di estrusione prevede in genere sei fasi principali che sono rappresentate in Figura 2.7:

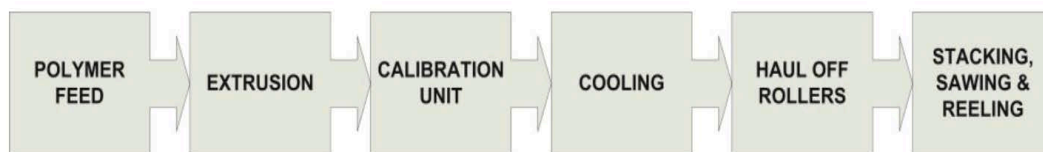


Figura 2.7: Fasi del processo di Estrusione

(Fonte: *Low Energy Plastic Processing, European Best Practice Guide, 2006*)

L'estrusione non è solamente un processo di formatura finale per i prodotti, ma è anche un processo intermedio per altre tecniche di lavorazione come stampaggio a iniezione e soffiaggio. L'efficiente funzionamento delle viti di estrusione è quindi essenziale per gran parte dell'industria della lavorazione della plastica. [24] La maggior parte dell'energia utilizzata durante il processo di estrusione infatti è direttamente correlata all'operazione dell'estrusore. Nella Figura 2.8 viene riportato lo schema semplificato di un estrusore.

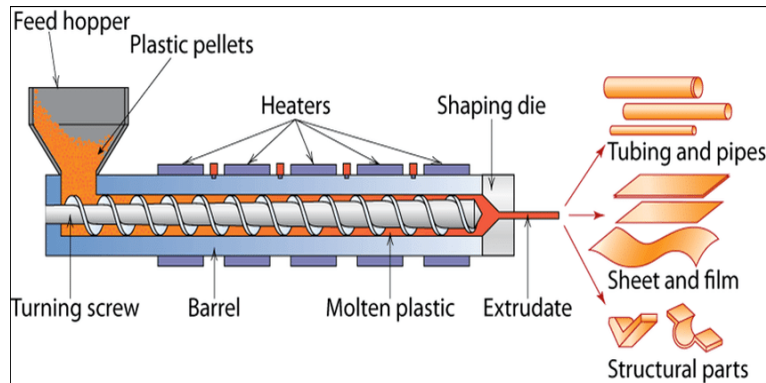


Figura 2.8: Schema semplificato di un Estrusore.

(Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Overview-of-a-plastic-extrusion-machine-with-the-plasticizing-component-in-evidence-The\\_fig1\\_321597264](https://www.researchgate.net/figure/Overview-of-a-plastic-extrusion-machine-with-the-plasticizing-component-in-evidence-The_fig1_321597264))

Come anticipato, il processo di estrusione viene utilizzato per produrre diversi prodotti, pertanto, di seguito, verranno brevemente illustrati i vari processi:

- Estrusione di film piano:

In questo processo il polimero fuso viene estruso attraverso uno stampo che modifica gradualmente la sezione trasversale da circolare, all'estremità della vite, a un profilo largo, sottile e piatto.

Una volta che il film esce dallo stampo, viene posizionato su dei rulli, che possono essere utilizzati per raffreddare il film o per controllarne ulteriormente lo spessore e la finitura superficiale. Regolando la velocità relativa di questi rulli, il film può essere allungato in modo uniforme per migliorarne determinate proprietà.

Il film finito viene quindi avvolto su un rotolo pronto per essere utilizzato in imballaggi, borse, materiale espositivo, ecc.

- Estrusione di film soffiato:

Questo tipo di estrusione è il processo attraverso il quale la maggior parte delle materie prime e film plastici specializzati sono fabbricati per l'industria dell'imballaggio. La materia plastica fusa viene estrusa attraverso uno stampo a fessura anulare, solitamente in verticale, per formare un tubo a pareti sottili. L'aria viene introdotta attraverso un foro nel centro dello stampo per far esplodere il tubo come un palloncino.

Montato in cima allo stampo, un anello d'aria ad alta velocità soffia sul film caldo per raffreddarlo. Il tubo del film continua quindi a raffreddarsi verso l'alto, fino a quando passa attraverso i rulli di presa dove il tubo viene appiattito per creare un tubo di film "lay-flat". Questo viene quindi riportato giù dalla torre di estrusione tramite più rulli.

Sulle linee di uscita più alte, l'aria all'interno della bolla viene scambiata costituendo un sistema detto di raffreddamento interno a bolle (IBC).

- Estrusione di profili:

Questo processo viene utilizzato per fabbricare prodotti in plastica con una sezione trasversale continua. La plastica viene alimentata in granuli nella tramoggia e portata in avanti da una vite rotante all'interno di una canna riscaldata dove viene ammorbidita sia dall'attrito che dal calore. La plastica ammorbidita viene quindi espulsa attraverso uno stampo e portata direttamente in acqua fredda dove il prodotto si solidifica. Quando il profilo si è raffreddato, esce dal calibratore e viene tagliato alla lunghezza richiesta.

### **2.3.3 Soffiaggio**

Il soffiaggio è un processo utilizzato per fabbricare oggetti cavi.

Con questa tecnica si producono contenitori come bottiglie, flaconi, vasetti, taniche e simili.

La plastica fusa viene soffiata nella forma finale dall'aria, allo stesso modo di un palloncino: il processo prevede che venga estruso un tubo in verticale, poi introdotto in uno stampo aperto lasciandone uscire qualche centimetro. Lo stampo si chiude, il fondo e il collo superiore si saldano per l'elevata temperatura del materiale, e all'interno della cavità (nel tubo) si immette dell'aria in pressione facendo aderire il materiale alle pareti dello stampo, che lo raffreddano dandogli la forma necessaria.

In alcuni casi si usano più stampi che offrono la possibilità di un raffreddamento più lungo e una maggior produttività.

Il costo della macchina e degli stampi però limitano la convenienza solo a grandi produzioni dello stesso articolo. Inoltre, va tenuto presente che lo spessore di parete del prodotto finale, influenza la scelta del numero degli stampi. [25]

I principali processi di soffiaggio sono:

- Soffiaggio per estrusione:

si verifica l'estrusione di un tubo, e successivamente lo stampo si chiude attorno al tubo polimerico che viene espanso dall'iniezione di aria.

- Stampaggio per soffiaggio a iniezione:

la resina viene prima stampata in una preforma e poi trasferita in uno stampo a soffiaggio, dove viene riscaldata e quindi espulsa mediante l'iniezione di aria.

- Stiro-soffiaggio:

una preforma condizionata dalla temperatura viene inserita nello stampo e rapidamente stirata in lunghezza e diametro.

Il soffiaggio per estrusione è un processo continuo che viene utilizzato principalmente per la produzione di piccoli film sottili, ma può anche produrre grandi pezzi come fusti da 200 litri. Il processo di soffiaggio viene riassunto in sei fasi principali che sono indicate nella Figura 2.9:

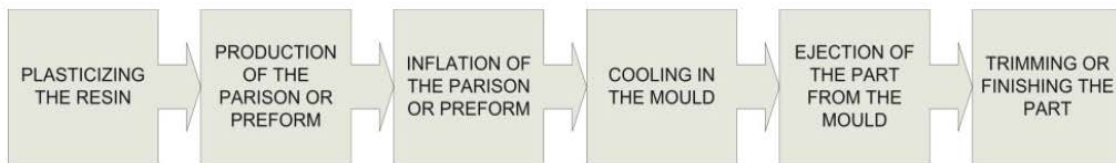


Figura 2.9: Fasi del processo di Soffiaggio

(Fonte: *Low Energy Plastic Processing, European Best Practice Guide, 2006*)

Un macchinario per il soffiaggio consiste in un estrusore che fonde la plastica e la trasforma in un tubo fuso (chiamato *parison* o preforma) attraverso una matrice di tipo convenzionale e uno stampo a corpo diviso. Lo stampo si chiude attorno al *parison*, sigillando entrambe le estremità e viene inserito un perno di soffiaggio per gonfiarlo, facendolo espandere e conformarsi alla forma della cavità dello stampo.

Lo stampo viene raffreddato e una volta che la parte si è solidificata, lo stampo si apre ed essa viene rimossa.

Nella Figura 2.10 viene riportato lo schema semplificato di una macchina per il processo di soffiaggio:

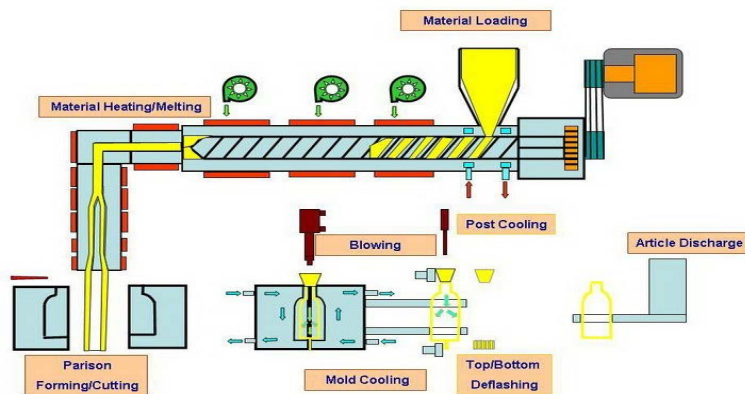


Figura 2.10: Schema semplificato di una macchina per Soffiaggio.

(Fonte: <http://imeulia.blogspot.com/2011/12/theoretical-background-blow-molding.html>)

## 2.4 Indicatori di Prestazione Energetica

“Un indicatore di prestazione energetica (IPE), in inglese “*Energy Performance Indicator*” (*ENPI*) consiste in un parametro ottenuto mettendo in relazione tra loro alcuni dati, in grado di fornire un confronto diretto e sintetico nell’ambito di un fenomeno complesso”<sup>22</sup>. Gli indicatori energetici rappresentano uno strumento importante per analizzare i consumi energetici della propria struttura, confrontandoli con altre realtà simili e/o con dati ricavati dalla letteratura.

Monitorare nel tempo questi indici permette di stimare il fabbisogno energetico al variare ad esempio delle esigenze di produzione, oppure di mettere in relazione le varie macchine e di valutare gli investimenti effettuati.

La definizione dell’indicatore e la scelta delle variabili da considerare è determinata dai fenomeni che si vogliono evidenziare e dagli obiettivi perseguiti.

Gli indicatori possono essere suddivisi in:

- indicatori di “intensità energetica”, definiti dal rapporto tra il consumo di energia e un indicatore di attività economica misurato in unità monetarie;
- indicatori tecnici, definiti dal rapporto tra il consumo di energia e un indicatore di attività espresso in termini fisici;
- indicatori di risparmio energetico, che misurano l’energia risparmiata, in valore assoluto o relativo.

Gli indicatori di efficienza energetica permettono di monitorare i progressi compiuti in termini di prestazioni, di confrontare i risultati ottenuti e individuare le possibilità di intervento per il miglioramento delle prestazioni energetiche, oltre che di monitorare l’andamento delle emissioni di CO<sub>2</sub> in vista del raggiungimento degli obiettivi posti dall’Unione Europea per il 2030. Tra i vari indicatori possibili vi sono:

- intensità energetica primaria, definita dal rapporto tra la disponibilità interna di energia e il prodotto interno lordo (PIL).
- intensità energetica finale, definita come rapporto tra il consumo finale complessivo e il PIL, e intensità energetica settoriale, definita dal rapporto tra il consumo finale e il valore aggiunto del settore, ad eccezione dei settori trasporti e residenziale. L’intensità

---

<sup>22</sup> Definizione di Indicatore di Prestazione ricavata da <http://fire-italia.org/category/indicatori-energetici/>

energetica del settore residenziale è data dal rapporto tra il consumo finale e la spesa delle famiglie, mentre l'intensità energetica del settore trasporti è determinata dal rapporto tra consumo finale e il PIL.

- consumo energetico unitario, definito dal rapporto tra il consumo energetico del settore e le unità di lavoro impiegate. [26]

Un'analisi energetica efficace quindi deve essere caratterizzata dalla ricerca di indicatori di prestazioni validi. Un indicatore di prestazione è un'informazione qualitativa e/o quantitativa associata ad un fenomeno (oppure ad un processo o ad un risultato) sotto osservazione, che consente di valutarne le modifiche nel tempo, nonché di verificare il conseguimento degli obiettivi prefissati.

Per quanto riguarda gli indicatori disponibili riferiti al settore plastico, è stata condotta un'ampia analisi della letteratura che ha portato ai risultati presentati nel paragrafo successivo.

#### **2.4.1 Benchmarking e Consumo Energetico Specifico - SEC**

Il *benchmarking* energetico consiste nel processo di valutazione e definizione degli obiettivi di miglioramento e realizzazione al fine di ridurre i costi, risparmiare denaro e migliorare le prestazioni.

Esso si compone di raccolta, analisi e comunicazione dei dati per fornire alle aziende industriali un contesto per valutare l'efficienza energetica comparativa.

È un mezzo importante di gestione dell'energia, che consente alle aziende un confronto con il "meglio del meglio".

Utilizzare l'energia in modo più efficiente aiuta l'azienda a migliorare la sua produttività e il suo profitto, rendendola più competitiva, riducendo al contempo i gas serra che contribuiscono al cambiamento climatico.

Il *benchmarking* e il monitoraggio dell'energia quindi consentono all'azienda di identificare le proprie carenze e adattarsi all'utilizzo di pratiche migliori.

Per avviare il processo di *benchmarking* è necessario calcolare gli indici di prestazione propri di ogni azienda, come il consumo specifico di energia (SEC) ricavabile dall'energia totale utilizzata e dalla quantità di materiale trattato.

Il consumo specifico di energia è una misura dell'energia utilizzata per ogni unità di produzione di polimero. Questo è normalmente espresso come l'energia, in kWh, consumata durante la lavorazione di un kg di polimero. Quindi le unità di misura sono kWh/kg, o in alternativa, kW/kg/ora.

Un semplice calcolo potrebbe essere il seguente:

Energia totale utilizzata in 12 mesi = x [kWh]

Tonnellaggio totale prodotto in 12 mesi = y [tonnellate]

Consumo energetico specifico [kWh/kg] =  $x/1000y$

Esistono due modi per ricavare tale indice di prestazione: il primo consiste nel valutare una singola macchina misurando l'energia utilizzata mentre si processa una certa quantità di polimero. Questo viene ricavato considerando la corrente assorbita, i dettagli dell'unità e la velocità effettiva, e viene chiamato "SEC della macchina".

La seconda misurazione consiste nel considerare il sito completo in un determinato periodo di tempo, ad esempio dodici mesi. Quando il consumo energetico specifico viene così calcolato, esso prende il nome di "SEC del sito".

Quest'ultimo comprende apparecchiature ausiliarie, riscaldamento e illuminazione degli uffici e servizi generali del sito, pertanto si prevede che sia maggiore del "SEC della macchina". Inoltre, diversi tipi di processi avranno un SEC diverso poiché essi riscaldano e raffreddano il polimero più di una volta, mentre altri richiedono ulteriori operazioni da eseguire.

Infine, confrontando il SEC ricavato per un sito analizzato, con i valori standard derivanti dalla letteratura, è possibile valutare l'efficienza del sito considerato.

Facendo riferimento ad uno studio svolto dall'Unione Europea nel 2005, denominato "*Reduced Energy Consumption In Plastics Engineering - 2005 European Benchmarking Survey Of Energy Consumption And Adoption Of Best Practice*" all'interno del progetto "RECIPE"<sup>23</sup>, vengono riportati di seguito, nella Tabella 2.1, gli indicatori di prestazione energetica medi del sito dei vari processi produttivi, ricavati dai dati di 165 imprese, comprendenti sia PMI che compagnie più grandi, stabilite in Europa.

Solamente per lo stampaggio per soffiaggio non è stato possibile valutare un SEC medio a causa della mancanza di dati, ma nello studio ci si aspetta che la cifra sia compresa tra quella relativa ad estrusione e allo stampaggio a iniezione.

---

<sup>23</sup> RECIPE: progetto di 3 anni per fornire ai trasformatori di materie plastiche europee le conoscenze, le giustificazioni e gli strumenti necessari per ridurre il loro consumo energetico attraverso l'implementazione delle migliori pratiche e l'introduzione di nuove tecnologie.  
Fonte: <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/recipe>

<b>Consumo di Energia Specifico Medio [kWh/kg]</b>	
Tipologia di Processo	SEC Medio
Termoformatura	6,197
Stampaggio a Rotazione	5,828
Stampaggio a Compressione	3,168
Stampaggio a Iniezione	3,118
Estrusione di Profilo	1,506
Estrusione di Film	1,346
Estrusione di Fibre	0,850
Compounding	0,631
<b>Totale Medio</b>	<b>2,811</b>

*Tabella 2.1: Consumo di Energia Specifico Medio.*

*(Fonte: EURecipe – 2005 European Benchmarking Survey on Energy Consumption and Adoption of Best Practice)*

Tali dati sono stati ricavati tenendo conto di diversi fattori, quali l'età degli edifici, quella delle macchine, il tipo di carburante utilizzato ed il costo dell'energia, ma anche la presenza di pratiche di gestione energetica e politiche ambientali.

In particolare, è stato constatato che l'età degli edifici non incide sull'indice di prestazione quando viene considerato un intervallo di 40 anni, mentre altri fattori come la manutenzione degli edifici e le pratiche di lavoro risultano decisamente più importanti.

Il consumo di energia specifico del sito quindi può essere considerato principalmente una funzione del processo eseguito, con influenze minori dovute all'età, alle dimensioni e all'efficienza dei macchinari utilizzati, oltre a un carico di base per l'infrastruttura del sito.

Dai valori riportati nella Tabella 2.1, si evince che:



- Il *compounding*, che è un processo di estrusione, generalmente comporta meno apparecchiature ausiliarie rispetto ad altri processi di estrusione e pertanto presenta il “SEC del sito” più basso di 0,63 kWh/kg.
- L’estrusione di fibre (0,85 kWh/kg) necessita di più apparecchiature a valle, inclusi rulli di stiro e macchine per l’avvolgimento, mentre l’estrusione di film (1,35 kWh/kg) includerà anche la fusione del film ed il soffiaggio, sempre con operazioni più complesse a valle.
- L’estrusione di tubi e profili (1,5 kWh/kg) non solo ha complesse operazioni a valle, ma spesso implica lo stoccaggio e la movimentazione di prodotti cavi di grandi dimensioni, a volte con operazioni di saldatura, rifilatura e assemblaggio, che aumentano il consumo energetico.
- Lo stampaggio a iniezione (3,1 kWh/kg) è essenzialmente un processo di estrusione di base, seguito da un altro processo di stampaggio, che prevede il riscaldamento e il raffreddamento di una grande massa di metallo che forma lo stampo, oltre all’energia necessaria per chiuderlo. Esistono spesso operazioni aggiuntive a valle, incluso un assemblaggio complesso, occasionalmente in ambienti *clean room*, che incrementano il consumo di energia.
- Lo stampaggio a compressione (3,2 kWh/kg) è un processo lento in cui lo stampo viene riscaldato e si comprime mentre ha luogo la reazione. Il fabbisogno energetico specifico è simile a quello dello stampaggio a iniezione.
- Lo stampaggio rotazionale (5,8 kWh/kg) deve essenzialmente riscaldare e raffreddare l’ampia superficie di uno stampo in metallo per ogni articolo cavo prodotto. Lo stampo è spesso riscaldato da aria calda che circola attorno allo stampo, che a volte è più piccolo della camera, riducendo così ulteriormente l’efficienza. Una grande quantità di energia viene utilizzata per una piccola quantità di polimero, spiegando l’elevato SEC ottenuto.
- La termoformatura a vuoto (6,2 kWh/kg) è in primo luogo un processo di estrusione del foglio, che viene successivamente riscaldato e quindi formato sottovuoto in uno stampo. Inoltre, quando si producono più elementi circolari da un foglio, il materiale in eccesso viene riciclato, incrementando il consumo specifico di energia.

Lo scopo di questo studio era quello di poter utilizzare le cifre riportate in Tabella 2.1 come punto di riferimento per l’industria, consentendo alle aziende di calcolare il proprio “SEC del sito” e confrontarsi con la media europea. [27]

## 2.4.2 Metodo di Calcolo degli Indici di Prestazione

Prima di procedere con i casi studio, sono stati analizzati altri due studi relativi al calcolo degli indici di prestazione per i vari processi di lavorazione delle materie plastiche.

Il primo, svolto da *Tangram Technology Ltd.* nel 2006, mentre il secondo è stato svolto dall'ENEA nel 2015, “*Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli | Marcello Salvio (ENEA)*”.

In entrambi gli studi sono stati ricavati dei valori “tramite l'utilizzo di una relazione, spesso lineare, che collega i consumi energetici alla produzione. È stato così ottenuto un modello energetico che restituisce un indice di prestazione di riferimento, funzione della produzione dell'azienda”. [25]

Schematicamente, le fasi del processo possono essere così suddivise:

### **Fase 1: Aggregazione dei dati.**

Le grandezze (consumo energetico e tonnellate di polimero processato) sono rappresentate in un grafico a dispersione.

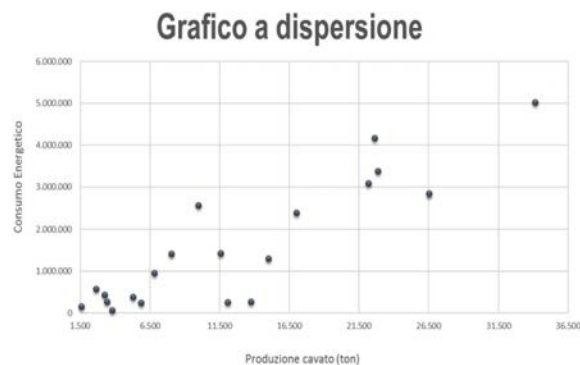


Figura 2.11: Grafico a dispersione. (Fonte: *Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA*)

### **Fase 2: Ricerca di una correlazione tra le grandezze rappresentate nel grafico a dispersione.**

Inizialmente si utilizza la regressione lineare che restituisce un legame del tipo:

$$y = ax + b$$

Equazione 2.1

L'equazione della retta sopracitata assume quindi il significato:

$$\text{Consumi Energetici} = (\text{Quota di Energia Variabile} * \text{Volume di Produzione}) + \text{Quota di Energia Fissa}$$

Dove la quota di energia variabile consiste nel carico di processo<sup>24</sup>, mentre la quota di energia fissa corrisponde al carico di base<sup>25</sup>.

“Si studia quindi il valore del coefficiente di correlazione  $R^2$ , che è un parametro che fornisce indicazioni riguardanti la bontà di adattamento di un modello statistico ai dati, per cui quanto più  $R^2$  è prossimo ad 1 tanto più la correlazione tra le variabili è significativa. Se il valore del coefficiente è basso, si tenta di approssimare i punti con una polinomiale di secondo grado.

Qualora non si abbiano ancora riscontri positivi, si prova a identificare la presenza di processi produttivi non specificati nel rapporto di diagnosi o la non corretta attribuzione di alcune fasi all'attività principale di sito.

Il controllo del coefficiente di correlazione rappresenta solo un primo passaggio: un valore basso garantisce sicuramente una relazione poco significativa tra consumi e produzione (spesso per la presenza di altri fattori in gioco più influenti), mentre un alto valore del coefficiente non è garanzia di una buona correlazione, in quanto la presenza di punti molto lontani come produzione dagli altri tende a favorire il valore di tale coefficiente.” [25]

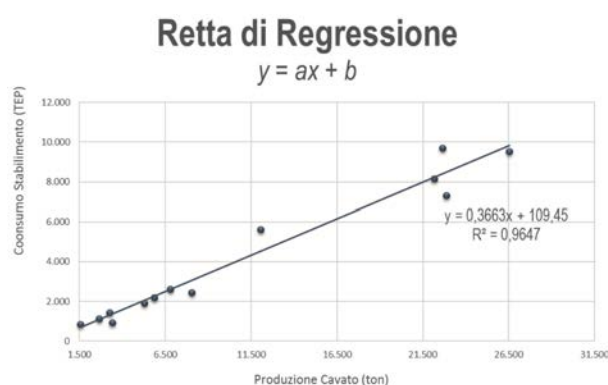


Figura 2.12: Retta di regressione lineare. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA)

<sup>24</sup> Carico di Processo: Corrisponde alla quota di energia variabile, e si identifica con la pendenza della retta di regressione lineare. Rappresenta i costi variabili che dipendono direttamente dal livello di produzione.

<sup>25</sup> Carico di Base: Corrisponde alla quota di energia fissa, che non dipende direttamente dal livello di produzione, ma è sempre presente a carico dell'azienda. Può essere identificato dai consumi fissi che non generano prodotti, come ad esempio uffici o illuminazione. È rappresentato dall'intercetta della retta di regressione lineare.

“L’intersezione della retta di *best-fit* con l’asse delle ascisse indica il carico di base, che corrisponde all’utilizzo di energia quando non è in corso alcuna produzione effettiva, ma sono disponibili macchinari e servizi. La pendenza della linea di *best-fit* è il carico di processo e mostra l’energia media utilizzata per produrre ogni chilogrammo di polimero.” [25]

### Fase 3: Costruzione del modello analitico dell’IPE.

Trovato il legame tra le grandezze si costruisce la curva dell’IPE, rappresentata da una funzione indicata nella Formula 2.2, nel caso di relazione lineare tra consumi e produzione (nel caso di relazione polinomiale di secondo grado si applicano ragionamenti analoghi):

$$IPE = \frac{ax + b}{x} = a + \frac{b}{x}$$

Equazione 2.2

dove  $a$  e  $b$  rappresentano rispettivamente la pendenza e l’intercetta della retta di regressione lineare. [25]

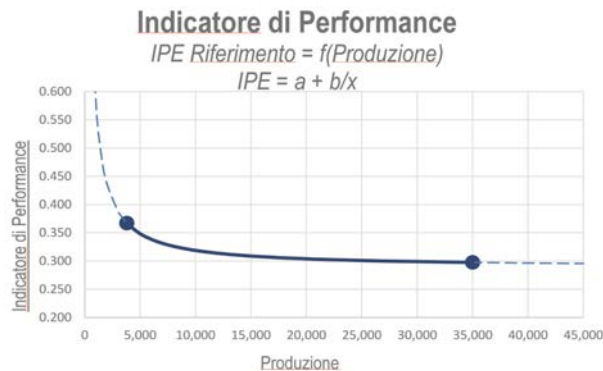


Figura 2.13: Indicatore di performance. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA)

“Nel grafico precedente con la parte continua si è evidenziata la fascia in cui i valori degli IPE calcolati con la formula matematica sono confrontabili con valori reali ricavati dalle diagnosi energetiche delle aziende che producono in quel *range*. La parte tratteggiata rappresenta invece i valori degli IPE ricavati matematicamente dal modello per i quali non si ha un riscontro nelle aziende in termini di volumi produttivi.” [25]

#### **Fase 4: Valutazione dello scostamento tra valori reali e valori del modello.**

Si va ad osservare lo scostamento tra i valori reali e quelli del modello calcolati alla stessa produzione del valore reale; si effettua il rapporto tra gli stessi e in base alla distanza tra valore reale e valore del modello risulta:

- se il 90% dei punti reali risultano lontani meno del 30% dal valore del modello, quest'ultimo viene definito affidabile.
- se più del 10% dei punti reali risultano lontani più del 30% dal valore del modello, quest'ultimo viene ritenuto poco affidabile. [25]

#### **Fase 5: Costruzione del modello “Valore Medio $\pm$ Deviazione Standard”.**

Quando non sia possibile realizzare il modello o esso non risulta affidabile, l'indicatore di riferimento si costruisce come Valor Medio  $\pm$  Deviazione Standard.



Figura 2.14: Indicatore di performance, Valore Medio  $\pm$  Deviazione Standard. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA)

#### **Fase 6: Valutazione dell'indicatore “Valor Medio $\pm$ Deviazione Standard”.**

L'indicatore di riferimento “Valor Medio  $\pm$  Deviazione Standard” viene valutato

- Affidabile se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta minore del 20%.
- Poco Affidabile se il rapporto tra deviazione standard e valore medio risulta compreso tra il 20% ed il 50%.
- Non Affidabile se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta maggiore del 50%. [25]

### 2.4.3 Risultati degli Studi Analizzati

Il primo studio analizzato, condotto da *Tangram Technology Ltd.*, descrive un quadro di riferimento per la misurazione, valutazione e predizione che può essere usato per la maggior parte delle compagnie di lavorazione della plastica.

Dopo aver raccolto i dati relativi agli output, espressi in kg, per un certo numero di mesi, e quelli relativi all'energia impiegata, in kWh, per una singola azienda, è stato realizzato un diagramma a dispersione in cui l'energia risulta funzione del livello di produzione.

È stata poi utilizzata un'approssimazione lineare di *best-fit* tracciata per i punti.

Questo metodo è naturalmente indipendente dal processo, ma i risultati dipendono molto da esso, in particolare in termini di carico del processo. Questo si può notare dal confronto delle seguenti figure:

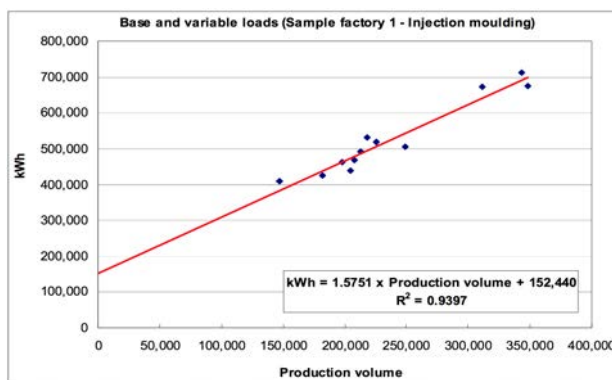


Figura 2.15: Carico Base e Variabile per un'azienda di Stampaggio a Iniezione. (Fonte: *Energy Management in Plastics Processing: a framework for measurement, assessment and prediction*, Dr. Robin Kent, Tangam Technology Ltd.)

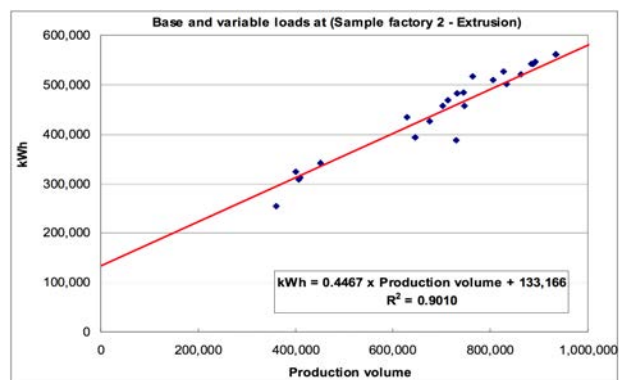


Figura 2.16: Carico Base e Variabile per un'azienda di Estrusione. (Fonte: *Energy Management in Plastics Processing: a framework for measurement, assessment and prediction*, Dr. Robin Kent, Tangam Technology Ltd.)

La Figura 2.15 illustra i carichi di base e di processo per una fabbrica di stampaggio a iniezione, mentre la Figura 2.16 mostra i carichi di base e di processo per una fabbrica di estrusione. Lo stampaggio a iniezione ha un fabbisogno energetico di processo superiore rispetto all'estrusione e quindi è prevedibile che i carichi del processo siano significativamente differenti.

Le fabbriche hanno carichi di base ampiamente simili ma lo stabilimento di estrusione ha un carico di processo di 0,4467 kWh/kg rispetto allo stabilimento di stampaggio a iniezione, che presenta un carico di processo di 1,5751 kWh/kg.

In alcuni casi, le aziende sono caratterizzate da un mix di processi come stampaggio a iniezione, soffiaggio ed estrusione all'interno di un singolo sito e non è sempre possibile separare i dati per ogni attività.

L'effetto provocato viene mostrato in Figura 2.17:

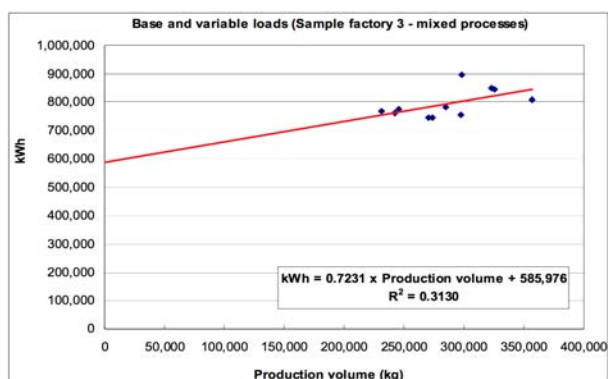


Figura 2.17: Carico Base e Variabile per processo misto. (Fonte: Energy Management in Plastics Processing: a framework for measurement, assessment and prediction, Dr. Robin Kent, Tangam Technology Ltd.)

In questo caso, come previsto, i dati risultano molto meno coerenti ( $R^2$  è 0,3130) in quanto il mix mensile di produzione (e quindi i carichi di processo) incide in modo rilevante sul consumo di energia. In questi casi è possibile utilizzare analisi multivariate per separare i dati, ma il *sub-metering* risulta molto più semplice e diretto, ricavando così una raccolta diretta dei dati.

Un aspetto molto importante che è evidenziato all'interno di questo studio è il cambio di gestione di un'azienda.

Cambiando il modo in cui viene gestita un'azienda, si può ottenere un effetto importante sul consumo di energia. La Figura 2.18 illustra il caso di un'azienda in cui alla fine del 2005, l'intero team di gestione è stato sostituito, a favore di un nuovo team più attento alla gestione energetica, senza apportare modifiche al processo.

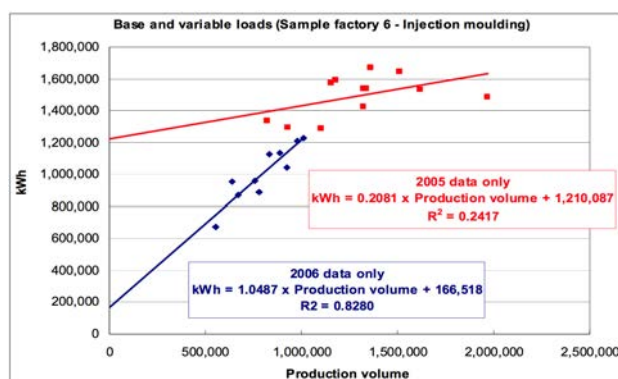


Figura 2.18: Carico di Base e di Processo con cambio team di gestione dell'energia. (Fonte: Energy Management in Plastics Processing: a framework for measurement, assessment and prediction, Dr. Robin Kent, Tangam Technology Ltd.)

I due set di dati sono molto diversi e l'effetto dei cambiamenti di gestione è evidente. Il carico di base è diminuito considerevolmente da 1.210.087 kWh a 166.518 kWh, mentre il carico di processo è passato da 0.2081 kWh/kg a 1.0487 kWh/kg. Grazie a una buona gestione, i carichi di base dovuti al fatto che i macchinari sono operativi ma non in produzione sono stati convertiti in carichi di processo in cui le macchine sono operative solo durante l'effettiva produzione. [28]

L'analisi svolta dall'ENEA invece, "ha permesso di esaminare i consumi energetici delle aziende a livelli di dettaglio più profondo rispetto a quanto previsto dalle diagnosi energetiche, e di sviluppare una metodologia grazie alla quale ricavare degli indici di prestazione energetica a livello di stabilimento per ogni settore: vengono definiti  $IPE_g$  indice di prestazione generale,  $IPE_{el}$  indice di prestazione elettrico,  $IPE_{ter}$  indice di prestazione termico.

È stata, inoltre, predisposta la metodologia del calcolo degli indici di prestazione secondo una classificazione di maggior dettaglio che riguarda anche i servizi ausiliari e i servizi generali, nell'ottica di un'implementazione futura.

Il valore di tale studio è rappresentato sia dal risultato metodologico, che apre l'orizzonte ad un'indagine statistica omogenea e puntuale su tutti i settori produttivi, sia dal risultato numerico, che fornisce dei valori attualizzati, normalizzati e dettagliati sui consumi energetici dei processi produttivi finora non noti nemmeno alle aziende stesse.

Un altro fattore rilevante del risultato ottenuto consiste nel fatto che tali indici, che rappresentano una fotografia reale del livello di efficienza energetica del tessuto produttivo italiano e non mediata dai "BAT reference documents" (BREF)<sup>26</sup>, permettono di valutare meglio il potenziale di risparmio energetico al fine di individuare possibili scenari che possano essere utili per stabilire le più opportune politiche energetiche e stimolare il miglioramento dell'efficienza." [25]

"La trasformazione delle materie plastiche, solitamente, per arrivare al prodotto finito richiede diverse operazioni che possono essere compiute in sequenza o contemporaneamente all'interno di una o più macchine per la lavorazione. Le operazioni più comuni a molte tecnologie vengono riassunte nella Tabella 2.2. Alcune operazioni come il trasporto della materia prima (polveri o granuli), la sua fusione in pressione e il trasporto del fuso, sono quasi sempre presenti in tutte le aziende, tranne che in quelle che operano a partire da bobine di film o foglia già pronti, su

---

<sup>26</sup> Documento di Riferimento sulle Best Available Techniques per la produzione di polimeri (2007)  
Fonte: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/pol\\_bref\\_0807.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/pol_bref_0807.pdf)



cui vengono effettuate lavorazioni definibili come secondarie, ossia taglio, stampa, termoformatura. Altre operazioni, quali essiccamento della materia prima, miscelazione e degassaggio, possono essere non necessarie a seconda del tipo di materia prima trattata e della qualità richiesta del prodotto finito.” [25]

<b>Pre-lavorazione</b>					
Trasporto	Miscelazione	Essiccamento	Fusione	Pressurizzazione	Degasaggio
<b>Formatura</b>					
<b>Produzione Continua</b>			<b>Produzione Intermittente</b>		
<b>Post-lavorazione</b>					
<b>Lavorazioni Meccaniche</b>	<b>Giunzioni</b>	<b>Preparazione Superficiale</b>	<b>Stampa</b>		
Torniatura	Incollaggio	Saldatura	Verniciatura		
Fresatura	Saldatura	Miglioramento Adesività	Metalizzazione		
Taglio	Giunzione Meccanica		A Inchiostro		

*Tabella 2.2: Principali Operazioni di Lavorazione delle Materie Plastiche. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA)*

“Come anticipato la fase di trasporto, fusione e pressurizzazione del fuso avviene in tutti i processi che partono da una materia prima costituita da granuli o polveri e non da bobine già pronte.

Questo processo viene indicato come estrusione e come già accennato può essere o meno accompagnato dalle fasi di essiccamento e degassaggio.

Le lavorazioni necessarie alla formatura dei prodotti sono state raccolte in due gruppi a seconda della modalità di attraversamento del materiale fuso: continua o intermittente. In entrambi i casi la formatura avviene imponendo una geometria prestabilita all’uscita dell’estrusore e il raffreddamento controllato del fuso.

Il particolare tipo di processo prende in genere il nome dalla fase di formatura che lo caratterizza, ad esclusione dei processi di produzione di profilati e tubi la cui produzione è indicata genericamente nel settore come “estrusione”.” [25]

I principali processi di trasformazione individuati in questo studio sono:

- estrusione di granulati
- estrusione di film (cast e blow)
- stampaggio a iniezione
- estrusione – soffiaggio di corpi cavi
- stiro – soffiaggio di preforme
- termoformatura

Nella Tabella 2.3 vengono riportati i risultati degli indici medi individuati a livello di sito e di attività produttiva principale [25].

<b>Lavorazione</b>	<b>IPE<sub>Sito</sub> [tep/t]</b>	<b>IPE<sub>Ap</sub> [kWh/kg]</b>
Stampaggio	0,3932	1,2536
Film bolla	0,1476	0,5398
Film cast	0,2013	0,5949
Granulazione	0,1161	0,4773
Tubi/lastre/profilati	0,1987	0,5962
Termoformatura	0,2983	0,7869
Soffiaggio	0,3300	0,9850

*Tabella 2.3: Indici di Prestazione Medio a livello di Sito e di Attività Produttiva. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA)*

Ipotizzando che, tutti i kWh di energia consumata siano elettrici, è possibile convertire gli indici di prestazione espressi in tep/t, in kWh/kg, in quanto l'energia elettrica proveniente dalla rete viene attualmente valorizzata in 0,187 tep/MWh<sup>27</sup>.

I risultati vengono riportati nella Tabella 2.4:

<b>Lavorazione</b>	<b>IPE<sub>Sito</sub> [tep/t]</b>	<b>IPE<sub>Sito</sub> [kWh/kg]</b>	<b>IPE<sub>AP</sub> [kWh/kg]</b>
Stampaggio	0,3932	2,103	1,2536
Film bolla	0,1476	0,789	0,5398
Film cast	0,2013	1,076	0,5949
Granulazione	0,1161	0,621	0,4773
Tubi/lastre/profilati	0,1987	1,063	0,5962
Termoformatura	0,2983	1,595	0,7869
Soffiaggio	0,3300	1,765	0,9850

*Tabella 2.4: Indici di Prestazione Medio a livello di Sito e di Attività Produttiva espressi in kWh/kg. (Fonte: Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli, Marcello Savio, ENEA))*

<sup>27</sup> Circolare MISE, 18 Dicembre 2014: Fattore di conversione relativo all'energia elettrica: kWh<sub>e</sub> = 0,187\*10<sup>-3</sup> tep. Al fine di validare tale operazione, è stata inviata una mail di chiarimento all'ENEA, che ha riscontrato risposta affermativa.

Di seguito, nella Tabella 2.5, sono riportati gli indici di prestazione risultanti dei vari studi citati in precedenza, per i principali processi di lavorazione delle materie plastiche.

<b>Indici di Prestazione di Riferimento</b>				
<b>Processo</b>	<b>IPE<sub>Sito</sub> Medio [kWh/kg]</b>			<b>IPE<sub>AP</sub> [kWh/kg]</b>
	<b>EURecipe<sup>28</sup></b>	<b>Tangram<sup>29</sup></b>	<b>ENEA</b>	<b>ENEA</b>
Stampaggio a Iniezione	3,118	3,075	2,103	1,2536
Estrusione di Tubi/Lastre/Profilati	1,506	1,559	1,063	0,5962
Estrusione di Film Bolla	1,346	-	0,789	0,5398
Estrusione di Film Cast		-	1,076	0,5949
Granulazione	0,631	-	0,621	0,4773
Termoformatura	6,197	-	1,595	0,7869
Soffiaggio	-	-	1,765	0,9850

*Tabella 2.5: Tabella riassuntiva degli Indici di Prestazione Medi per Sito e per Attività Principale, per i Principali Processi Produttivi, Ricavati dagli Studi Analizzati.*

Si può notare che per i processi considerati, gli indici di prestazione riportati nello studio dell'ENEA del 2015 risultano migliori rispetto a quelli ricavati dagli studi del 2006 di Tangram ed EURecipe. Questo miglioramento dimostra sia l'effetto dell'evoluzione tecnologica, ma sottolinea anche l'attenzione all'efficienza energetica, in particolar modo nel nostro Paese che risulta tra i primi in Europa in questo ambito.

<sup>28</sup> EURecipe: 2005 European Benchmarking Survey of Energy Consumption and Adoption of Best Practice - EURecipe, 30 September 2005.

<sup>29</sup> Tangram: Tangram Technology Ltd.: Internal Data from 85 Injection Moulding and 32 Extrusion Sites throughout the World.

## 2.5 Principali Interventi di Efficientamento Energetico Considerati

In questo paragrafo verranno analizzati brevemente i principali interventi di efficientamento energetico che saranno poi proposti nei vari casi studio, in quanto devono essere riportati all'interno del rapporto di diagnosi energetica, secondo quanto previsto dal D.lgs. 102/2014.

Sulla base dei dati raccolti, gli interventi più significativi si sono rivelati essere: l'installazione di un impianto fotovoltaico, di un impianto di trigenerazione, il rifasamento elettrico, il *re-lamping* illuminazione ed infine la riduzione delle perdite di aria compressa.

Dove possibile, saranno analizzati tutti questi interventi andando a valutarne la fattibilità economica.

### 2.5.1 Fotovoltaico

La tecnologia fotovoltaica ha la capacità di trasformare l'energia solare in energia elettrica, sfruttando l'effetto fotovoltaico. Questa proprietà è una caratteristica intrinseca in alcuni materiali semiconduttori come il silicio. Tali materiali di fatto sono in grado di generare elettricità da radiazione luminosa.

Ciascuna cella fotovoltaica, che di per sé rappresenta il dispositivo di base del pannello fotovoltaico è in grado di produrre una potenza di circa 1,5 W. Un pannello fotovoltaico può avere una potenza variabile che va da poche centinaia di W a milioni di W.

Un impianto fotovoltaico è costituito da moduli fotovoltaici che trasformano l'energia solare in energia elettrica. Ai moduli fotovoltaici fa seguito un inverter che trasforma la corrente continua in alternata, prontamente utilizzabile. Il sistema è costituito poi da contatori di produzione e da un trasformatore che consente l'immissione dell'energia elettrica prodotta in rete.

Le prestazioni ottimali in termini di producibilità elettrica sono garantite dalla corretta esposizione all'irraggiamento dei moduli fotovoltaici (in Italia l'esposizione ottimale è verso Sud con un'inclinazione di circa 30-35°).

Nel territorio italiano un impianto fotovoltaico da 1 kWp<sup>30</sup>, ottimamente orientato ed inclinato, è capace, di una produzione specifica variabile tra 1.000 e 1.400 kWh. Inoltre, ogni kWp installato richiede uno spazio netto di circa 8 - 10 m<sup>2</sup> qualora i moduli siano installati in modo complanare alle superfici di pertinenza degli edifici; occorre invece uno spazio maggiore se l'impianto è installato in più file successive su strutture di supporto inclinate collocate su superfici piane. [29]

---

<sup>30</sup> Il chilowatt di picco (kWp) è l'unità di misura della potenza teorica massima producibile da un generatore elettrico o viceversa la potenza teorica massima assorbibile da un carico elettrico.

Un aspetto importante da considerare in un impianto fotovoltaico è la possibilità di effettuare lo scambio sul posto. Il servizio di scambio sul posto è una particolare forma di autoconsumo in sito che consente di compensare l'energia elettrica prodotta e immessa in rete in un certo momento con quella prelevata e consumata in un momento differente da quello in cui avviene la produzione.

Nello scambio sul posto si utilizza quindi il sistema elettrico quale strumento per l'immagazzinamento virtuale dell'energia elettrica prodotta ma non contestualmente autoconsumata. Condizione necessaria per l'erogazione del servizio è la presenza di impianti per il consumo e per la produzione di energia elettrica sottesi a un unico punto di connessione con la rete pubblica. [30]

### **2.5.2 Cogenerazione e Trigenerazione**

Con il termine cogenerazione si intende la produzione combinata di energia elettrica/meccanica e di energia termica (calore) ottenute in appositi impianti utilizzando la stessa energia primaria. [31]

La produzione di energia elettrica attraverso un ciclo termodinamico avviene sempre con il rilascio di calore a bassa temperatura. Se fosse possibile il recupero di tale calore a fini produttivi, il rendimento della produzione congiunta dei flussi "elettricità + calore" aumenterebbe rispetto alla loro produzione separata. [32]

La produzione combinata, se efficace, comporta:

- Un risparmio economico conseguente al minor consumo di combustibile;
- Una riduzione dell'impatto ambientale, conseguente sia alla riduzione delle emissioni sia al minor rilascio di calore residuo nell'ambiente (minore inquinamento atmosferico e minore inquinamento termico);
- Minori perdite di trasmissione e distribuzione per il sistema elettrico nazionale, conseguenti alla localizzazione degli impianti in prossimità dei bacini di utenza o all'autoconsumo dell'energia prodotta;
- La sostituzione di modalità di fornitura del calore meno efficienti e più inquinanti.

Infine, occorre evidenziare che lo sfruttamento del calore utile prodotto dall'impianto di cogenerazione può essere utilizzato anche per il raffrescamento, mediante una macchina ad assorbimento che trasformi il calore in energia frigorifera (trigenerazione) permettendo di massimizzare lo sfruttamento dell'energia termica, rendendo conveniente l'impiego dell'impianto per un numero maggiore di ore all'anno.

Per quantificare, a parità di output, il risparmio ottenuto in termini di input dalla produzione combinata degli output rispetto alla loro produzione separata, si calcola il PES (*Primary Energy Savings*), un indice introdotto dalla Direttiva sulla cogenerazione 2004/8/EC<sup>31</sup>, sulla base del quale sono calcolati incentivi concessi ad impianti di cogenerazione.

Il PES è definito come:

$$PES = \left( 1 - \frac{1}{\frac{CHP H_{\eta}}{Ref H_{\eta}} + \frac{CHP E_{\eta}}{Ref E_{\eta}}} \right) * 100\%$$

*Equazione 2.3*

In cui:

- CHP H<sub>η</sub> è il rendimento termico del cogeneratore, rapporto tra calore utile ed energia del combustibile;
- CHP E<sub>η</sub> è il rendimento elettrico del cogeneratore, rapporto tra energia elettrica cogenerata ed energia del combustibile;
- Ref H<sub>η</sub> è il rendimento termico di riferimento per la produzione separata di elettricità e calore, pari a 0,82 in caso di utilizzo diretto dei gas di scarico, 0,9 nel caso di produzione di acqua calda/vapore;
- Ref E<sub>η</sub> è il rendimento elettrico di riferimento per la produzione separata di elettricità e calore;

Ref H<sub>η</sub> e Ref E<sub>η</sub> sono valori fissati dalla Direttiva in specifiche tabelle.

L'importanza del PES è evidente: più alto e prossimo al 100% è il suo valore, più conveniente è la cogenerazione dal punto di vista dello sfruttamento dell'energia primaria.

Il legislatore fissa un valore minimo per il PES, al di sotto del quale non si riconoscono i benefici per la cogenerazione. In Italia, la cogenerazione viene definita "ad alto rendimento" (CAR) a seconda dei risparmi di energia effettivamente conseguiti: se l'impianto ha una capacità uguale o maggiore a 1 MWe, il PES deve essere maggiore del 10%, mentre per impianti più piccoli è sufficiente che sia positivo.

L'art. 4 del DM 5 settembre 2011 inoltre impone che le unità di cogenerazione abbiano diritto, per ciascun anno solare in cui soddisfano i requisiti di CAR, al rilascio dei certificati bianchi,

---

<sup>31</sup> Recepita dal decreto del ministero dello sviluppo economico del 5 settembre 2011.  
 Testo del decreto: <https://www.mise.gov.it/images/stories/normativa/DM-5-SETTEMBRE2011.pdf>

in numero commisurato al risparmio di energia primaria realizzato nell'anno in questione, se positivo, calcolato come segue:

$$RISP = \frac{E_{CHP}}{Ref E_{\eta}} + \frac{H_{CHP}}{Ref H_{\eta}} - E_{C\ CHP} \quad [MWh]$$

*Equazione 2.4*

In cui:

- $E_{CHP}$  è l'energia elettrica prodotta mediante cogenerazione nell'anno solare considerato, espressa in MWh;
- $H_{CHP}$  è il calore utile prodotto dall'unità di cogenerazione nel medesimo anno solare, espressa in MWh;
- $E_{C\ CHP}$  è l'energia del combustibile di alimentazione consumata dall'unità di cogenerazione, espressa in MWh;
- $Ref H_{\eta}$  e  $Ref E_{\eta}$  sono i rendimenti termici ed elettrici precedentemente definiti;

In base al risparmio di energia primaria calcolato secondo tale formula, l'unità di cogenerazione ha diritto per lo specifico anno ad un numero di certificati bianchi pari a:

$$CB = RISP * 0,086 * K$$

*Equazione 2.5*

In cui:

- $K$  è un coefficiente di armonizzazione, che varia in base alla potenza dell'unità di cogenerazione; In caso di taglie inferiori ad 1 MWe,  $K$  risulta pari a 1,4.

### **2.5.3 Rifasamento Elettrico**

In seguito alla Delibera 180/2013/R/EEL<sup>32</sup>: “Regolazione tariffaria per prelievi di energia reattiva nei punti di prelievo connessi in media e bassa tensione, a decorrere dall'anno 2016” è stato stabilito un livello minimo del fattore di potenza medio per i prelievi nelle ore di alto carico (F1 e F2), pari a 0,95 a partire da gennaio 2016.

Il meccanismo tariffario prevede un corrispettivo per i kvarh ritirati sulla base dei reali oneri connessi alla circolazione in rete dell'energia superflua:

---

<sup>32</sup> Testo della Delibera 180/2013/R/EEL:

<http://www.innovaconsulenze.it/images/stories/pdf/Delibera%20AAEEG%20180-13.pdf>



- fino ad un prelievo di kvarh uguale numericamente al 50% dell'energia attiva ritirata in un mese, non si paga la penale;
- il prelievo di kvarh compreso tra il 33% e il 75% dell'equivalente prelievo di energia attiva viene fatturato ad una tariffa  $c_{er1}$ ;
- il prelievo di kvarh che eccede il 75% dell'equivalente prelievo di energia attiva viene fatturato ad una tariffa  $c_{er2} > c_{er1}$ .

Il 33% dell'energia attiva, in termini di energia reattiva comporta che sia:

$$\cos \varphi = \frac{E_a}{\sqrt{E_a^2 + E_r^2}} = 0,95$$

*Equazione 2.6*

Dove:

- $\cos \varphi$  è il fattore di potenza: è una misura di quanto sia efficiente l'energia elettrica consumata, e più basso è il fattore di potenza e maggiore è il costo. Quando il fattore di potenza è 0, il flusso di energia è interamente reattivo. Una corretta gestione del fattore di potenza comporta vantaggi sia di tipo tecnico che tariffario.

Un basso valore del fattore di potenza quindi si traduce in un duplice effetto negativo: diminuisce la portata della rete esterna, e per il distributore diventa quindi problematico se non impossibile poter allacciare altre utenze-clienti, e i cavi del distributore sono impegnati da una componente di corrente che induce perdite per effetto Joule.

- $E_a$  è l'energia attiva ritirata, espressa in kWh.
- $E_r$  è l'energia reattiva ritirata, espressa in kvarh.

La potenza reattiva richiesta dalle macchine elettriche può facilmente essere generata in loco tramite un impianto di rifasamento. La batteria fornisce l'energia reattiva necessaria al funzionamento dei motori, scaricando in tal modo i cavi del distributore e azzerando la tariffazione per basso  $\cos \varphi$ . La soluzione si configura come un rifasamento centralizzato.

Per dimensionare la batteria di rifasamento, si procede a calcolare la potenza attiva ritirata media, come rapporto tra tutta l'energia attiva ritirata e le ore annuali di funzionamento dell'azienda:

$$P = \frac{E_a}{\text{ore/anno}} \quad [kW]$$

Equazione 2.7

E infine si ricava la potenza rifasante da installare come:

$$\Delta Q = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad [kvar]$$

Equazione 2.8

Dove:

- P è la potenza attiva ritirata media nelle ore di funzionamento annuali, espressa in kW.
- $\tan \varphi_1$  è la tangente della fase  $\varphi_1$  corrente dell'impianto.
- $\tan \varphi_2$  è la tangente della fase  $\varphi_2$  a cui si vuole rifasare l'impianto, ovvero  $18^\circ$  a cui corrisponde  $\cos \varphi_2 = 0,95$ .

Una volta determinata la potenza rifasante da inserire a livello centralizzato, questa non potrà essere inserita con continuità, poiché nei periodi di scarso carico essa si troverebbe ad erogare energia reattiva capacitiva verso la rete esterna, e questa evenienza, essendo causa di diversi inconvenienti tecnici (simili effetti sono ascrivibili ad un fenomeno di risonanza), è sottoposta a penali.

È dunque necessario che la potenza reattiva sia erogabile secondo scaglioni di richiesta, pertanto i condensatori sono organizzati in batterie strutturate secondo successivi "gradini" di inserimento. Ogni gradino dovrebbe avere una potenza variabile tra il 10 e il 20% della totale potenza rifasante richiesta.

Alla luce di ciò, ci si chiede se sia conveniente rifasare il carico oltre a  $\cos \varphi = 0,95$ , considerando che le modalità di tariffazione infatti non si modificano, ed il limite per il pagamento della penale rimane comunque fissato a  $\cos \varphi = 0,95$ , dunque l'utente non si vedrebbe riconosciuto nessun vantaggio in bolletta.

Il completo rifasamento a  $\cos \varphi = 0,95$  inoltre non individua la situazione ottimale dal punto di vista economico; un minimo di penale dovrebbe essere pagata ogni anno o, il che è equivalente, il  $\cos \varphi$  medio annuale di prelievo dovrebbe essere, seppur di poco, inferiore a 0,95. Nel caso di rifasamento centralizzato a  $\cos \varphi$  medio superiore a 0,95, l'unico soggetto ad essere avvantaggiato è il gestore della rete esterna, il quale a costo zero otterrebbe un aumento di portata commerciale del proprio cavo di alimentazione, oltre a guadagnare un recupero di perdite per effetto Joule. [32]

Sulla base di quanto visto finora, il problema del rifasamento, è stato affrontato mediante l'elaborazione di un codice di calcolo sviluppato in Matlab, che partendo dai dati di prelievo quart'orario di energia attiva e reattiva, scaricabili per un'azienda dal sito del distributore, ricava il  $\cos\phi$  da cui rifasare l'impianto a 0,95, valutando sia l'investimento iniziale che il costo della penale, ricavando pertanto la potenza rifasante ottimale per l'azienda considerata.

Per prima cosa, il programma apre i file Excel in cui sono riportate energia attiva e reattiva per ogni quarto d'ora, andando a creare due matrici annuali, una per l'energia attiva e una per la reattiva.

```
%Matrice dell'energia attiva
Anno_Activa=[];
for k=201801:201812
    filename=[num2str(k),'Attiva.xlsx'];
    mese=xlsread(filename);
    Anno_Activa=[Anno_Activa
                 mese];
end
Anno_Activa(:,1)=[];

%Matrice dell'energia reattiva
Anno_Reattiva=[];
for k=201801:201812
    filename=[num2str(k),'Reattiva.xlsx'];
    mese=xlsread(filename);
    Anno_Reattiva=[Anno_Reattiva
                  mese];
end
Anno_Reattiva(:,1)=[];
```

Dopo aver effettuato i controlli necessari, che consistono nella rimozione delle festività, delle domeniche, e della fascia oraria F3 in cui non si paga alcuna penale sull'energia reattiva, il codice separa l'energia attiva e reattiva nelle due fasce F1 e F2, che serviranno poi al fine di calcolare il valore della penale, sia mensile che annuale, e calcola la matrice dei  $\cos\phi$  come segue:

```
%Calcolo cosFi
for i=1:96
    for k=1:365

cosFi(k,i)=Anno_Activa(k,i)/(sqrt(Anno_Activa(k,i)^2+Anno_Reattiva(k,i)^2))
        if cosFi(k,i)>=0.95
            cosFi(k,i)=NaN;
        end
    end
end
end
```

Dalla quale sarà poi possibile ricavare la matrice della potenza rifasante:

```
%Calcolo la Potenza rifasante
DeltaQ=Potenza_Media.*(tanFi-0.32); %Matrice della Potenza Rifasante [kvar]
DeltaQ(find(isnan(DeltaQ)))=0;
```

In cui la matrice `Potenza_Media` è stata ottenuta dividendo la matrice `Anno_Attiva` per 0,25. Dopo aver calcolato il valore delle penali, il codice chiede all'utente di inserire il prezzo della batteria di condensatori, espresso in €/kvar e gli anni di vita utile della batteria, potendo in questo modo calcolare il numero di ore necessarie per il rifasamento, tali che superata questa quantità, ogni successiva diminuzione di potenza rifasante, produce oneri superiori ai guadagni, in questo modo:

$$h_{calc} = \frac{C_{bat}}{c_{er} * FA} \quad [ore]$$

*Equazione 2.9*

Dove:

- $C_{bat}$  è il costo della batteria espresso in €/kvar.
- $c_{er}$  è il costo di fatturazione dei kvarh, per ora ritenuto unico e costante, espresso in €.
- $FA$  è il fattore di attualizzazione, definito in seguito.

```
Cbat=input('Inserire il costo della batteria di condensatori, Cbat= ');
%[Euro/kvar]
n=input('Qual è il tempo di vita della batteria? n= '); %anni
Cer=Penale_anno/Tot_Reattiva_Annua; %costo di fatturazione dei kvarh per
ora [Euro/kvarh]
r=0.05; %tasso di sconto
FA=(1-((1+r)^(-n)))/r; %fattore di attualizzazione
h_calc=Cbat/(Cer*FA); %ore di rifasamento
```

Fornendo infine il valore del  $\cos\phi$  a cui corrisponde il valore ottimale di potenza rifasante  $\Delta Q$  da installare, sulle ore calcolate durante le quali è fatturabile l'energia reattiva, che corrisponde al valore in cui il VAN presenta un massimo.

Il programma elabora inoltre i seguenti grafici: un grafico  $\cos\phi$ -ore in cui vengono riportati tutti i valori del  $\cos\phi < 0,95$ , indicato il valore del  $\cos\phi$  da rifasare in base al numero di ore necessarie per il rifasamento, e un grafico  $\Delta Q$ -ore in cui viene indicato il valore della potenza di rifasamento ottimale che corrisponde al  $\cos\phi$  precedente ed al numero di ore calcolato.

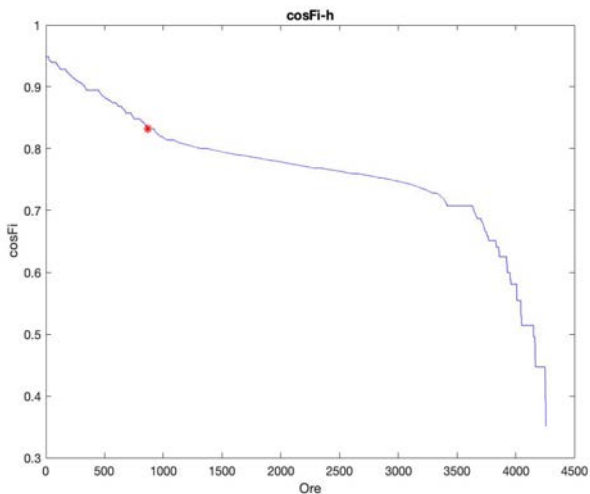


Figura 2.19: Grafico  $\cos\phi$ -h.

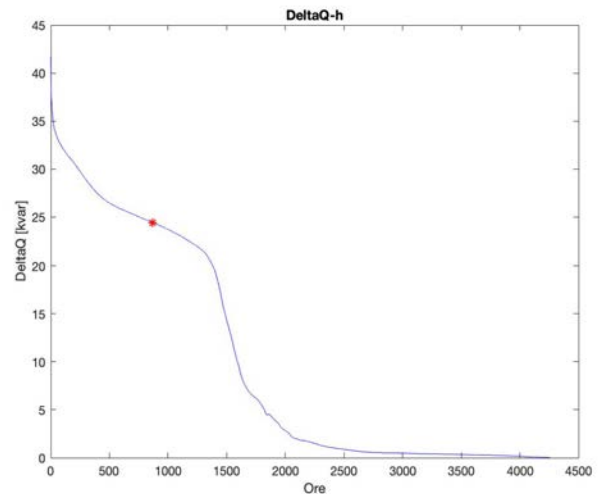


Figura 2.20: Grafico  $\Delta Q$ -h.

I grafici ottenuti, riportati come esempio fanno riferimento ad un caso studio non inerente al settore plastico, in quanto, l'azienda su cui valutare il rifasamento non ha messo a disposizione i dati quart'orari.

Il codice completo è riportato nell'Appendice 1.

#### 2.5.4 Re-Lamping Illuminazione

L'impianto di illuminazione può contare, a partire dagli anni '90 del secolo scorso, su sorgenti luminose molto efficienti e su sistemi di controllo in grado di fornire un servizio puntuale ed efficace a costi ridotti.

Efficientare l'impianto di illuminazione comporta sempre il risparmio di energia elettrica, il vettore energetico più prezioso, e ciò aumenta le probabilità di conseguire VAN positivi.

L'efficienza dell'impianto di illuminazione aumenta installando sorgenti luminose di miglior efficienza, adottando corpi illuminanti di miglior rendimento ottico, incrementando il fattore di utilizzazione (ad esempio ritinteggiando le pareti) e rendendo più frequenti le operazioni di manutenzione.

Aumentando l'efficienza si ottengono i seguenti benefici: minor ritiro di energia, minor impegno di potenza e rallentamento nel rinnovo del parco lampade. [32]

### 2.5.5 Valutazione Perdite di Aria Compressa

L'impianto di compressione-distribuzione dell'aria compressa costituisce un'area tra le più promettenti per il risparmio energetico di un qualunque contesto produttivo o del terziario, poiché l'impiantistica connessa assorbe normalmente una quota importante dell'energia elettrica globalmente ritirata.

Nelle aziende industriali, l'aria compressa ha ormai assunto lo status di "quarta *utility*" dopo energia elettrica, gas naturale ed acqua. In effetti il suo uso induce una serie di indubbi vantaggi: è un vettore pulito, disponibile in tempi rapidi, di facile utilizzo, affidabile e sicuro. Di converso, presenta dei costi di produzione elevati, spesso non conosciuti dal management aziendale.

L'impianto di aria compressa è considerato poco "critico" perché tratta aria liberamente disponibile in natura, mentre è uno degli impianti più trascurati e con minore efficienza all'interno di un'azienda industriale, e come tale in grado di liberare grandi potenziali di risparmio.

Le perdite nella rete di distribuzione vanno minimizzate. Una perdita è una sicura Fonte di spreco energetico ed economico. Gli ordini di grandezza delle dispersioni energetiche dovute alle perdite, per una rete a 7 bar sono riassunti nella Tabella 2.6.

Diametro del foro [mm]	Portata di aria in uscita alla pressione di 7 bar [l/s]	Potenza del compressore dispersa [kW]
1	1,2	0,4
3	11,1	4,0
5	31,0	10,8
10	124,0	43,0

Tabella 2.6: Perdite di Aria Compressa secondo il diametro del foro di uscita. (Fonte: Energy Management. Fondamenti per la valutazione, la pianificazione e il controllo dell'efficienza energetica, Nino di Franco, FrancoAngeli)

Se per esempio sulla tubazione di aria compressa è presente un foro di 3 mm di diametro, o se le zone di perdita hanno superficie totale equivalente a 3 mm di diametro, e il compressore è inserito per 5400 ore l'anno, la perdita economica, con un costo dell'energia di 0,2 €/kWh, è di circa:

$$4,0 * 5400 * 0,2 = 4320 \text{ €/anno}$$

Per misurare l'entità delle perdite sulla rete di distribuzione si può effettuare un controllo strumentale oppure prove semplificate. Il controllo strumentale avviene con l'uso di sensoristica dedicata: ogni perdita di aria compressa genera uno spettro sonoro caratteristico, che una sonda selettiva sensibile agli ultrasuoni è in grado di individuare. [32]

## 2.5.6 Indicatori Economici

La valutazione economica degli interventi proposti è basata sui seguenti indicatori:

- Risparmio energetico previsto: è la valutazione monetaria del risparmio generato dall'investimento.
- Investimento iniziale ( $I_0$ ): è l'esborso di cassa necessario per poter realizzare l'intervento di efficientamento energetico, quindi il costo complessivo da sostenere al tempo zero per innescare gli  $n$  flussi di cassa.
- Tempo di ritorno semplice (TR): indica in quanto tempo rientra l'investimento iniziale  $I_0$ , considerando un flusso di cassa entrante costante detto Disponibilità ( $D$ ). Viene espresso in anni, e si calcola come:

$$TR = \frac{I_0}{D} \quad [\text{anni}]$$

*Equazione 2.10*

Questa metodologia risulta essere semplice e veloce, ed il risultato ottenuto è significativo in quanto misura del rischio dell'investimento. Per contro, non tiene conto delle disponibilità di cassa seguenti al recupero dell'investimento e non viene considerato il valore del tempo.

- Tasso di attualizzazione ( $i$ ): è quel tasso d'interesse da impiegare per trasferire al tempo 0, un capitale finanziario esigibile ad una certa data futura, in modo che quel capitale esigibile oggi sia finanziariamente equivalente al capitale esigibile in data futura, e viene calcolato come:

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+i)^j} = \sum_{j=1}^n \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad [\%]$$

*Equazione 2.11*

- Vita utile: la vita utile dell'investimento indica il numero  $n$  di anni per i quali si presume che l'investimento rimanga "vitale", cioè produca reddito. È determinato come il minimo valore tra la vita fisica, cioè il tempo al termine della quale la produzione di reddito cessa per usura degli impianti, e la vita tecnica che indica il tempo necessario all'arrivo sul mercato di tecnologie più efficienti che rendono obsoleta la tecnologia in esame, la quale quindi risulta non essere più economicamente valida.
- Flusso di cassa annuo: è la disponibilità monetaria annua generata dall'investimento.
- Valore Attuale Netto (VAN): è un metodo di calcolo geometrico tramite cui si definisce il valore di una serie attesa di flussi di cassa non solo sommandoli contabilmente ma anche attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento. Il VAN tiene conto del costo-opportunità, cioè delle mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse, e viene calcolato in questo modo:

$$VAN = - \sum_{j=1}^n I_j (1 + a)^{-j} + \sum_{j=1}^n D_j (1 + i)^j \quad [€]$$

*Equazione 2.12*

Se l'investimento ( $I_j$ ) avviene tutto in un solo momento, al tempo  $t=0$  si ottiene il valore dell'investimento iniziale  $I_0$ , quindi il calcolo del VAN si semplifica e può essere determinato con l'equazione:

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n D_j (1 + i)^j \quad [€]$$

*Equazione 2.13*

- Tasso interno di rendimento (TIR): è un indice di redditività finanziaria di un flusso monetario. Nel caso più comune di un investimento, rappresenta il tasso composto annuale di ritorno effettivo che questo genera, in termini tecnici, quindi, rappresenta il rendimento di un investimento. Matematicamente, il TIR è definito come il tasso di attualizzazione  $i$ , compreso nell'intervallo  $(-1, +\infty)$ , che annulla il valore attuale netto di una serie di flussi di cassa. Per cui, il TIR si calcola risolvendo l'equazione del VAN con  $i$  tale che il valore del VAN sia pari a zero.



$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^n D_j(1+i)^j = 0 \quad [\%]$$

*Equazione 2.14*

Un progetto di investimento risulta desiderabile, secondo tale criterio, qualora il TIR risulti superiore al costo opportunità del capitale, oppure di un altro tasso preso a riferimento.

- **Indice di Profitto:** nella realizzazione di una serie di interventi riconosciuti convenienti, quindi con  $VAN > 0$ , si riscontrano in genere due tipi di criticità: una limitazione nell'“ampiezza” di intervento ed una limitazione nel capitale. L'indicatore di convenienza da utilizzare è diverso nei due casi, appunto l'indice di profitto può essere determinato utilizzando:

$$IP = \frac{VAN}{I_0} = \frac{\sum_{j=1}^n D_j(1+i)^{-j}}{I_0}$$

*Equazione 2.15*

Negli interventi che saranno valutati di seguito, sono stati seguiti due approcci per la valutazione economica: un primo metodo che ipotizza un costo iniziale dell'investimento e ricava di conseguenza gli altri indicatori. Il secondo metodo prevede invece di considerare un tempo di ritorno semplice dell'investimento fissato e ritenuto accettabile dall'azienda da cui si ricava l'investimento iniziale ammissibile per il dato intervento. [33]



## 3 Best Practices

---

In questo capitolo, verranno trattate le migliori pratiche adottabili per l'efficienza energetica, ricavate dalla letteratura per il settore plastico.

Lo scopo è quello di redare un elenco dettagliato, che fornisca un approccio pratico e strutturato per migliorare l'efficienza energetica durante la lavorazione delle materie plastiche.

Con il termine “*Best Practice*”, si indica un metodo o una tecnica che ha sempre mostrato risultati migliori a quelli che si otterrebbero con altri mezzi, e che viene quindi utilizzato come *benchmark*. Queste buone pratiche sono ricavabili principalmente da articoli scientifici, pubblicazioni da parte di enti internazionali e/o organizzazioni di settore, oppure dalla consultazione di banche dati online.

Precedentemente, è stato spiegato che per confrontare la prestazione energetica di un processo industriale o di un'attività, si confronta il rispettivo indicatore di prestazione con il dato ricavabile dalla letteratura.

Nel caso in cui tale valore sia inferiore rispetto a quello disponibile, questo diventa l'obiettivo di miglioramento da raggiungere mediante un intervento di efficientamento energetico.

La letteratura disponibile per il settore plastico risulta ampia ma relativamente datata o poco specifica per quanto riguarda gli indici di prestazione.

Prima di poter iniziare a ridurre i costi energetici, è essenziale individuare dove, quando e come viene utilizzata l'energia.

La lavorazione delle materie plastiche implica un ciclo di richiesta di energia, tuttavia molte organizzazioni non sono pienamente consapevoli di quando questa viene utilizzata, e della differenza tra l'energia utilizzata per l'attività principale, servizi generali ed ausiliari.

Per comprendere il modello di consumo energetico all'interno di un'azienda è necessario tracciare l'utilizzo di energia a intervalli durante l'intera giornata, per valutare criticamente dove e quando viene utilizzata energia, individuando il carico di base ed il carico variabile precedentemente definiti.

In particolare, nella lavorazione delle materie plastiche, alcune apparecchiature devono essere pronte per funzionare quando viene avviata la linea di produzione, pertanto vengono attivate in anticipo; allo stesso modo, quando una linea di produzione viene arrestata, può trascorrere un periodo di tempo finito prima che la macchina venga spenta. In entrambi i casi, l'apparecchiatura sta consumando energia senza produrre nulla.

La lavorazione alle alte temperature comporta una certa quantità di preriscaldamento per garantire che i componenti siano alla temperatura richiesta prima dell'inizio del processo. Questo periodo di preparazione è spesso più lungo del necessario per ridurre il rischio di una partenza a freddo.

Si deve inoltre tenere presente che il consumo di energia non è sempre determinato dalla sola produzione, ma altri fattori, come il clima, possono incidere su di esso. Ad esempio, sarà necessaria più energia per il riscaldamento dell'ambiente in una giornata invernale, o per il raffreddamento delle macchine in una giornata estiva.

Inoltre, bisogna considerare i livelli ed il mix di produzione, il livello degli scarti, la manutenzione e la qualità delle materie prime.

Si individuano poi i principali utilizzatori di energia in questo settore, che risultano essere:

- Motori, utilizzati per far funzionare le macchine.
- Essiccatori, utilizzati per il processo di riscaldamento del materiale plastico prima della lavorazione.
- Sistemi di raffreddamento che devono rimuovere in modo controllato tutta l'energia utilizzata per fondere il polimero.
- Sistemi di illuminazione che svolgono un ruolo fondamentale nel consentire alle persone di lavorare in modo sicuro ed efficiente.

Mediante una specifica indagine sul sito considerato è possibile ottenere una visione d'insieme del consumo energetico e stabilire obiettivi e priorità per il futuro miglioramento.

In particolare, si andranno ad individuare i motori e le macchine lasciate in funzione ma non in produzione; le linee che vengono arrestate ma dove continuano a funzionare le apparecchiature ausiliarie; i motori di taglia troppo elevata per una determinata applicazione; altri aspetti come l'isolamento termico, la corretta temperatura di refrigerazione, la possibilità di installare variatori di velocità e le varie perdite di vapore, aria o acqua.

Infine, si andranno a calcolare gli indicatori di prestazione come mostrato nel capitolo precedente e ad effettuare un'operazione di *benchmarking* delle prestazioni. [23]

Come si potrà constatare dallo studio dei casi pratici, le soluzioni tecniche da sole raramente sono sufficienti. Senza l'impegno costante della forza lavoro, è improbabile che anche il programma di gestione energetica più attentamente pianificato abbia successo. Di conseguenza, motivare e formare il personale nella consapevolezza energetica dovrebbe essere una priorità in qualsiasi programma di gestione dell'energia. [20]

### 3.1 Stampaggio a Iniezione

Nel presente paragrafo, verranno analizzate le *Best Practices* presenti in letteratura inerenti al processo di stampaggio a iniezione.

Come anticipato nel paragrafo dedicato a questo processo, l'utilizzo di energia nello stampaggio a iniezione può essere suddiviso in due fasi: un fabbisogno energetico elevato in un breve periodo di tempo quando il polimero viene iniettato e il pezzo viene espulso, e una richiesta ridotta per un lungo periodo di tempo quando il polimero precedentemente iniettato si raffredda e solidifica.

L'energia non è richiesta solamente per fondere il polimero e successivamente raffreddarlo, ma anche per generare la pressione necessaria a forzare il polimero nello stampo.

Inoltre, viene utilizzata energia anche per aprire, chiudere e tenere in pressione lo stampo mentre il pezzo si raffredda.

In un impianto di stampaggio a iniezione che non adotta misure efficaci per ridurre il consumo energetico, circa il 30% del consumo totale è discrezionale. [34]

Oltre il 90% dei costi energetici nello stampaggio a iniezione è rappresentato dall'elettricità. Ciò rende l'acquisto di energia elettrica molto importante per queste macchine e il costo può essere significativamente ridotto grazie a buoni controlli operativi e di acquisto. Solo il 5-10% dell'energia totale utilizzata nel processo viene effettivamente immesso nel polimero, mentre il restante 90-95% viene utilizzato semplicemente per azionare la macchina, pertanto si possono realizzare notevoli risparmi.

Era stato inoltre indicato che la potenza richiesta dipende da molti fattori, quali il design, le dimensioni e la complessità dello stampo, l'utilizzo di apparecchiature ausiliarie come i termoregolatori, il tipo di materiale plastico utilizzato (in particolare dipende dalla temperatura di fusione del materiale) e il tempo di ciclo, che indica il tempo durante il quale la pompa idraulica o il motore elettrico sono in funzione.

Per iniziare a ridurre il consumo energetico della macchina è importante osservare dove viene utilizzata maggiormente l'energia.

La maggior parte di energia consumata dalla macchina è dovuta ai termoregolatori e alla trasmissione elettrica. Il resto viene assorbito dalle periferiche e dai macchinari in cui il consumo dipende dalla quantità e dal tipo di prodotto lavorato.

Di seguito vengono presentati le migliori soluzioni per questo tipo di processo.

### **3.1.1 Macchine Idrauliche e Macchine Elettriche**

Il costo iniziale di una macchina per lo stampaggio è inferiore al costo dell'energia utilizzata durante il suo ciclo di vita, e questo costo sarà tanto maggiore quanto meno efficiente risulterà tale macchina dal punto di vista energetico.

Le macchine più efficienti consentono di risparmiare denaro a lungo termine, pertanto il prezzo iniziale di acquisto non deve costituire il fattore dominante nel processo decisionale.

Anche se inizialmente potrebbe costare di più, l'efficienza energetica permetterà di risparmiare denaro a lungo termine.

Le presse idrauliche, azionate da un motore idraulico, sono caratterizzate dalla pompa presente al loro interno che pressando l'olio motore genera forza in superficie facendo girare il motore e spostando il carico. L'elemento più importante all'interno della pressa è costituito dall'olio motore che genera energia, asporta il calore e lubrifica i componenti riducendo gli attriti.

Il ruolo fondamentale nella pressa idraulica dell'olio motore condiziona anche il costo della manutenzione che incide a sua volta anche sui costi di produzione.

Gli azionamenti idraulici richiedono normalmente un funzionamento continuo con minimi avvii e arresti che rendono difficile migliorare il risparmio energetico.

Anche in fase di raffreddamento la pressione dell'olio deve essere massima per mantenere bloccati i due stampi. La centralina elettrica collegata al motore della pressa lavora in ogni fase del processo alla massima potenza.

Il controllo della macchina risulta vulnerabile alla temperatura del fluido idraulico, inoltre il flusso idraulico e la pressione richiesta variano in tutto il ciclo, e in molti casi, il fluido in eccesso viene rimandato al serbatoio, sprecando energia del motore e aumentando il carico del sistema di raffreddamento.

Le presse elettriche invece sono azionate da un motore elettrico che converte l'energia elettrica fornita dalla rete in energia meccanica, pertanto la potenza erogata è massima solamente nelle fasi di apertura e chiusura dello stampo e di iniezione, mentre il consumo risulta quasi nullo durante le altre fasi.

Queste macchine hanno il potenziale per ridurre il consumo di energia tra il 30 e il 60% a seconda dello stampo utilizzato. Non richiedono un sistema idraulico perché tutto il fabbisogno di energia è soddisfatto dalla trasmissione elettrica, eliminando così la necessità di raffreddare l'olio idraulico.

Presentano inoltre un minore consumo energetico in fase di partenza, riducendo quindi la richiesta massima.

I vantaggi principali di una macchina totalmente elettrica sono:

- Risparmio energetico del 50%.
- Eliminazione dei costi di manutenzione dell'olio.
- Efficienza della produzione.
- Riduzione della rumorosità e del tempo di ciclo.

Per contro, si ha un costo più elevato per l'investimento e per la manutenzione straordinaria, e le potenze sono minori rispetto a quelle che caratterizzano le presse idrauliche. [35]

Esistono anche macchine ibride che utilizzano sia servomotori che pompe idrauliche.

La configurazione più comune utilizza le pompe idrauliche per il serraggio e i servomotori per i movimenti della vite.

Queste sono generalmente più economiche rispetto alle macchine totalmente elettriche, tuttavia non sono altrettanto efficienti dal punto di vista energetico e di rumorosità.

Oltre alla scelta della macchina, è fondamentale prestare attenzione a come questa viene utilizzata: ad esempio, l'utilizzo di macchine di grandi dimensioni per piccoli prodotti è intrinsecamente inutile.

L'efficienza totale diminuisce man mano che le condizioni operative si allontanano dalle condizioni di progetto.

Avviare più macchine contemporaneamente aumenterà la richiesta massima ed il costo dell'energia. Inoltre, le macchine utilizzano energia anche quando funzionano al minimo carico, e la quantità varia a seconda della macchina, dal 52% al 97,5% del totale consumo di stampaggio.

Il carico operativo si può esaminare analizzando l'assorbimento del macchinario.

Avvalendosi di grafici come quelli riportati in Figura 3.1, è possibile ottimizzare il consumo energetico regolando le impostazioni operative, come le temperature ed il profilo del tamburo, la velocità di iniezione, la contropressione, la forza di serraggio, la pressione di mantenimento, il tempo di permanenza, il tempo di raffreddamento e la velocità di ritorno della vite, conservando la fluidità del processo, il tasso di produzione e la qualità. [34]

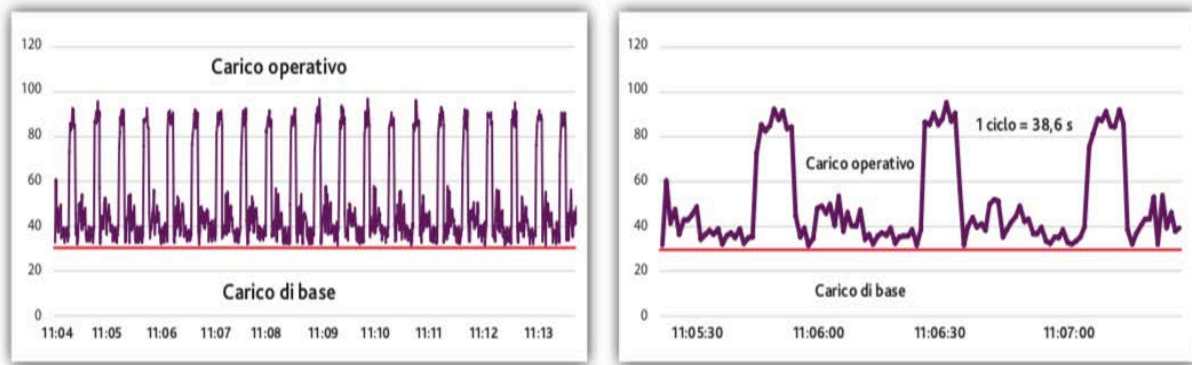


Figura 3.1: Consumo Energetico di un Macchinario per Stampaggio a Iniezione nel Tempo, con un Carico pari al 64% (a sinistra); Vista estesa dell'Assorbimento del Macchinario che mostra le Fasi del Ciclo nei Dettagli (a destra). (Fonte: Una guida al risparmio energetico per il settore dello stampaggio a iniezione, a cura di Mobil)

### 3.1.2 Rivestimenti Isolanti/Termocoperte

Le termocoperte isolanti applicabili ai cilindri delle presse costituiscono un metodo economico per ridurre il consumo di energia ed i costi di gestione degli elementi riscaldati, fino al 50%. Funzionano allo stesso modo dei rivestimenti applicati sui serbatoi di acqua calda sanitaria, riflettendo il calore irradiato verso il cilindro. I vantaggi sono costituiti da:

- Minori tempi di avvio.
- Riduzione del consumo elettrico.
- Riduzione dei picchi e del totale consumo di energia termica misurata.
- Maggiore sicurezza per gli operatori.
- Temperature di esercizio costanti.
- Breve ritorno economico dell'investimento, generalmente tra i 6 e i 12 mesi.

L'applicazione di una termocoperta può portare ad una riduzione della temperatura pari al 50% e ad un risparmio di energia pari al 22%, come si può notare nella Tabella 3.1:

<b>Confronto di un Cilindro di Stampaggio, Con e Senza Termocoperta</b>			
<b>Senza Termocoperta</b>		<b>Con Termocoperta</b>	
kWh consumati	Temperatura del Cilindro °C	kWh consumati	Temperatura del Cilindro °C
33,67	110	26,28	55
<b>Differenza di Temperatura: 50%; Risparmio Energetico: 22%</b>			

Tabella 3.1: Confronto tra un Cilindro Con e Senza Termocoperta. (Fonte: Nickerson Europe Ltd.)



### **3.1.3 Raffreddamento Conforme**

Un aspetto basilare del processo di stampaggio a iniezione consiste nel fatto che il calore proveniente dalla plastica fusa deve essere rimosso dallo stampo prima che il prodotto solidifichi.

Il tempo necessario per realizzare un prodotto è definito dalla velocità con cui gli stampi possono essere aperti e chiusi (tempo di ciclo) e, in genere, la parte più lunga di un ciclo di stampaggio è proprio il raffreddamento.

Infatti, il tempo di raffreddamento del prodotto è generalmente superiore al 50% del tempo di ciclo.

Un raffreddamento efficiente può ridurre notevolmente i tempi di ciclo e l'utilizzo di energia.

Il metodo tradizionale per il raffreddamento degli stampi consiste nel praticare dei fori attraverso il blocco di materiale, per farci scorrere l'acqua all'interno.

Tale metodo risulta molto inefficiente, in quanto l'acqua di raffreddamento non può seguire la forma del prodotto, o cambiare posizione in base alle esigenze di raffreddamento.

Si ottiene in questo modo uno stampo scarsamente raffreddato, che presenta punti caldi e freddi, maggiori sollecitazioni interne al prodotto, tempi di ciclo più lunghi e prodotti deformati o distorti che potrebbero essere fuori tolleranza.

Il raffreddamento conforme consiste nella capacità di creare dei canali di raffreddamento nello stampo che seguono i contorni della cavità del prodotto.

L'obiettivo consiste nel raffreddare la parte rapidamente e in maniera uniforme, ottenendo diminuzioni del tempo di raffreddamento del 20-50%, riducendo il tempo di ciclo e i livelli di scarto, risparmiando sostanzialmente sul costo delle parti stampate.

### **3.1.4 Azionamenti a Velocità Variabile (VSD) - Inverter**

Le macchine idrauliche per lo stampaggio ad iniezione impiegano generalmente pompe di grandi dimensioni per iniettare il materiale, aprire, chiudere e serrare gli stampi, e la forza richiesta dal meccanismo di serraggio varia durante il corso del ciclo di produzione.

Nella maggior parte delle applicazioni, il meccanismo di iniezione/serraggio richiede il pieno carico solamente per una piccola parte del ciclo di produzione, pertanto, per adattare il carico variabile ad un motore a velocità costante, il fluido in eccesso ritorna al serbatoio.

La pompa idraulica preleva solitamente da 1/2 a 3/4 della potenza nominale, bypassando il fluido a basso carico.

Uno dei modi migliori per risparmiare energia nei motori che funzionano con una certa gamma di velocità, consiste nell'utilizzare un azionamento a velocità variabile (*Variable Speed Drive*

- VSD). Un VSD regola la velocità del motore elettrico al fine di soddisfare la richiesta di potenza, ottimizzando il volume del fluido pompato dal sistema idraulico.

L'installazione di un inverter inoltre garantisce i seguenti vantaggi:

- Miglioramento del controllo del processo.
- Possibilità di controllare più motori.
- Rumorosità ridotta e minore perdita di potenza.
- Avvio graduale aumentando progressivamente la velocità operativa del motore.
- Riduzione della domanda di olio idraulico: in questo modo l'olio lavora a temperature inferiori, richiedendo un minor raffreddamento.
- Riduzione dell'usura del motore e dei relativi componenti, che non solo riduce i costi di manutenzione, ma prolunga anche la vita del motore.

Si ricorda che il costo energetico annuale della gestione di un motore può essere fino a 10 volte il costo di acquisto iniziale; l'installazione di un inverter riduce il consumo di energia, i costi energetici e migliora l'efficienza.

Si riporta di seguito il caso di una pressa per iniezione a cui è stato installato un dispositivo VSD.

Materiale	Polipropilene (PP)	Pressione di Serraggio	65 bar	Potenza Massima	55 kW
Peso del Pezzo	457 g	Pressione di Iniezione	110 bar	Forza di Serraggio della Macchina	440 tm

Tabella 3.2: Caratteristiche della Macchina. (Fonte: Maintenance Department of a Thermoplastic Injection Moulding Company)

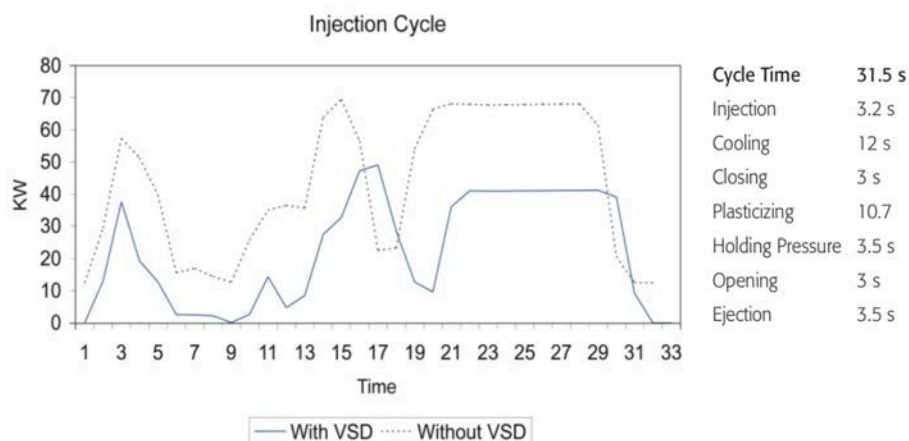


Figura 3.2: Ciclo di Stampaggio a Iniezione per la Macchina Considerata. (Fonte: Maintenance Department of a Thermoplastic Injection Moulding Company)

	Senza VSD	Con VSD
Ore di Misurazione	8	8
Numero di Parti Prodotte	872	839
kWh Consumati	331,2	168,2
Potenza Media [kW]	41,36	21,19

Tabella 3.3: Grandezze Misurate. (Fonte: Maintenance Department of a Thermoplastic Injection Moulding Company)

<b>Analisi dei Costi Annuali</b>	
Costo Medio dell'Energia Elettrica: 0,0782 €/kWh	Ore di Funzionamento Annuale: 4000
Senza VSD	Con VSD
$(331,2 \text{ kWh}/8) * 4000\text{h} * 0,00782 \text{ €/kWh} = 12.950 \text{ €}$	$(168,2 \text{ kWh}/8) * 4000\text{h} * 0,00782 \text{ €/kWh} = 6.577 \text{ €}$
<b>Risparmi Annui: 6.373 € (49,21%)</b>	

Tabella 3.4: Analisi dei Costi e dei Risparmi. (Fonte: Maintenance Department of a Thermoplastic Injection Moulding Company)

<b>Analisi dei Costi del Pezzo</b>	
Senza VSD	Con VSD
331,2 kWh/872 parti = 0,38 kWh/parte	168,2 kWh/839 parti = 0,2 kWh/parte
<b>Risparmio Energetico per Parte: 0,18 kWh/parte (47,22%)</b>	

Tabella 3.5: Analisi dei Costi del Pezzo. (Fonte: Maintenance Department of a Thermoplastic Injection Moulding Company)

### 3.1.5 Buoni Comportamenti per Ridurre il Consumo Energetico

Alcune accortezze e comportamenti corretti da parte degli operatori risultano fondamentali al fine di poter ottimizzare il ciclo di produzione. Ad esempio:

- Controllare i parametri delle macchine per lo stampaggio e delle attrezzature ausiliarie per accertarsi che si mantengano costanti. Le incoerenze possono rappresentare un processo instabile che può portare a prodotti difettosi e ad un maggiore consumo di energia. Per facilitare tale operazione si potrebbe installare un impianto di monitoraggio e *targeting*.
- Verificare che la forza di serraggio non sia superiore a quella richiesta e che il tempo di raffreddamento e la pressione non siano eccessivi.
- Implementare procedure per ridurre gli scarti. Ridurre i livelli di scarto può aiutare a ridurre il consumo energetico.
- Effettuare una manutenzione ordinaria. Alcune parti di scarto possono essere causate da danni o dalla progettazione non corretta dello stampo. Un altro aspetto è rappresentato dalla pulizia degli scambiatori, che se troppo sporchi non riescono a scambiare correttamente il calore per raffreddare l'olio idraulico e gli stampi mandando in allarme la macchina fermando la produzione, aumentando il costo medio per unità prodotta. Verificare ed eliminare le ostruzioni anche temporanee all'afflusso d'aria in entrata nel chiller. Spesso il chiller è posizionato dove si scaricano i pellet di materiale, pertanto bisogna fare attenzione alle polveri che si sollevano nelle vicinanze dei chiller e delle batterie di condensazione o raffreddamento: le ventole di aspirazione potrebbero convogliare lo sporco all'interno delle alette con conseguente grave intasamento, diminuzione dell'efficienza e aumento dei costi dell'energia elettrica.
- Gestire correttamente le risorse. L'erogazione di acqua refrigerata per gli stampi e di fluido refrigerante per i macchinari consuma tra l'11 e il 16% dell'energia totale assorbita da un tipico impianto di stampaggio a iniezione. Lasciare che l'acqua refrigerata acquisisca il calore dell'ambiente o lasciarla circolare attraverso macchinari non operativi è uno spreco di energia. È importante aumentare la temperatura dell'acqua refrigerata quanto più possibile: aumentando la temperatura nominale di 1°C si riducono i costi operativi del refrigeratore del 3% circa. [34]
- Ottimizzare l'essiccazione dei polimeri. Questo processo può richiedere fino al 15% dell'energia totale di lavorazione, pertanto è importante essiccare solamente i materiali che lo richiedono, conservarli in maniera corretta e migliorare i sistemi di controllo,

sostituendo la verifica di temperatura/tempo o del punto di condensa dell'aria nel processo con sistemi in grado di controllare l'umidità contenuta nel materiale. [34]

- Utilizzare macchine adatte al materiale che si sta lavorando. I materiali sono caratterizzati da diverse proprietà, pertanto la macchina risulterà più performante trattando il materiale adatto.

Quando si considera il materiale inoltre, bisogna tenere conto delle dimensioni delle particelle e del contenuto di umidità. Un polimero più rigido è più difficile da lavorare e richiede più energia, quindi maggiore lavoro meccanico che deve essere dissipato come calore aggiuntivo nella macchina, aumentando la domanda che incide sul sistema di raffreddamento.

- Si consiglia inoltre, dove possibile, di utilizzare fonti di energia rinnovabili, mediante impianti fotovoltaici o impianti di co/trigenerazione.

## 3.2 Estrusione

Il presente paragrafo tratta le *Best Practices* per l'efficienza energetica del processo di estrusione.

Tale processo utilizza energia elettrica in motori, apparecchiature ausiliarie alla linea di estrusione, ed *utilities* generali come acqua di raffreddamento, vuoto o aria compressa e illuminazione.

Come anticipato, il primo passo da effettuare per implementare un programma di efficientamento energetico è quello di rilevare dove, quando, perché e quanta energia viene consumata, individuando le aree con il carico maggiore, constatando eventuali inattività degli estrusori, valutando gli isolamenti termici, le perdite di aria compressa, acqua o vapore.

L'estrusione non è solo un processo di formatura finale per i prodotti, ma è anche un processo intermedio per altre tecniche di lavorazione come stampaggio a iniezione e soffiaggio. [24]

In qualsiasi processo di estrusione, l'efficienza della vite di estrusione è essenziale per ottenere una buona produzione, sia in termini di quantità che di qualità.

Per l'estrusione del profilo, l'energia utilizzata per azionare l'estrusore stesso è pari al 50% del totale e l'energia rimanente viene utilizzata per elementi come ausiliari ed *utilities*. Le indagini del settore mostrano che un'azienda tipica dovrebbe essere in grado di ridurre il consumo di energia del 10% senza importanti esborsi di capitale.

### 3.2.1 L'Estrusore

Il costo iniziale di una macchina efficiente dal punto di vista energetico potrebbe risultare più elevato, ma essa fornirà rapidi ritorni sull'investimento extra. Opzioni quali motori AC ad alta efficienza e azionamenti a velocità variabile VSD offrono un buon recupero sia per nuovi acquisti che per sostituzione di vecchie macchine.

Qualunque sia l'età del macchinario, è essenziale ottenere l'estrusore corretto per il lavoro svolto, e il diametro e il design della vite devono essere controllati per assicurarsi che siano adatti al polimero utilizzato.

L'efficienza totale (compresa l'efficienza energetica) è migliore nelle condizioni di progettazione: è importante impostare l'estrusore in modo che funzioni alla velocità più efficiente (solitamente la massima di progetto). L'utilizzo di grandi macchine per piccoli profili è uno spreco, e un motore di grandi dimensioni che lavora a carico parziale è meno efficiente di una macchina più piccola che lavora a pieno carico.

Per massimizzare la velocità dell'estrusore è fondamentale dimensionare e controllare che il motore elettrico corrisponda alla coppia richiesta dalla vite, riducendo al minimo la quantità di energia elettrica necessaria.

### **3.2.2 Estrusione di Film Piano**

Il punto di maggior consumo per questo processo produttivo è costituito dall'acqua di raffreddamento per la refrigerazione della zona di alimentazione dell'estrusore: è importante ottimizzare e controllare la quantità e la temperatura dell'acqua per ottenere la massima efficienza.

Il consumo di energia può essere significativamente ridotto impostando la temperatura della matrice al minimo possibile, garantendo tuttavia un flusso di materiale fuso uniforme.

Inoltre, si deve ottimizzare il sistema di circolazione dell'acqua per impostare la temperatura più adatta per i rulli durante la lavorazione, ed accertarsi che i motori e gli altri dispositivi siano dimensionati per adattarsi correttamente alla capacità dell'estrusore.

### **3.2.3 Estrusione di Film Soffiato**

Come per l'estrusione di film piano, anche per il film soffiato, è importante ottimizzare e controllare la quantità e la temperatura dell'acqua di raffreddamento della zona di alimentazione dell'estrusore, la temperatura della matrice e quella dei rulli, e il dimensionamento dei motori.

Accorgimenti aggiuntivi sono relativi all'alimentazione dell'aria compressa che può rappresentare il più costoso input di produzione in questo tipo di lavorazione. È possibile risparmiare andando a valutare le perdite e la pressione che deve essere impostata al minimo richiesto.

Bisogna inoltre mantenere una buona ventilazione nella zona superiore dell'avvolgitore per raffreddare la ventola.

### **3.2.4 Estrusione di Profili**

Come nei casi precedenti, si devono controllare la temperatura dell'acqua di raffreddamento e della matrice, ma anche la temperatura dell'acqua necessaria al raffreddamento del profilo.

### **3.2.5 Buoni Comportamenti per Ridurre il Consumo Energetico**

Come per il processo di stampaggio a iniezione, per tutti i settori della lavorazione della plastica, il corretto comportamento e l'attenzione all'efficienza energetica da parte degli operatori, è fondamentale per migliorare l'efficienza energetica complessiva.

Per questo specifico settore, è necessario:

- Selezionare l'estrusore giusto per il lavoro, scegliendo il rapporto lunghezza/diametro e il design della vite corretti. L'utilizzo di estrusori di grandi dimensioni per piccoli stampi è altamente inefficiente.
- Ottimizzare i parametri dell'estrusore, impostandoli correttamente in modo che lavori alla massima efficienza. Dimensionare inoltre correttamente il motore elettrico in modo che corrisponda alla coppia richiesta dalla vite.
- Assicurarsi che il cilindro di estrusione sia correttamente isolato e mantenere al minimo la temperatura del materiale fuso.
- Effettuare manutenzione periodica, sia degli estrusori che degli impianti di riscaldamento e raffreddamento.
- Se possibile, spegnere i riscaldatori dei cilindri e i ventilatori di raffreddamento tra una produzione e l'altra. Spegnere le apparecchiature ausiliarie quando l'estrusore non funziona.



### 3.3 Soffiaggio

Come anticipato nei capitoli precedenti, il processo di soffiaggio è utilizzato per fabbricare oggetti cavi come ad esempio contenitori, bottiglie, flaconi, vasetti, taniche e simili.

Le aziende che operano in questo settore possono migliorare la loro competitività, produttività e profitti adottando misure che rendano i loro processi industriali e le apparecchiature più efficienti dal punto di vista energetico. Ci sono molte funzioni della macchina che influenzano l'utilizzo di energia durante il soffiaggio, e l'identificazione di queste permetterà di individuare opportunità per ridurre i consumi

#### 3.3.1 Principali Soluzioni per il Risparmio Energetico

Di seguito vengono riportati i parametri, gli accorgimenti e i buoni comportamenti da considerare per efficientare il processo di soffiaggio:

- Temperatura del fuso polimerico: il calore del cilindro si combina con il taglio meccanico della vite dell'estrusore per aumentare la temperatura e ammorbidire il polimero. Tale processo deve essere ottimizzato per garantire che il polimero lasci lo stampo nello stato corretto e nel tempo più efficiente possibile.
- Controllare lo spessore della parte plastica regolando lo stampo e distribuendo il polimero in modo uniforme. Questo può portare a tempi di raffreddamento più brevi e ad una riduzione della quantità di polimero utilizzata.
- Chiusura dello stampo: i cilindri idraulici chiudono lo stampo e lo mantengono chiuso vincendo la pressione di soffiaggio. Si deve verificare che la forza idraulica non sia superiore a quella richiesta perché si tratta di uno spreco di energia.  
Si deve inoltre disporre di un set completo di parti accessorie per ogni stampo in modo da ridurre al minimo i tempi di inattività.
- Raffreddamento del prodotto: il calore trasferito al polimero all'interno del cilindro o dello stampo deve essere rimosso quando il pezzo lascia lo stampo. La velocità di raffreddamento dipende dalla velocità di trasferimento del calore tra il fluido di raffreddamento e lo stampo, e tra lo stampo e il prodotto. L'acqua presenta una velocità di trasferimento del calore superiore a quella dell'aria e le bolle d'aria all'interno del sistema possono ridurre l'efficienza di raffreddamento. Si raccomanda di sigillare e pressurizzare il sistema per evitare che le bolle d'aria rimangano intrappolate.  
La capacità di raffreddamento è generalmente il fattore determinante della velocità del processo di soffiaggio. Il tempo di raffreddamento del prodotto di solito supera la metà

del tempo di ciclo della macchina. Un buon contatto tra l'acqua di raffreddamento e i canali dello stampo è essenziale: il sistema di raffreddamento risulterà ottimizzato quando la differenza di temperatura tra l'acqua in entrata e in uscita non è superiore a 5°C. Se possibile conviene sfruttare il *free cooling*.

- Rifilatura del prodotto: riciclare i tagli delle parti evita sprechi inutili. La quantità ri-granulata varia da meno del 10% a quasi l'80%. La ri-granulazione dovrebbe essere eseguita *off-line* (di notte) in modo da minimizzare i costi energetici, solamente dopo aver ridotto al minimo la produzione di scarti. [24]
- Aria compressa per il supporto e il soffiaggio del *parison*<sup>33</sup>: l'aria viene solitamente rilasciata a bassa pressione al centro dello stampo di estrusione per garantire che il *parison* rimanga tubolare e non collasi. L'ugello di soffiaggio principale viene inserito quando lo stampo si chiude e poi espande il *parison* utilizzando aria compressa a circa 6-10 bar per serbatoi di grandi dimensioni e fino a 40 bar per bottiglie di PET. L'utilizzo di pressioni inutilmente alte costituisce uno spreco ed è costoso da gestire. Oltre il 60% del costo energetico per lo stiro-soffiaggio può essere attribuito al sistema di aria compressa. L'utilizzo economico dipende sostanzialmente da tre fattori: selezionare il tipo e le dimensioni corrette del compressore o della pompa in base ai livelli di utilizzo previsti; operare alla pressione appropriata; effettuare rigorose procedure di manutenzione.
- Impostazione dei parametri della macchina: grazie ai sistemi di controllo, è possibile impostare correttamente i parametri di lavoro. Il controllo dello spessore della parte può essere controllato regolando l'apertura dello stampo, assicurando che il peso del contenitore sia ottimizzato. Il controllo della lunghezza del *parison* assicura che gli scarti siano ridotti al minimo e che il polimero non venga estruso inutilmente, con conseguente spreco di energia.
- Controllo dei parametri di processo: il controllo di questi parametri può generare il massimo risparmio energetico. Le buone pratiche richiedono che venga utilizzata solamente una quantità sufficiente di energia per ogni fase di lavoro. La consapevolezza della necessità di raggiungere tempi di ciclo prefissati è spesso compensata dall'incapacità di determinare come i parametri possono essere regolati per renderlo possibile.

---

<sup>33</sup> Si veda il paragrafo **2.3.3 Soffiaggio**.

## 3.4 Altri Processi

In questo paragrafo verranno brevemente analizzati i restanti processi di lavorazione della plastica.

### 3.4.1 Stampaggio a Rotazione (Rotomoulding)

Lo stampaggio a rotazione è un particolare processo utilizzato per la produzione di prodotti cavi senza stress. Esso consiste nella lenta rotazione, riscaldamento e fusione di una polvere termoplastica all'interno di uno stampo rotante biassiale, che viene poi raffreddato.

È un processo caratterizzato da uno scarso spreco di materiale perché tutta la plastica collocata nello stampo viene utilizzata.

Questo processo è unico tra quelli di stampaggio della plastica perché il riscaldamento, la formatura e il raffreddamento del polimero avvengono tutti all'interno dello stampo, senza l'applicazione di pressione.

Si dice tempo di induzione il tempo impiegato per scaldare lo stampo ed il pellet plastico. Questo dipende dalla modalità di riscaldamento, dalla temperatura di fusione del polimero e dalla conducibilità termica del materiale dello stampo.

Si dice invece tempo di fusione il tempo necessario affinché la plastica si fonda sulla parete dello stampo e formi la parte. Esso dipende dallo spessore della parete, dalla conducibilità termica e dalla diffusività della plastica e dello stampo, e dalla temperatura impostata.

Questo processo è l'unico in cui lo stampo e la plastica devono essere riscaldati dalla temperatura ambiente fino a oltre 200°C.

Questa fase risulta particolarmente lunga se si utilizza il convenzionale riscaldamento a convezione in quanto il polimero è un conduttore scadente. Una buona progettazione della camera di convezione può far risparmiare fino al 50% dei costi di riscaldamento.

Per migliorare ulteriormente il trasferimento di calore si potrebbero utilizzare fiamme a gas aperte, forni a ricircolo d'aria calda, sistemi di stampaggio ad olio caldo, IR e conduzione elettrica (che utilizza il 5% dell'energia utilizzata nel riscaldamento per convezione).

Per comodità e pulizia il metodo più comune è il forno a ricircolo d'aria, anche se gli studi hanno dimostrato che questi forni sono spesso inefficienti e presentano un tempo di riscaldamento prolungato.

Di seguito sono riportati alcuni consigli per migliorare l'efficienza energetica del processo:

- Buona pulizia: una buona manutenzione aiuta a garantire un funzionamento efficiente e affidabile oltre ad essere essenziale per evitare sprechi di energia e spesso non costa

nulla. Ogni dipendente può contribuire al risparmio energetico, in particolare attraverso l'attenzione ai problemi di pulizia.

- Miglioramento delle attrezzature: le perdite energetiche possono derivare da progetti che non incorporano specifiche di efficienza energetica come il recupero del calore, operazioni che si basano su metodi inefficienti e un programma di manutenzione scadente.
- Miglioramento del processo: Il processo di *rotomoulding* non possiede un controllo di temperatura dello stampo di base e dipende in gran parte dal tempo e dalla temperatura del forno. Poiché la qualità e le proprietà di una parte stampata a rotazione sono fortemente influenzate dalla temperatura di lavorazione, è importante considerare la temperatura dello stampo quando si cerca di ottimizzare il processo.
- Materiali: oltre l'80% delle parti stampate sono realizzate in PE. Il polietilene metallocene offre opportunità per questo processo, e gli studi hanno dimostrato che il suo utilizzo porta a tempi di ciclo ridotti, minori consumi energetici e una finestra di elaborazione più ampia.

La dimensione e la distribuzione delle particelle inoltre è importante: una minore distribuzione riduce i tempi di ciclo grazie alla fusione più rapida e alla riduzione di formazione di bolle.

- Riscaldamento e raffreddamento: il riscaldamento dell'olio e il raffreddamento dello stampo offrono tempi di ciclo ridotti e un'efficienza termica molto più elevata. Un'area importante per la progettazione e lo sviluppo riguarda il riscaldamento dell'olio che scorre attorno allo stampo. Questo design ha il potenziale per consentire un controllo ravvicinato delle velocità di riscaldamento e della temperatura dell'olio in diverse aree dello stampo, riducendo in modo significativo sia la quantità di energia termica utilizzata che il tempo di ciclo.
- Reinvestire: i nuovi macchinari sono più efficienti dal punto di vista energetico.

### 3.4.2 Stampaggio a Compressione

Il processo consiste nel riscaldare un materiale plastico, che può essere inserito sotto forma di granuli o polvere, in uno stampo che viene mantenuto in una pressa. Quando il materiale diventa "plastico", la pressione lo costringe a conformarsi alla forma dello stampo. È un metodo ad alto volume ed alta pressione adatto per lo stampaggio di rinforzi in fibra di vetro complessi e ad alta resistenza. I prodotti realizzati mediante stampaggio a compressione includono tappi di bottiglia, chiusure di vasi, prese elettriche, sedili e vaschette per WC.

Al fine di ridurre il consumo ed i costi energetici, aumentare la produttività e migliorare la competitività aziendale, le organizzazioni dovrebbero concentrarsi sull'ottimizzazione del processo produttivo secondo le seguenti linee guida:

- Unità di controllo: Durante la lavorazione del polimero, il sistema di controllo deve soddisfare i requisiti di sicurezza per proteggere l'operatore dalla chiusura inaspettata della pressa. Il controllo del processo è necessario per un funzionamento efficiente, in particolare l'allineamento delle componenti dello stampo.
- Trasmissione idraulica: La potenza idraulica viene normalmente generata in un alimentatore per garantire un preciso coordinamento e ripetizione dei movimenti della macchina. Nella maggior parte dei casi sono necessarie unità idrauliche separate per le apparecchiature periferiche aggiuntive, comprese le viti dell'estrusore. La stabilità viene mantenuta dal controllo della temperatura del fluido idraulico, tramite uno scambiatore di calore collegato a un sistema di acqua di raffreddamento che offre un'opportunità per il recupero del calore.
- Sistema di riscaldamento e raffreddamento: esso fornisce in maniera controllata l'olio termico che scorre attraverso lo stampo e riscalda o raffredda lo stampo e il prodotto. L'efficienza del sistema ha un effetto importante sul tempo di processo complessivo e sull'energia consumata.

Quando si cerca di ridurre il consumo di energia, è possibile considerare l'utilizzo di una struttura di stoccaggio a pendolo piuttosto che un sistema diretto, in caso di lunghi tempi di ciclo e stampi di grandi dimensioni. Il principio funzionante di questo sistema è mostrato nella Figura 4.3.

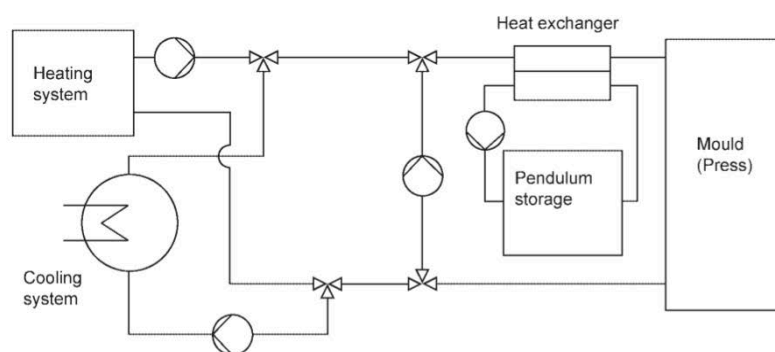


Figura 3.3: Stoccaggio a Pendolo. (Fonte: *Low Energy Plastic Processing: European Best Practice Guide (2006)*)

All'inizio della fase di riscaldamento lo stampo si trova a bassa temperatura. L'olio termico viene riscaldato dallo scambiatore di calore grazie all'energia immagazzinata

nell'accumulatore. Quando non è più disponibile energia accumulata, il sistema passa al riscaldamento diretto dell'olio fino al raggiungimento della temperatura finale dello stampo. Dopo la pressatura, l'olio termico e lo stampo vengono raffreddati con lo stoccaggio del pendolo fino a quando le temperature sono quasi allo stesso livello. Il calore nello stampo riscalda l'accumulatore e parte dell'energia viene conservata per la fase di riscaldamento del ciclo successivo. Quando non è possibile raffreddare ulteriormente utilizzando l'accumulatore, entra in funzione il sistema diretto.

Con questa configurazione è possibile ottenere circa il 45% di risparmio energetico nella produzione di pezzi di grandi dimensioni con lunghi tempi di ciclo.

- *Free cooling*: utilizzare sempre il *free cooling* quando possibile e se disponibile per raffreddare l'olio idraulico.
- Unità di stampaggio: questa serve per modellare il prodotto e scambiare calore con esso. Gli stampi devono essere riscaldati o raffreddati in funzione della temperatura e della massa del materiale proveniente dal processo di estrusione. I cilindri idraulici chiudono lo stampo e lo tengono serrato contro la pressione di soffiaggio. La pressione è necessaria per mantenere esattamente allineate le componenti dello stampo, per modellare la parte plastica. Mantenere un'alta pressione troppo a lungo rispetto al valore ottimale consuma molta energia non necessaria a causa di numerosi cicli aggiuntivi della pompa. In alcuni casi è sufficiente applicare un'alta pressione solamente durante il riempimento della forma e continuare il ciclo a pressioni minori.
- Impostazione dei parametri della macchina: Il controllo del ciclo di pressione è essenziale per il controllo dell'energia consumata durante il processo di pressatura. La pressione dovrebbe avere il massimo valore necessario ed essere utilizzata per il tempo minimo richiesto. Cicli di pressione inutilmente lunghi utilizzano molta energia aggiuntiva e quindi aumentano i costi.

Il controllo dei parametri di processo può generare il massimo risparmio energetico: le buone pratiche richiedono che venga utilizzata solo una quantità sufficiente di energia per ogni fase del processo. La consapevolezza della necessità di raggiungere tempi di ciclo prefissati è spesso compensata dall'incapacità di determinare in che modo i parametri potrebbero essere regolati per renderlo possibile. Inoltre, il superamento del peso del prodotto comporta uno spreco di energia.

- Isolamento dello stampo: Se non c'è isolamento dello stampo contro la piastra di messa a terra o il corpo macchina, c'è un flusso di calore non necessario dallo stampo all'ambiente circostante. Durante i lunghi tempi di ciclo le perdite di energia possono

essere significative. Isolando lo stampo si riducono i tempi di produzione e aumenta la produttività. I costi sono solitamente bassi rispetto al potenziale risparmio energetico e il tempo di ritorno dell'investimento può essere inferiore a un anno.

- Processo LFT-D/ILC: nel settore automobilistico, le principali tecnologie permettono l'elaborazione di prodotti semilavorati come i materiali termoplastici rinforzati con vetro opaco (GMT) realizzati mediante stampaggio a compressione, e i granulati a fibra lunga (LFT-G) principalmente realizzati mediante stampaggio a iniezione. La tecnologia di processo diretto a fibra lunga (LFT-D) invece, consente di produrre componenti utilizzando direttamente i materiali di base come fibre di vetro, resine termoplastiche e additivi, utilizzando un processo di miscelazione prima dello stampaggio a compressione. Il vantaggio più convincente riguarda i costi ed il risparmio energetico, evitando la fase di produzione di prodotti semilavorati come i pellet LFT-G delle lastre GMT. Il vantaggio economico deriva dall'efficienza del processo, dalla sua affidabilità e dall'utilizzo di materie prime quali palline di plastica, fibre di rinforzo e additivi.

A differenza delle pastiglie o piastre pre-composte, i polimeri termoplastici che entrano nel sistema hanno subito un singolo riscaldamento. Questa ridotta esposizione alla degradazione termica porta a migliori proprietà iniziali e di lungo periodo per i componenti compositi stampati prodotti con il processo LFT-D/ILC. Il consumo totale di energia per produrre un componente composito è significativamente inferiore rispetto ai processi alternativi. L'energia utilizzata per trasformare le materie prime in pellet LFT di piastre GMT, trasportando i pellet o le lastre al produttore del componente e il successivo riscaldamento del pellet o della piastra di alimentazione prima della compressione o dello stampaggio a iniezione, viene completamente eliminata nel processo diretto.

Inoltre, la separazione dei polimeri termoplastici prima dell'incorporazione delle fibre riduce in modo significativo l'usura delle viti prolungandone la vita utile, poiché le fibre non sono presenti all'interfaccia solido/fuso rispetto alla lavorazione delle palline LFT.

### **3.4.3 Termoformatura**

La termoformatura è un processo di fabbricazione di fogli o film termoplastici.

Il foglio viene riscaldato fino alla sua temperatura di formatura e stirato su di uno stampo a superficie singola a temperatura controllata; viene poi tenuto contro l'unità di superficie dello stampo fino a quando non viene raffreddato e la parte formata viene ritagliata dal foglio.

Esistono diverse categorie di termoformatura tra cui vuoto, pressione, doppio foglio, formazione di drappaggi, soffiatura libera e semplice piegatura dei fogli.

È un'attività ad alta intensità energetica, la cui gestione è un fattore chiave per il miglioramento della produttività, della qualità e della pubblica immagine. L'efficienza energetica ha dimostrato di essere uno dei meccanismi più efficaci in termini di costi per affrontare questi problemi, nonché la riduzione dei gas serra.

- Riscaldamento del foglio: Esistono molti modi per riscaldare il foglio di plastica. La fonte di energia dipende dalla natura del polimero e dallo spessore del foglio, e quella ottimale potrebbe non essere la più economica. Bisogna fare attenzione quando si considera una sostituzione semplice, poiché devono essere presi in considerazione altri fattori di costo non energetici, come la manutenzione, l'efficienza energetica dipendente dal tempo dell'unità di riscaldamento e i costi di installazione. Tuttavia, l'energia e il risparmio a lungo termine possono superare di gran lunga i costi iniziali di acquisto e manutenzione.
- Qualità del prodotto finito: i prodotti plastici termoformati sono caratterizzati da un ampio rapporto tra superficie e spessore, nonché da uno spessore non uniforme. Per migliorare la qualità del prodotto finito, è possibile utilizzare strumenti di simulazione al computer. Le macchine troncatrici CNC ad assi multipli computerizzate sono ampiamente utilizzate nella termoformatura di calibro pesante per assicurare accurate dimensioni della superficie. Inoltre, è disponibile un software per prevedere i cicli di riscaldamento e raffreddamento per diversi polimeri.
- Ottimizzazione del tempo di ciclo: è importante ricordare che la meccanica di stampaggio e trasferimento nella stazione di formatura rappresenta una fase considerevole che deve essere accelerata e decelerata. Accelerare le numerose fasi meccaniche del processo di termoformatura è un modo importante per ridurre il tempo di ciclo e, a sua volta, il consumo di energia. Utilizzando il metodo degli elementi finiti, diversi produttori di macchine per la termoformatura hanno eseguito calcoli e simulazioni estesi per ottimizzare ogni componente dell'intera progettazione della macchina. L'obiettivo è ridurre le masse in movimento al minimo necessario. È anche possibile evitare un aumento eccessivo del fabbisogno energetico e del consumo di energia per tempi di ciclo più rapidi.

Un ulteriore sviluppo per le macchine è il sistema di serraggio per preparazioni rapide a postazione singola. La costruzione del sistema del telaio di bloccaggio è stabile in modo tale da poter applicare una pre-sollecitazione di aria compressa durante la



lavorazione del materiale semilavorato con uno spessore iniziale elevato. I vantaggi del sistema sono un intervallo di regolazione più ampio e un basso consumo energetico per il riscaldamento di parti rispetto ai sistemi tradizionali.

- Uso del gas per la termoformatura: sia il gas che l'elettricità forniscono una buona soluzione per la qualità della formatura. Utilizzando una soluzione a gas si ottiene una riduzione del tempo di riscaldamento. Il consumo di energia è ridotto del 30-40% quando si utilizza il riscaldamento al quarzo.
- Servomotori: sostituendo azionamenti idraulici o pneumatici con servomotori si hanno numerosi vantaggi, come il maggior controllo della rotazione delle forbici delle macchine per termoformatura; elevata precisione nei dati di produzione per macchine o unità con frequenti cambi di formato; minor consumo di energia, aumento del numero di cicli, maggiore durata dell'attrezzatura, disegni più precisi e meno materiale sprecato.
- Buoni comportamenti: come per tutti i processi precedenti, l'insieme di buoni comportamenti è fondamentale per ridurre il consumo energetico. Si tenga presente ad esempio che fogli sottili vengono riscaldati in maniera efficiente con riscaldatori radianti, mentre fogli spessi in forni ad aria calda a convezione forzata.

### **3.4.4 Materiali Compositi**

Non è facile dare una definizione esatta dei materiali compositi. Esistono molte definizioni e alcune di esse sono troppo vaste e poco precise, mentre altre sono troppo restrittive. La nozione di "materiali compositi" si riferisce ad un'associazione di materiali in cui i componenti sono giustapposti, senza interazione tra loro. Inoltre, esiste una sinergia tra questi materiali. Le loro proprietà sono combinate in un assemblaggio che dà origine a materiale eterogeneo caratterizzato da migliori proprietà.

Vengono utilizzati vari processi per la produzione di materiali compositi, e la scelta dipende dal tipo di pezzo in lavorazione, dal tipo di materiale utilizzato e dalle dimensioni della produzione. I processi di produzione comprendono:

- Assemblaggio manuale.
- Spray-up.
- Avvolgimento del filamento.
- Stampaggio del sacco a vuoto.
- Stampaggio in resina.
- Stampaggio a compressione (a freddo).

- Stampaggio a compressione (a caldo).
- Compressione di composti per lo stampaggio di fogli (SMC).
- Composti per stampaggio sfuso (BMC).
- Pultrusione.

Il consumo di energia nella produzione di materiali compositi dipende in larga misura dal processo utilizzato, e i risparmi possono essere ottenuti attraverso la gestione dell'energia. I principali utilizzi di energia sono attribuibili al riscaldamento di processo, ai motori elettrici e all'aria compressa. Le industrie inoltre richiedono l'illuminazione artificiale e molti spazi sono riscaldati e/o raffreddati.

Nella Tabella 3.6 seguente, viene effettuato un confronto tenendo conto dell'energia utilizzata per le diverse fasi del processo produttivo.

<b>Processo</b>	<b>Aria Compressa</b>	<b>Riscaldamento dello Stampo</b>	<b>Elettricità</b>	<b>Azionamento Idraulico o Pneumatico</b>	<b>Raffreddamento</b>
Assemblaggio Manuale					
Spray-up	X				
Avvolgimento del Filamento			X		
Stampaggio del Sacco a Vuoto		X	X		
Stampaggio in Resina	X	X			
Compressione (freddo)				X	
Compressione (caldo)		X		X	
SMC		X		XX	
BMC		X		XX	
Pultrusione	X	X	X	X	X

*Tabella 3.6: Confronto tra le diverse Fasi del Processo Produttivo. (Fonte: Low Energy Plastic Processing: European Best Practice Guide (2006))*

Si tenga conto inoltre di:

- Pressione necessaria per il processo: Per ottenere la pressione richiesta dal processo, è essenziale impostare i parametri della macchina per un consumo energetico ottimale. Il raggiungimento di una buona elaborazione dipende, ad esempio, dalla qualità del materiale lavorato e dallo strato superficiale dello stampo.

Quando la qualità del materiale è controllata e se lo stampo ha una buona qualità superficiale, l'ottimizzazione dell'uso dell'energia sarà ottenuta mediante un'attenta impostazione dei parametri di processo.

- Riscaldamento dello stampo: il riscaldamento dello stampo, che è uno dei fattori che consumano più energia, può essere ridotto al minimo riducendo al minimo la distanza e massimizzando la conduttività dei materiali tra la fonte di calore e la plastica.

Bisogna inoltre assicurarsi che regolatori e termostati siano adeguatamente mantenuti e regolati correttamente.

### 3.5 Utilities e Periferiche

I servizi generali e ausiliari rappresentano circa il 30% dell'energia consumata. Questa cifra varia a seconda dei diversi processi, tuttavia, è chiaramente una quantità significativa con un grande potenziale di risparmio.

Questa sezione tratta la progettazione, l'installazione e la gestione di servizi di supporto, come acqua di raffreddamento e aria compressa.

Spesso, i servizi ausiliari vengono forniti senza alcun tentativo di quantificare i costi perché sono considerati essenziali.

Nella Figura 3.4 viene rappresentata la suddivisione di alcune *utilities* all'interno di una fabbrica che lavora materiale plastico.

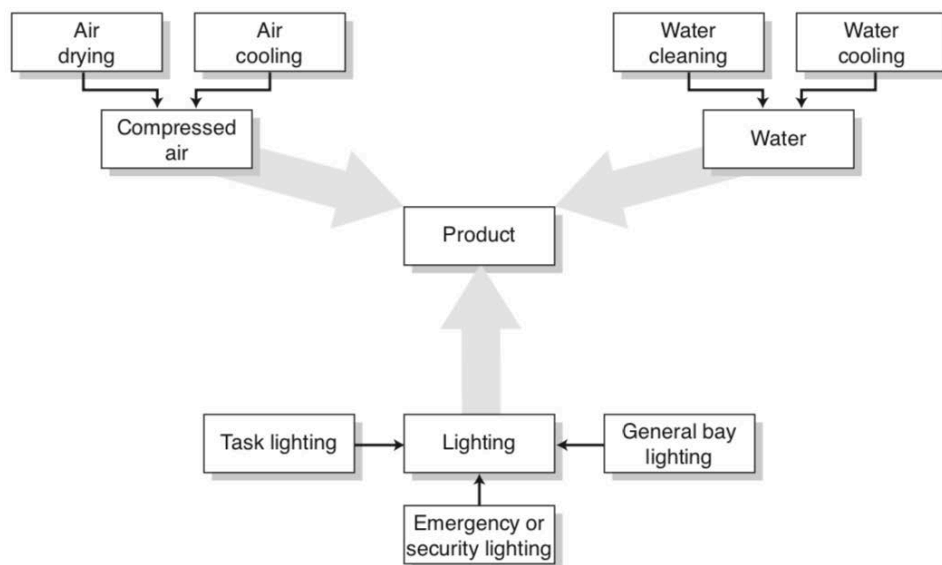


Figura 3.4: Suddivisione dei Servizi Ausiliari. (Fonte: Good Practice Guide 292: Energy in Plastic Processing - a practical guide)

#### 3.5.1 Motori e Alternatori

Motori e alternatori costituiscono oltre i due terzi dell'energia utilizzata nell'industria e rappresentano un obiettivo importante per il risparmio energetico e la riduzione dei costi.

Al momento dell'acquisto di un motore, i costi di capitale possono essere relativamente piccoli rispetto ai costi di esercizio a vita elevata, il che significa che è importante considerare attentamente le opzioni esistenti quando si sostituiscono o si installano nuovi motori.

I motori sono generalmente più efficienti quando il loro carico è uguale o leggermente superiore alla capacità nominale. [23]

I motori possono anche essere sovraccaricati per brevi periodi, a condizione che ci sia un carico inferiore successivo per consentirne il raffreddamento. Se vengono acquistate o utilizzate macchine più grandi del necessario, il motore non raggiungerà il carico di progetto e non funzionerà mai con l'efficienza ottimale. I motori sovradimensionati sono inefficienti e le apparecchiature devono essere accuratamente adattate alla domanda. Anche i carichi “costanti” di estrusori, ventilatori, compressori e pompe oscillano leggermente e il carico operativo di base raramente corrisponde ad un motore standard.

La velocità di un motore AC è stabilita dal numero di poli e dalla frequenza di alimentazione. Di conseguenza, le pompe idrauliche in molte macchine funzionano a velocità costante, anche se la domanda varia notevolmente durante il ciclo. La richiesta di flusso della pompa idraulica è controllata da una valvola di sicurezza e ricircolo del fluido idraulico.

Un altro modo per soddisfare le diverse esigenze è quello di montare un azionamento a velocità variabile (VSD) già visto in precedenza. Un VSD consente di variare la velocità di un motore in corrente alternata e di regolare l'uscita della pompa in funzione della domanda variabile, la cui applicazione può ridurre significativamente i costi energetici. Altri vantaggi dei VSD sono:

- La riduzione della richiesta sull'impianto idraulico: significa che l'olio idraulico funziona a una temperatura inferiore e richiede meno raffreddamento.
- Rumore ridotto.
- Minori costi di manutenzione.
- Migliori prestazioni in generale.

I VSD possono essere applicati anche a ventilatori, pompe idrauliche e compressori d'aria in cui il carico varia notevolmente. Per carichi costanti, l'uso di un motore di dimensioni corrette è l'opzione migliore. [24]

### **3.5.2 Aria Compressa**

L'aria compressa è molto più costosa dell'energia elettrica, e deve essere trattata prima di essere utilizzata al fine di rimuovere umidità, olio o sporcizia.

La maggior parte dell'energia utilizzata per comprimere l'aria viene trasformata in calore, quindi persa.

Uno dei metodi più semplici per risparmiare energia quando si utilizza aria compressa consiste nel ridurre al minimo la domanda ed ottimizzare l'offerta, riducendo le perdite ed utilizzandola solamente dove è strettamente necessario. Ad esempio, non conviene utilizzare aria compressa per la ventilazione o per il raffreddamento, in quanto i ventilatori sono meno costosi e più efficienti.

- La riduzione della richiesta può essere ottenuta esaminando le linee di aria compressa, rilevandone l'uso e rimuovendo quelle in cui essa non è richiesta, ricercando le situazioni in cui l'aria compressa viene utilizzata per la pulizia quando una semplice spazzola sarebbe sufficiente.
- Per migliorare l'efficienza si devono controllare i livelli di pressione, le condizioni di aspirazione dell'aria e il controllo del compressore, valutare il fabbisogno di pressione e, se possibile, ridurre la pressione di esercizio.

In un periodo di cinque anni circa il 60% dei costi relativi ai compressori sarà dovuto all'energia utilizzata. Per ogni riduzione di pressione di 1 bar, nell'intervallo 6-8 bar, è possibile risparmiare il 6-8% dei costi energetici.

Maggiore è la pressione dell'aria e maggiori sono i costi: in alcuni casi, doppia pressione si traduce in quattro volte il consumo e quindi il costo dell'energia.

Per ottimizzare l'utilizzo dell'aria compressa, si possono spegnere i compressori durante i periodi di produzione nulla; se si dispone di un processo che invece richiede più aria compressa, è conveniente installare un compressore separato dedicato.

- Si deve mantenere la presa d'aria il più fredda possibile, infatti con una riduzione di 3°C, il consumo di energia diminuirà dell'1%.

Consentire l'ingresso di aria fresca nella stanza tramite una canalizzazione piuttosto che utilizzare l'aria proveniente del compressore potrebbe ridurre la temperatura di aspirazione di 15°C e ridurre il consumo di energia del 5%.

- Ottimizzare i sistemi di controllo sui compressori: i compressori a pistone e a vite hanno diversi sistemi di controllo, ma è possibile ottenere notevoli risparmi ottimizzando il controllo di un impianto costituito da compressori di varie dimensioni e tipologie. Il controllo intelligente può calcolare il consumo d'aria dell'azienda sulla base della velocità di caduta di pressione e della quantità di aria pompata nel sistema, in modo da collegare il compressore che ha la migliore corrispondenza con l'effettivo consumo d'aria. I vantaggi del controllo intelligente sono: stessa pressione di apertura per tutti i compressori; nessun intervento non necessario per una caduta di pressione istantanea; carico parziale minimo dovuto al corretto dimensionamento del compressore; diversi livelli di pressione dipendenti dall'ora del giorno.
- Posizionare sempre il compressore vicino a dove è necessaria l'aria e mantenere il tubo in funzione e le perdite di carico al minimo. L'utilizzo di numerosi piccoli compressori

con controllo intelligente, situati vicino alla domanda, può essere più efficiente rispetto ad un unico compressore di grandi dimensioni con lunghe tubazioni.

Evitando lunghe condotte si migliora la distribuzione: più lunga è la linea di trasmissione e maggiore sarà la perdita di pressione che si tradurrà in un maggior costo.

- Una buona manutenzione è essenziale per l'alta efficienza. Le perdite d'aria in un impianto poco curato possono rappresentare il 30-50% del consumo d'aria compressa. Verificare la presenza di perdite durante un periodo di silenzio/spengimento o utilizzare un dispositivo di rilevamento delle perdite a ultrasuoni.

Per quanto riguarda il processo di trattamento, questo deve essere limitato a trattare l'aria alla qualità richiesta; è necessario testare regolarmente i filtri per assicurarsi che la caduta di pressione non superi 0,4 bar, poiché il costo della potenza necessaria per superare tale soglia è solitamente superiore al costo del filtro.

Una diminuzione di 2 psi<sup>34</sup> della pressione del compressore può ridurre i costi operativi dell'1,5%.

### **3.5.3 Ventilazione**

La ventilazione è importante per mantenere un ambiente di lavoro pulito sia in fabbrica che negli uffici, e un buon condizionamento dell'aria può garantire un clima interno ottimale rimuovendo sia il calore in eccesso che le impurità.

L'amministrazione, i magazzini e le aree che non producono 24 ore su 24 o durante il fine settimana, non richiedono sempre la ventilazione. In questo caso, il sistema di climatizzazione dovrebbe essere dotato di un controllo orario automatico per soddisfare le esigenze dell'edificio. Inoltre, se l'impianto è sovradimensionato o il fabbisogno di ventilazione è diminuito dall'installazione dell'impianto, è possibile che si verifichi una riduzione generale del volume d'aria.

### **3.5.4 Essiccazione**

L'essiccazione utilizza grandi quantità di energia ma è necessaria per elaborare polimeri igroscopici (cioè quelli che assorbono acqua) e per il trattamento ripetibile di polimeri non igroscopici. Se un polimero non viene essiccato, qualsiasi contenuto di umidità sarà convertito in vapore durante la lavorazione e creerà segni di superficie o addirittura indebolirà lo

---

<sup>34</sup> In fisica, psi è l'acronimo di *pound per square inch*, unità di misura della pressione nel sistema anglosassone. 1 psi equivale a 68,95 mbar.

stampaggio. Tuttavia, misure semplici possono ottenere un notevole risparmio di energia durante l'essiccazione.

Una buona conservazione dei materiali riduce il loro contenuto di umidità prima del processo di essiccazione.

Gli essiccatori ad adsorbimento utilizzano un essiccante (un materiale che rimuove l'umidità) per produrre aria calda secca partendo dall'aria carica di umidità. L'aria calda prodotta viene fatta passare attraverso il polimero rimuovendo l'umidità dei granuli e viene poi riciclata all'essiccatore per ulteriore asciugatura e utilizzo. Successivamente l'essiccatore deve essere rigenerato mediante un ciclo di calore elevato per rimuovere l'umidità assorbita.

Macchine con scambiatori di calore integrati recuperano il calore dell'aria di scarico e lo riutilizzano per riscaldare l'aria essiccata del raffreddatore dell'essiccatore ad adsorbimento. Questo processo può migliorare il bilancio termico in modo tale che fino al 56% dell'energia in ingresso venga utilizzata per asciugare effettivamente il polimero, quasi raddoppiando l'efficienza del sistema e riducendo significativamente il consumo di energia ed i costi. [24]

### **3.5.5 Riscaldamento e Illuminazione**

Esaminare le aree che vengono riscaldate o illuminate e decidere se viene fornita troppa o troppa poca energia. Gli uffici devono essere controllati periodicamente, per garantire che le stanze non utilizzate non vengano riscaldate alla stessa temperatura di quelle in uso. Dovrebbero inoltre essere installati degli interblocchi su porte di grandi dimensioni per garantire che il riscaldamento si spenga quando le porte vengono lasciate aperte.

Anche porte e finestre di scarsa qualità costituiscono una grande fonte di perdita di calore, e la manutenzione ordinaria di questi articoli consente di risparmiare più denaro di quanto costi.

L'illuminazione è uno dei fattori più importanti all'interno dell'ambiente lavorativo, perché migliora le condizioni di lavoro e la produttività, aumenta la sicurezza e migliora il benessere del personale.

I vecchi apparecchi luminosi sono spesso inefficienti, per tale motivo si propone il passaggio all'illuminazione a led, caratterizzata da un maggiore tempo di vita e una migliore efficienza energetica, garantendo un ritorno dell'investimento relativamente breve.

Nella progettazione di un sistema di illuminazione, bisogna porre particolare attenzione a non sovradimensionare, in quanto ciò risulta più costoso della pulizia e della manutenzione del sistema.



Si possono ottenere grandi risparmi energetici regolando l'illuminazione sulla base della luce diurna in fase di progetto degli ambienti lavorativi: finestre più grandi garantiscono una maggiore illuminazione durante le ore diurne.

Tener inoltre presente che alcune stanze non richiedono livelli di illuminazione massimi su base costante, ad esempio i ripostigli, gli spogliatoi, le mense ecc. pertanto sarebbe possibile installare sensori di movimento che spengono la luce in assenza di attività nella stanza.

### **3.5.6 Raffreddamento**

I refrigeratori sono utilizzati per fornire acqua fredda per una varietà di esigenze di processo, tra cui: raffreddamento dello stampo a iniezione, controllo della temperatura dell'olio idraulico, bagni di raffreddamento e rulli di raffreddamento per i processi di estrusione. Tutta l'energia che viene immessa nel polimero durante la lavorazione deve essere nuovamente rimossa per produrre un articolo finito a temperatura ambiente.

La scelta del giusto refrigeratore e la ricerca delle condizioni operative ottimali possono ridurre significativamente il fabbisogno energetico. In un periodo di dieci anni, il 90% dei costi dei *chiller* è dovuto all'energia utilizzata, quindi, come per i motori, ma in generale per tutte le macchine, conviene acquistare il più efficiente e non il più economico.

Quando la temperatura ambiente scende di 1°C sotto la temperatura dell'acqua che ritorna al refrigeratore, (ad esempio: temperatura di ritorno dell'acqua 15°C, temperatura ambiente, 14°C), il *free cooling* può essere sfruttato. Prima di andare al refrigeratore, l'acqua di ritorno viene automaticamente deviata attraverso il dispositivo di *free cooling*. Questo preraffredda l'acqua, riducendo il carico sul refrigeratore e l'energia consumata dai compressori. Più la temperatura ambiente scende al di sotto della temperatura dell'acqua di ritorno, maggiore è l'effetto di *free cooling*. Il recupero è rapido e il risparmio energetico su base annua è considerevole.

Eliminare o ridurre i carichi di raffreddamento ridurrà i costi di gestione e migliorerà l'efficienza energetica.

### 3.6 Energy Management

Il successo di un programma di gestione dell'energia all'interno di un'organizzazione dipende dall'unione tra tecnologia e gestione.

La tecnologia da sola non può ottenere risparmi ottimali, ma unita a corrette pratiche operative e gestionali può portare a significativi risparmi.

La gestione energetica è altamente redditizia, ma è importante ricordare che per essere efficace deve essere un processo continuo.

Ci sono molte ragioni per cui un'organizzazione dovrebbe prendere sul serio l'efficienza energetica: dal miglioramento della situazione economica alla riduzione dei danni ambientali. Molte misure possono anche apportare sostanziali benefici in termini di *comfort* dei dipendenti migliorando il riscaldamento, l'isolamento e l'eliminazione dei punti freddi. Ciò può ridurre la rotazione del personale e migliorare la produttività.

L'attenzione all'efficienza energetica può spesso evidenziare le carenze in altri settori come la manutenzione, la resa del processo e la qualità.

Fondamentale per l'effettiva attuazione di un programma di efficienza energetica sono la buona gestione e la consapevolezza del personale. Come qualsiasi risorsa impiegata da un'organizzazione, l'energia verrà utilizzata in modo efficiente solo se gestita correttamente. Una buona gestione dell'energia fa risparmiare energia in sé, ma è anche necessaria per ottenere il massimo dalle misure tecniche di risparmio energetico.

#### 3.6.1 Monitoraggio e Targeting

Il monitoraggio e il *targeting* (M&T) è un approccio disciplinato alla gestione dell'energia che garantisce che le risorse energetiche siano utilizzate al massimo vantaggio economico. È generalmente accettato che un risparmio energetico di circa il 5% sia realizzabile nell'anno successivo all'introduzione di un programma di M&T.

Il programma ha due funzioni principali:

- Permette il controllo continuo del consumo di energia.
- Consente miglioramenti programmati nell'efficienza dell'uso dell'energia.

Il monitoraggio consente il controllo continuo del consumo di energia e misura eventuali miglioramenti o passi indietro. Il *targeting* consente di impostare i miglioramenti delle prestazioni ottenibili. Come tecnica, la M&T utilizza i dati dell'energia misurati per fissare

obiettivi di prestazione raggiungibili ma impegnativi e può essere applicata allo stesso modo in aziende, dipartimenti o singole macchine.

Esistono tre modi principali per impostare gli obiettivi:

- Utilizzo dei risultati interni precedentemente raggiunti.
- Utilizzo dei risultati da informazioni di ricerca.
- Utilizzo di informazioni di riferimento di altri produttori.

Ogni metodo ha i suoi pro e contro. Ad esempio, sebbene i dati per fissare obiettivi interni possano essere facilmente ottenuti, gli obiettivi stessi potrebbero non essere molto impegnativi. D'altra parte, mentre gli obiettivi esterni dei produttori di macchinari e delle associazioni di ricerca forniranno valori "minimi" teorici per il consumo di energia per particolari tipi di prodotto, polimeri e processi, non ci possono essere prove concrete che questi siano raggiungibili o sfidanti. Gli obiettivi di confronto esterno o i parametri di riferimento sono molto difficili da definire a causa della varietà di operazioni e prodotti e della difficoltà di definire uno "standard" del settore.

Nell'analisi finale, la scelta del tipo di obiettivo dipenderà da un numero di problemi interni. Ciò che è importante è che, qualunque sia il tipo di obiettivo scelto, deve essere stimolante e realizzabile e che faccia parte di un programma di gestione energetica sistematico e integrato.

[20]



# 4 Casi Studio

Nel seguente capitolo verranno analizzati diversi casi pratici, in maniera più o meno dettagliata, in relazione alla quantità e alla qualità dei dati resi disponibili dalle varie aziende.

Trattandosi di dati sensibili, è stato firmato un accordo di riservatezza, pertanto, non è stato possibile riportare di seguito i nominativi delle aziende considerate.

## 4.1 Caso 1

L'azienda energivora relativa a questo primo caso studio, è già stata oggetto di diagnosi energetica nel 2015, pertanto i dati ricavati da tale documento, fungeranno da punto di partenza per vedere in che modo è cambiata la situazione energetica dell'azienda in questi 4 anni.

Essa opera nel settore dello stampaggio ad iniezione di materie termoplastiche per la produzione di componenti per elettrodomestici ed *automotive*, e ad oggi, conta circa una ventina di macchine dedicate a questa attività.

La sede è costituita al piano terra dall'area di produzione che comprende le linee di stampaggio, l'officina per la manutenzione degli stampi, l'assiemaggio, l'ufficio tecnico, l'ufficio controllo qualità, l'ufficio programmazione e produzione, l'area tampografica e l'area dedicata all'essiccazione dei materiali. Sempre al piano terra, nello stesso edificio si trova un magazzino, a cui si aggiungono il deposito dei semilavorati ed il magazzino delle materie prime.

Al primo piano sono invece collocati i vari uffici e la sala riunioni. Il reparto di produzione opera su tre turni, dal lunedì al venerdì, mentre il personale negli uffici lavora 8 ore.

Dal punto di vista funzionale, l'azienda può essere suddivisa nelle aree indicate nella Figura 4.1.

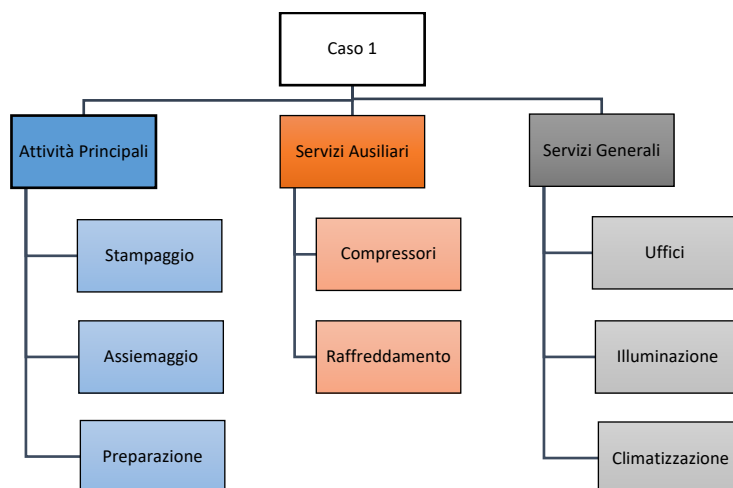


Figura 4.1: Suddivisione in Aree Funzionali.

In base alle caratteristiche fisico-chimiche della materia prima utilizzata, è necessario regolare diversi parametri di lavoro (temperatura di ciclo, temperatura dello stampo, velocità di iniezione) per cui ogni pressa è affiancata da opportune centraline di termoregolazione, e presenta un quadro di controllo PLC a bordo macchina.

I termoregolatori servono per portare in temperatura lo stampo utilizzando acqua riscaldata da resistenze elettriche: a macchina ferma impiegano circa 40 minuti/1 ora per portare lo stampo alla temperatura di lavoro. Dopo che la pressa è entrata in funzione, dato che la plastica si trova a temperature molto elevate (circa 200°C), il termoregolatore serve a raffreddare lo stampo, perché in sua assenza, stampo e materiale plastico tenderebbero a raggiungere una temperatura di equilibrio. Il termoregolatore quindi svolge una duplice funzione: in fase di partenza porta lo stampo in temperatura, mentre durante il lavoro mantiene la temperatura, raffreddando lo stampo con l'acqua fredda che circola all'interno dell'anello che serve tutti i termoregolatori installati.

Le utenze sono tutte di tipo elettrico. L'unico altro vettore energetico utilizzato è il carburante per l'autotrazione, che risulta trascurabile rispetto al consumo elettrico, e comunque non inerente a questa specifica analisi.

Per iniziare, verrà analizzata la situazione dell'azienda, gli indici di prestazione, e le soluzioni proposte riportate nella diagnosi energetica del 2015 (anno di riferimento 2014).

<b>2014</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 76.379	501.502	322.085	1,5570
FEBBRAIO	€ 74.239	481.137	318.725	1,5096
MARZO	€ 77.740	508.999	380.699	1,3370
APRILE	€ 67.747	421.488	285.229	1,4777
MAGGIO	€ 68.336	427.368	290.723	1,4700
GIUGNO	€ 75.411	474.982	324.801	1,4624
LUGLIO	€ 84.686	537.460	327.345	1,6419
AGOSTO	€ 67.774	424.469	253.682	1,6732
SETTEMBRE	€ 79.627	501.175	334.063	1,5002
OTTOBRE	€ 86.398	546.481	386.732	1,4131
NOVEMBRE	€ 84.673	538.632	381.337	1,4125
DICEMBRE	€ 55.794	322.431	221.661	1,4546
<b>TOTALE</b>	<b>€ 898.804</b>	<b>5.686.124</b>	<b>3.827.082</b>	<b>1,4858</b>

Tabella 4.1: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2014.

Netta Tabella 4.1 sono stati riportati i kWh elettrici consumati, la spesa sostenuta dall'azienda per l'energia elettrica, che tiene già conto del bonus relativo alle aziende energivore, i kg di materia prima stampata, e l'indice di prestazione ricavato.

Un indice di prestazione era stato precedentemente definito come un parametro ottenuto mettendo in relazione determinati dati, in grado di fornire un confronto diretto e sintetico nell'ambito di un fenomeno complesso.

Andando ad effettuare un primo rapido confronto dell'indice generale riportato in Tabella 4.1 con i risultati ottenuti dall'analisi della letteratura, in Tabella 2.5, si nota che l'azienda considerata risulta nettamente migliore rispetto alla media europea ed italiana in termini di indice di prestazione energetica riferito al sito, essendo l'indice 1,4858 kWh/kg, contro i vari 3,118<sup>35</sup> kWh/kg, 3,075<sup>36</sup> kWh/kg e 2,103<sup>37</sup> kWh/kg.

Per visualizzare l'andamento mensile dell'indice di prestazione dell'anno 2014, si confrontano i prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata, ottenendo la Figura 4.2:

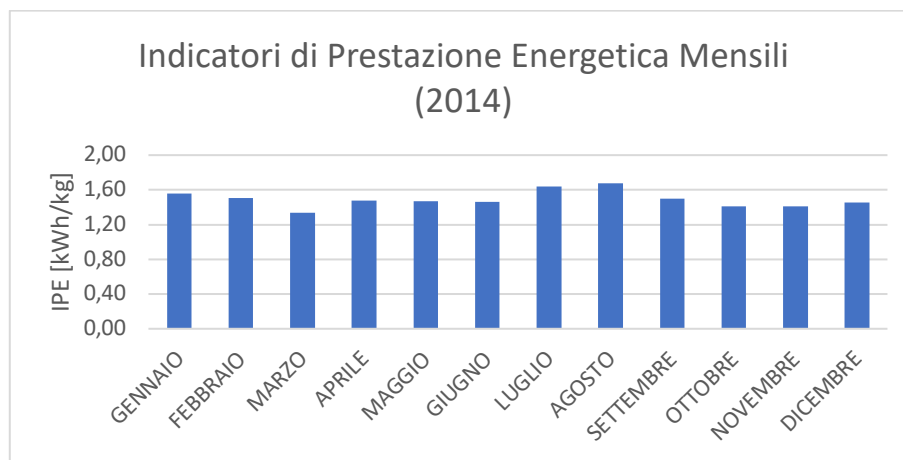


Figura 4.2: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014).

Da questa figura è possibile notare che il consumo specifico risulta abbastanza costante nei vari mesi dell'anno, e maggiore nei mesi di luglio e agosto, come era possibile notare dall'indice di prestazione riportato in Tabella 4.1. L'impennata del consumo e quindi dell'indice in questi mesi, è probabilmente dovuta alla maggiore richiesta di raffreddamento delle macchine.

<sup>35</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da EUREcipe.

<sup>36</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da Tangram.

<sup>37</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da ENEA.

La correlazione tra i consumi totali e la produzione, relativamente all'anno 2014, è rappresentata nella Figura 4.3, ottenuta mediante il procedimento di regressione lineare.

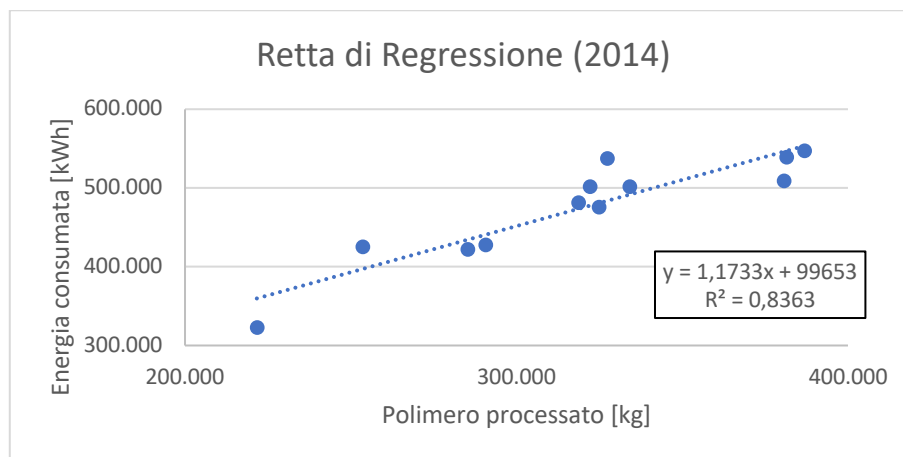


Figura 4.3: Retta di Regressione Lineare (2014).

Per valutare l'affidabilità del modello individuato, bisogna considerare il coefficiente  $R^2$ : tanto più questo termine è vicino a 1 e tanto più la correlazione lineare tra le due grandezze costituisce una buona approssimazione della situazione reale. In questo caso risulta più dell'80%, quindi elevato, pertanto dimostra che è presente una buona coerenza operativa ed anche le misure per l'efficienza energetica sono coerenti ed efficaci.

Una volta constatata la bontà del modello, è possibile partire da questa correlazione per ricavare l'incidenza dei costi fissi, che si ricavano in corrispondenza di una produzione nulla.

Ridurre il più possibile questo valore significa intervenire su quei consumi energetici che per l'azienda non si traducono direttamente in un ricavo.

In questo caso, la stima del carico fisso ammonta a 99.653 kWh, che rappresenta circa il 2% dei consumi totali.

All'interno della diagnosi inoltre, erano stati proposti i seguenti interventi di efficientamento energetico:

- 1) Impianto di rifasamento: dai risultati ottenuti nel 2014, il fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) era superiore alla soglia minima di 0,9 e non sono quindi state fatturate penali. Si segnalava quindi che sarebbe stato necessario eseguire una taratura dell'impianto in seguito all'aumento del fattore di potenza a 0,95 dall'anno 2016.
- 2) Sistemi elettronici di regolazione di frequenza: gli azionamenti a velocità variabile (*Variable Speed Drive - VSD*), permettono mediante l'installazione di inverter di variare



la coppia del motore attraverso la variazione di frequenza di rete e quindi di ridurre la potenza assorbita. In questo modo, il motore utilizza esclusivamente l'energia realmente necessaria, permettendo così di conseguire un risparmio energetico che va dal 20 al 50%, di ridurre la manutenzione, la rumorosità e il surriscaldamento dell'olio.

- 3) Efficientamento della centrale di aria compressa: come è stato possibile constatare nel capitolo precedente relativamente alle *Best Practices*, le perdite di aria compressa rappresentano un aspetto che incide in maniera significativa sui costi delle aziende e che viene spesso trascurato. Nel 2014, non era mai stata operata una ricerca delle perdite di aria compressa, pertanto, esse si attestavano intorno al 10-15% del totale consumo del reparto di produzione.
- 4) Efficientamento illuminazione: insieme all'aria compressa, anche l'illuminazione rappresenta uno degli interventi di *Best Practices*. Nella scorsa diagnosi energetica era stato infatti proposto il passaggio all'illuminazione a led, caratterizzata da elevata affidabilità, efficienza e durata di vita.
- 5) Efficientamento impianti termici: coibentazione efficace. La riduzione delle dispersioni termiche garantisce maggiore risparmio ed efficienza, nonché maggiore sicurezza per gli operatori, soprattutto in presenza di fluidi o superfici ad elevata temperatura. Nel caso specifico, l'impiego di un cappotto isolante termico applicato sui cilindri di plastificazione garantisce una notevole riduzione della radiazione termica verso l'ambiente esterno e sulle strutture della macchina. Questo si traduce in una riduzione sui consumi che può variare tra il 25 e il 40%. L'operatore inoltre lavora in condizioni ambientali più favorevoli ed è protetto dal rischio di infortuni dovuti a contatti accidentali con le zone a temperatura elevata.
- 6) Energia da fonti rinnovabili: fotovoltaico. Tra le soluzioni proposte era presente anche la possibilità di installare un impianto fotovoltaico che produce energia elettrica sfruttando l'energia solare grazie alle proprietà del silicio.
- 7) Monitoraggio dei consumi energetici: l'ultima proposta riguardava il monitoraggio dei consumi energetici, che risulta importante sia nel controllo del consumo generale che nell'analisi dei vari centri di costo al fine di valutare il fabbisogno di energia e di consumo specifico di ogni singolo reparto. In questo modo è possibile conoscere con certezza abitudini di consumo eccessive circoscritte a determinate porzioni di impianto, identificare facilmente i potenziali risparmi ottenibili mediante la correzione delle stesse e avere una ripartizione analitica della spesa energetica tra i vari reparti.

Durante il sopralluogo del 2018, è stato possibile constatare quali di questi interventi di efficientamento sono stati implementati nel corso di questi 4 anni. In particolare:

- 1) È presente un impianto di rifasamento, anche se il processo risulta troppo spinto, essendo il fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) prossimo all'unità: le modalità di tariffazione infatti non si modificano, ed il limite per il pagamento della penale rimane comunque fissato a  $\cos\phi=0,95$ , dunque l'utente non si vedrebbe riconosciuto nessun vantaggio in bolletta.
- 2) Sono stati installati dispositivi VSD su 18 macchine per lo stampaggio a iniezione. Una pressa possiede l'inverter solamente sulla trafilatura di plastificazione, ma dispone di pompe idrauliche a portata variabile
- 3) Per quanto riguarda le perdite di aria compressa, queste vengono monitorate costantemente, e la loro riduzione ha comportato il passaggio della pressione da 8 a 6 bar. Inoltre, nel corso del 2015 è stata riscontrata un'errata implementazione dello schema tipico di un circuito di aria compressa che poi è stato corretto: dal compressore, l'aria passava direttamente all'essiccatore invece di andare al serbatoio di accumulo.
- 4) Sono state sostituite quasi tutte le luci con lampade a led, tranne nel reparto magazzino dove le lampade sono state acquistate ma non ancora installate.
- 5) Dal punto di vista dell'efficientamento degli impianti termici, sono state installate 4 termocoperte, ma l'installazione risulta già prevista anche per le restanti macchine, e le tempistiche dipendono dal budget.
- 6) Non è stato realizzato alcun impianto fotovoltaico.
- 7) Infine, viene effettuato un monitoraggio dei consumi ma solamente su determinate macchine.

Non è stato possibile individuare l'esatto periodo di implementazione di questi interventi, ma di seguito, viene riportata l'evoluzione della situazione aziendale, in termini di consumi elettrici, produzione ed indici di prestazione, dal 2014, al 2018.

Come sarà possibile notare dai risultati riportati, e da quanto appreso durante il sopralluogo, un aspetto fondamentale alla base dell'efficienza energetica di questo caso studio, è costituito dal buon comportamento degli operatori, che dal 2015 si sono concentrati sul miglioramento dell'efficienza energetica.

- Un esempio è costituito dalla diminuzione della temperatura di funzionamento della vite di iniezione di determinate macchine di  $5^{\circ}\text{C}$ , ottimizzando di conseguenza il tempo di

ciclo, che si traduce in una minore potenza assorbita da parte della macchina, e quindi in un risparmio in termini di energia elettrica consumata, e in una diminuzione dell'indice di prestazione.

- Un'altra accortezza è stata quella di far funzionare alternativamente le due pompe che fanno circolare l'acqua di raffreddamento dell'olio idraulico, in quanto nei mesi invernali il funzionamento di una singola pompa risulta sufficiente. Questo circuito di raffreddamento lavora totalmente in *free cooling*.
- Un aspetto fondamentale è costituito dalla pulizia degli scambiatori di calore che raffreddano gli stampi e l'olio idraulico presente nelle presse, perché la sporcizia che si deposita non permette allo strumento di adempiere alla sua funzione correttamente. La pulizia dei condotti nello stampo è fondamentale in quanto non essendo realizzato in acciaio inox, il passaggio dell'acqua attraverso i fori per il raffreddamento, comporta la formazione di ossido di ferro, che ostruisce tali fori, compromettendo lo scambio termico. Allo stesso modo, se gli scambiatori non raffreddano correttamente l'olio a causa della sporcizia, un operatore potrebbe pensare di abbassare la temperatura di mandata dell'acqua per soddisfare l'aumentata richiesta di raffreddamento, non risolvendo però il problema perché così facendo si utilizza più energia del necessario. La pulizia dei circuiti viene effettuata mediante l'utilizzo di un prodotto chimico. Inoltre, sono stati implementati filtri dotati di un magnete da 15.000 G che raccolgono tutte le impurità ferrose che altrimenti tendono a depositarsi nei piccoli condotti di raffreddamento degli stampi, ostruendoli nel tempo, o sulle superfici degli scambiatori di calore, impedendo il corretto scambio termico previsto. Per proteggere ulteriormente i tubi dal pericolo di ossidazione, in acqua viene disciolta una certa quantità di molibdeno che si lega superficialmente all'acciaio creando un film protettivo. Filtri analoghi sono stati inseriti anche su singoli circuiti secondari, essendo presenti macchine frigorifere dedicate per specifiche esigenze di termoregolazione.
- Infine, La riduzione dei consumi elettrici ha permesso di spegnere uno dei 2 trasformatori a servizio dello stabilimento, che vengono ora fatti funzionare in maniera alternata ogni 6 mesi, azzerando in questo modo le perdite nel ferro e quelle nel rame del trasformatore.

Seguono i dati relativi ai vari anni considerati.

Nella Tabella 4.2, vengono riportati i dati relativi all'anno 2015:

<b>2015</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 69.530	463.572	305.530	1,5173
FEBBRAIO	€ 64.756	425.140	303.512	1,4007
MARZO	€ 70.466	468.358	334.009	1,4022
APRILE	€ 69.625	456.848	343.211	1,3311
MAGGIO	€ 81.307	506.474	337.977	1,4985
GIUGNO	€ 81.524	541.936	390.186	1,3889
LUGLIO	€ 91.428	607.882	380.894	1,5959
AGOSTO	€ 86.141	572.483	357.718	1,6004
SETTEMBRE	€ 95.667	638.601	447.506	1,4270
OTTOBRE	€ 97.314	649.872	453.261	1,4338
NOVEMBRE	€ 90.227	593.724	425.164	1,3965
DICEMBRE	€ 55.742	357.459	245.446	1,4564
<b>TOTALE</b>	<b>€ 953.727</b>	<b>6.282.349</b>	<b>4.324.414</b>	<b>1,4528</b>

Tabella 4.2: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2015.

Nella Figura 4.4 vengono rappresentati prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dell'anno considerato.

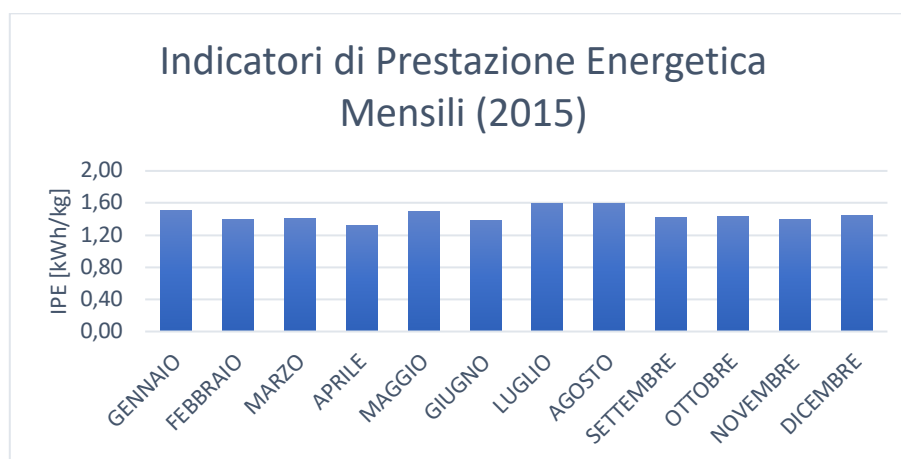


Figura 4.4: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2015).

Anche per questo anno si nota che il consumo specifico risulta abbastanza costante nei vari mesi dell'anno, tranne nei mesi di luglio e agosto, in cui incide la maggiore richiesta di raffreddamento delle macchine.

Andando a confrontare i dati sopra riportati con quelli relativi all'anno precedente, si ottengono i risultati evidenziati dalla Tabella 4.3:

<b>2014 vs 2015</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	€ 54.923	596.225	497.332	-
% di scostamento	6,1%	10,5%	13,0%	-2,2%

Tabella 4.3: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2014 e 2015.

Si nota un miglioramento dell'indice di prestazione pari al 2,2%, a fronte di un aumento dell'energia consumata pari al 10,5% e della produzione pari al 13%, il che si traduce in un corretto utilizzo dell'energia.

Analizzando mensilmente gli indici di prestazione mediante il procedimento di regressione lineare, si ottengono i seguenti risultati:

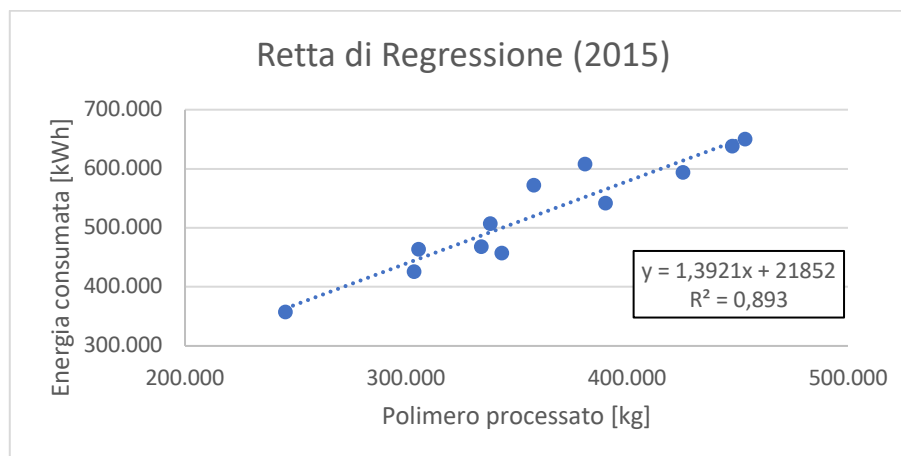


Figura 4.5: Retta di Regressione Lineare (2015)

Dal coefficiente  $R^2$  si può vedere l'affidabilità del modello, essendo questo molto prossimo a 0,9. Analizzando l'equazione della retta invece, si nota una grande diminuzione dei consumi fissi, i quali passano da 99.653 kWh del 2014 a 21.852 kWh del 2015.

Nella Tabella 4.4, vengono riportati i dati relativi all'anno 2016:

<b>2016</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 60.579	423.096	296.455	1,4272
FEBBRAIO	€ 62.618	441.179	318.293	1,3861
MARZO	€ 56.585	396.615	305.204	1,2995
APRILE	€ 68.820	476.043	398.405	1,1949
MAGGIO	€ 62.362	428.612	364.631	1,1755
GIUGNO	€ 57.192	388.726	362.391	1,0727
LUGLIO	€ 59.373	392.500	327.422	1,1988
AGOSTO	€ 62.744	415.186	364.689	1,1385
SETTEMBRE	€ 70.673	471.209	454.929	1,0358
OTTOBRE	€ 60.245	413.574	380.195	1,0878
NOVEMBRE	€ 62.172	426.096	377.849	1,1277
DICEMBRE	€ 44.722	299.763	241.370	1,2419
<b>TOTALE</b>	<b>€ 728.085</b>	<b>4.972.599</b>	<b>4.191.833</b>	<b>1,1863</b>

Tabella 4.4: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016.

Nella Figura 4.6 vengono rappresentati i prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dell'anno considerato.

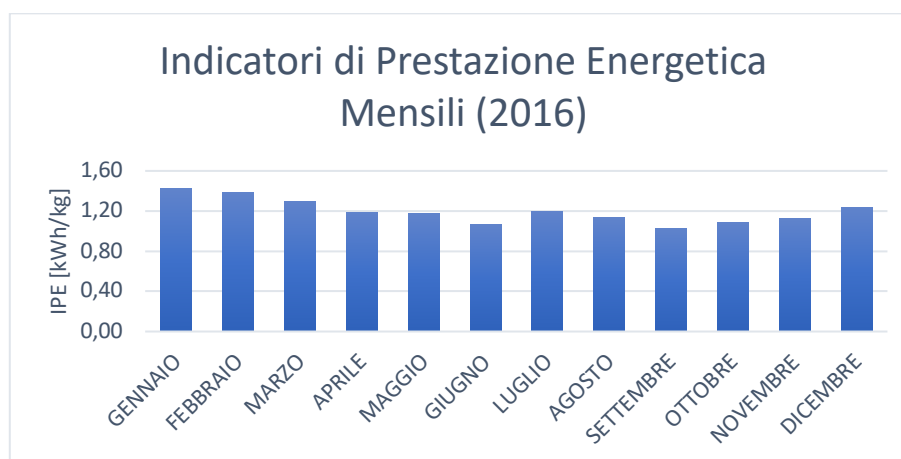


Figura 4.6: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).

Dal grafico precedente si evince una chiara tendenza alla diminuzione dell'indice da gennaio a giugno, e una successiva risalita nei mesi estivi di luglio e agosto, come negli anni precedenti.

Si nota che l'indice tende ad aumentare anche negli ultimi mesi dell'anno: da valutare se questo peggioramento può essere dovuto al mix di prodotto molto diverso dal resto dell'anno, oppure da modalità di produzione che penalizzano i consumi (ad esempio frequenti *set-up* delle macchine per lotti di produzione più piccoli).

Andando a confrontare i dati sopra riportati con quelli relativi all'anno precedente, si ottengono i risultati evidenziati dalla Tabella 4.5:

<b>2015 vs 2016</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 225.642	-1.309.750	-132.581	-
% di scostamento	-23,7%	-20,8%	-3,1%	-18,3%

Tabella 4.5: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2015 e 2016.

La situazione sembrerebbe molto positiva, in quanto si può notare una riduzione del 18,3% dell'indice di prestazione, accompagnato dalla riduzione dei kWh consumati, che porta ad un risparmio di 225.642 €, ma anche da una riduzione della materia prima trattata.

Analizzando il modello mediante la regressione lineare, si ottiene la Figura 4.7:

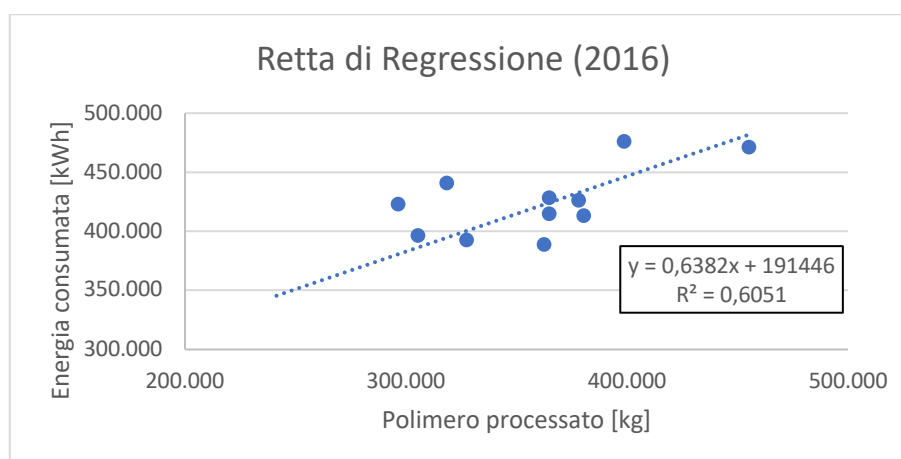


Figura 4.7: Retta di Regressione Lineare (2016).

A causa del basso coefficiente  $R^2$ , il modello non risulta particolarmente affidabile, infatti si nota una grande dispersione dei punti. Inoltre, per raggiungere un buon livello di affidabilità sarebbe necessario utilizzare un'approssimazione polinomiale superiore al 3° grado.

A questo punto si utilizza l'Equazione 2.2, in cui vengono sostituiti i coefficienti della retta di regressione lineare appena ricavata. Sostituendo a x il valore dei kg di produzione mese per mese, si ottengono dei valori di indici di prestazione da confrontare con i valori reali.

I risultati sono riportati nella tabella seguente:

<b>2016</b>	<b>INDICE DI PRESTAZIONE REALE [kWh/kg]</b>	<b>INDICE DI PRESTAZIONE CALCOLATO [kWh/kg]</b>	<b>SCOSTAMENTO %</b>
GENNAIO	1,4272	1,2840	11%
FEBBRAIO	1,3861	1,2397	12%
MARZO	1,2995	1,2655	3%
APRILE	1,1949	1,1187	7%
MAGGIO	1,1755	1,1632	1%
GIUGNO	1,0727	1,1665	-8%
LUGLIO	1,1988	1,2229	-2%
AGOSTO	1,1385	1,1632	-2%
SETTEMBRE	1,0358	1,0590	-2%
OTTOBRE	1,0878	1,1417	-5%
NOVEMBRE	1,1277	1,1449	-2%
DICEMBRE	1,2419	1,4314	-13%
<b>TOTALE</b>	<b>1,1863</b>	<b>0,6839</b>	<b>73%</b>

*Tabella 4.6: Differenza tra Indici di Prestazione Reali e Calcolati (2016).*

Si nota che tutti i punti reali, ad eccezione dell'indice di prestazione annuale, risultano lontani meno del 30% dai valori calcolati, pertanto, la relazione ricavata che lega l'energia impiegata alla produzione, risulta affidabile.

La conferma è data dal modello "Valor Medio  $\pm$  Deviazione Standard".

Il modello si può considerare:

- Affidabile se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta minore del 20%;
- Poco Affidabile se il rapporto tra deviazione standard e valore medio risulta compreso tra il 20% ed il 50%;
- Non Affidabile se il rapporto tra la deviazione standard e il valore medio risulta maggiore del 50%;



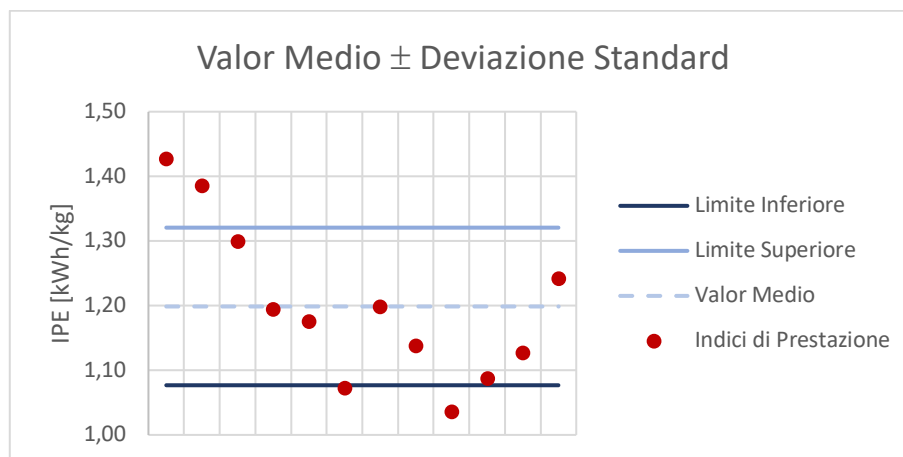


Figura 4.8: Valor Medio  $\pm$  Deviazione Standard (2016).

Dai calcoli risulta che il rapporto tra la Deviazione Standard e il Valor Medio è circa pari al 10,2%, pertanto il modello risulta affidabile.

Nella Tabella 4.7 vengono riportati i dati relativi all'anno 2017:

<b>2017</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 52.498	382.841	306.942	1,2473
FEBBRAIO	€ 52.589	382.878	345.430	1,1084
MARZO	€ 58.336	429.102	422.692	1,0152
APRILE	€ 43.109	318.850	318.756	1,0003
MAGGIO	€ 54.088	405.457	397.897	1,0190
GIUGNO	€ 45.213	334.924	320.931	1,0436
LUGLIO	€ 49.985	370.199	339.800	1,0895
AGOSTO	€ 51.357	382.180	330.803	1,1553
SETTEMBRE	€ 58.750	439.241	425.719	1,0318
OTTOBRE	€ 57.389	443.786	422.181	1,0512
NOVEMBRE	€ 56.092	431.660	429.909	1,0041
DICEMBRE	€ 35.485	263.175	258.982	1,0162
<b>TOTALE</b>	<b>€ 614.891</b>	<b>4.584.293</b>	<b>4.320.042</b>	<b>1,0612</b>

Tabella 4.7: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017.

Nella Figura 4.9 vengono rappresentati prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dell'anno considerato.

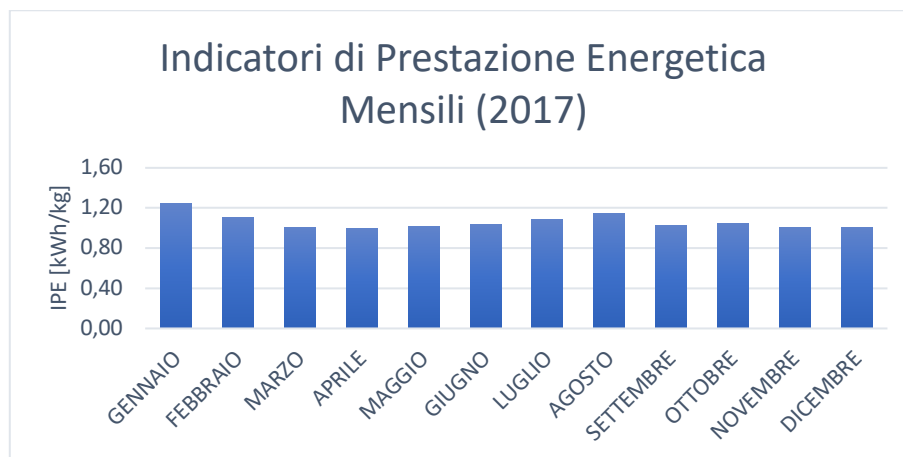


Figura 4.9: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).

Escludendo il picco di gennaio e di agosto, che risultano comunque contenuti rispetto agli anni precedenti, nell'anno 2017 si vede un netto miglioramento dell'indice di prestazione, probabilmente dovuto ai vari interventi di efficientamento energetico svolti dall'azienda, ma anche dalle misure comportamentali adottate. Infatti, rispetto al 2016 si hanno i seguenti risultati:

<b>2016 vs 2017</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 113.194	-388.306	128.209	-
% di scostamento	-15,5%	-7,8%	3,1%	-10,5%

Tabella 4.8: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.

Dalla Tabella 4.8 si vede come l'indice di prestazione risulti in continua diminuzione, a fronte di un minor consumo di energia elettrica, pari al 7,8% rispetto all'anno precedente, con un risparmio superiore ai 100.000 €, e ad un aumento di produzione, pari al 3,1%.

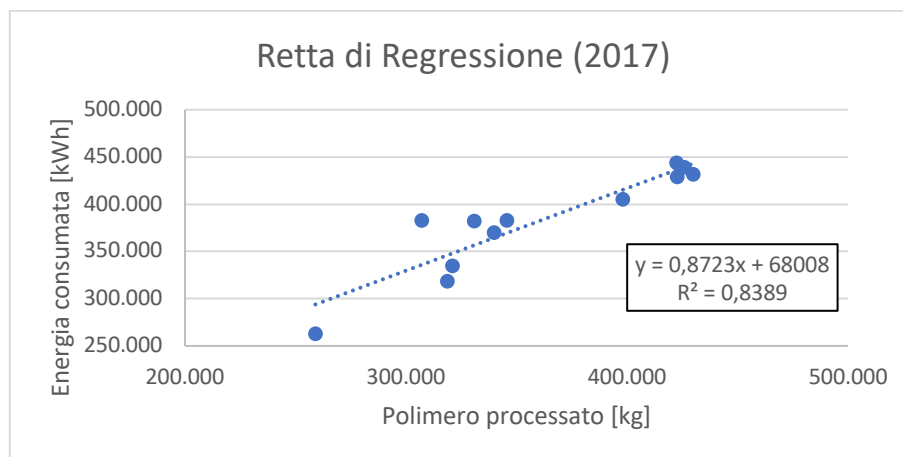


Figura 4.10: Retta di Regressione Lineare (2017).

Per l'anno 2017 il modello risulta affidabile grazie all'elevato valore di  $R^2$ , e si nota una diminuzione dei consumi fissi rispetto a quelli dell'anno di partenza, che ora ammontano a 68.008 kWh. L'affidabilità del modello viene confermata dal confronto tra gli indici di prestazione reali e quelli calcolati.

Infine, viene analizzato l'anno 2018 in cui sono evidenti i risultati raggiunti ed il continuo miglioramento.

È importante precisare che i dati utilizzati nell'inventario delle utenze elettriche per la ripartizione dei consumi sono dati stimati con il responsabile di produzione dell'azienda, partendo dai dati di targa delle singole macchine e dalle ore di lavoro.

Nelle Figure 4.11 e 4.12 si vede come sono ripartiti i consumi elettrici relativi all'anno 2018 per i vari settori.

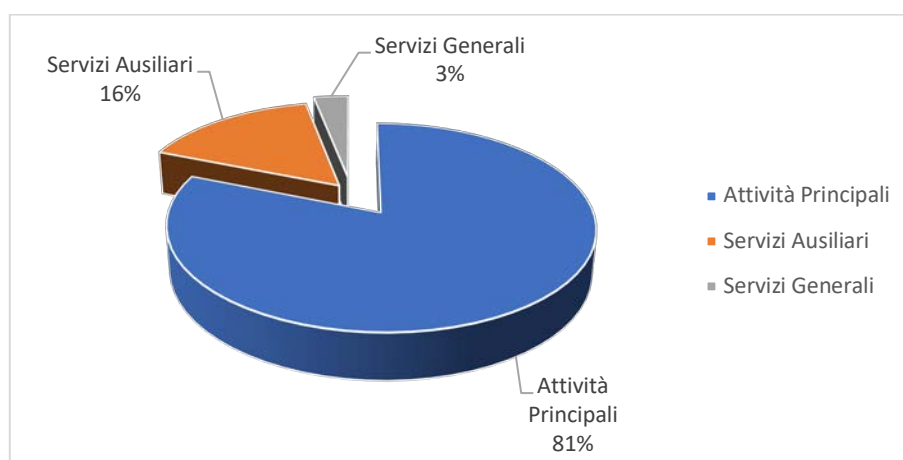


Figura 4.11: Ripartizione dei Consumi in Attività Principali, Servizi Ausiliari e Generali (2018).

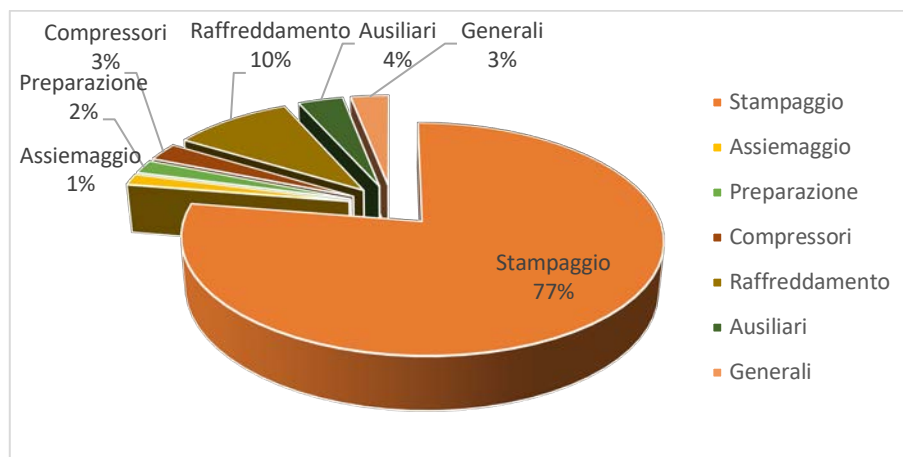


Figura 4.12: Ripartizione dei Consumi nelle varie Attività (2018).

Come si può notare il centro di costo più energivoro (77%) è costituito ovviamente dallo stampaggio a iniezione, che oltre alle presse, le quali presentano le potenze d'impiego maggiori rispetto a tutte le altre apparecchiature presenti nello stabilimento, comprende anche le centraline di termoregolazione per il condizionamento degli stampi.

Tuttavia, sebbene la ripartizione sia pressochè identica a quella di partenza del 2014, si nota come la quantità di energia impiegata risulti molto più bassa rispetto agli anni precedenti, ma il cambiamento più significativo si riscontra nell'indice di prestazione, che risulta inferiore all'unità.

<b>2018</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 37.618	331.453	344.682	0,9616
FEBBRAIO	€ 39.326	346.747	394.517	0,8789
MARZO	€ 38.845	341.238	362.680	0,9409
APRILE	€ 34.783	303.759	332.394	0,9139
MAGGIO	€ 42.496	373.662	425.475	0,8782
GIUGNO	€ 35.599	308.299	364.286	0,8463
LUGLIO	€ 37.261	343.560	390.635	0,8795
AGOSTO	€ 30.210	268.387	298.055	0,9005
SETTEMBRE	€ 35.778	327.224	385.614	0,8486
OTTOBRE	€ 39.690	360.021	419.658	0,8579
NOVEMBRE	€ 37.884	340.697	404.473	0,8423
DICEMBRE	€ 25.002	215.352	247.105	0,8715
<b>TOTALE</b>	<b>€ 434.492</b>	<b>3.860.399</b>	<b>4.369.574</b>	<b>0,8835</b>

Tabella 4.9: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018.

Come si può vedere dalla Tabella 4.9, dove sono riportati i dati con dettaglio mensile, per l'anno di riferimento 2018, l'azienda ha consumato un totale di 3.860.399 kWh, per lavorare un totale di 4.369.574 kg di materia prima, con un costo complessivo dell'energia pari a 434.492 €.

Il miglioramento conseguito è essenzialmente dovuto alla realizzazione degli interventi di efficientamento sopra elencati, nonché all'implementazione di alcune tra le *Best Practices* disponibili nel settore, che all'attenzione all'efficienza energetica dimostrata dal personale aziendale negli ultimi 4 anni.

Nella Figura 4.13 vengono rappresentati i prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dell'anno considerato. L'indice di prestazione risulta più elevato nei mesi di gennaio, marzo e aprile, variando da un valore minimo di 0,8486 kWh/kg, ad un valore massimo di 0,9616 kWh/kg.

Tale scostamento dimostra che la combinazione delle numerose variabili non controllabili da parte dell'azienda, come il mix produttivo, le diverse logiche di produzione, o le condizioni climatiche, possono influenzare anche in modo importante l'attività di stampaggio.

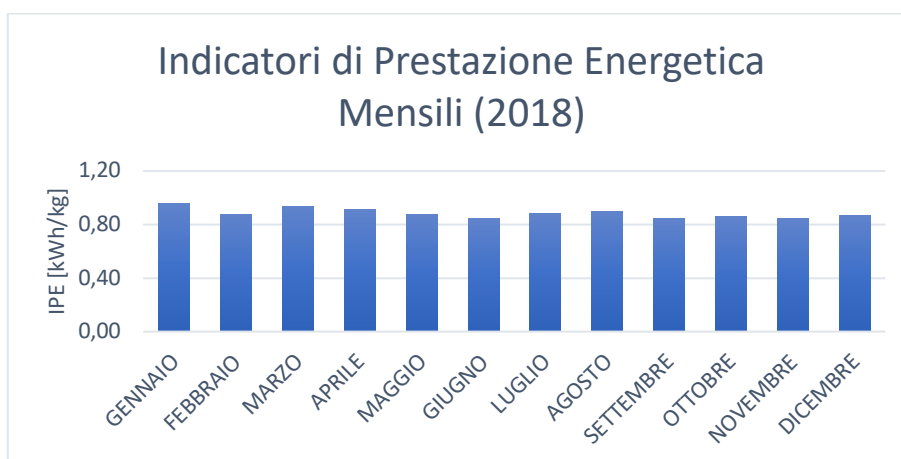


Figura 4.13: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).

<b>2017 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 180.399	-723.894	49.532	0,8835
% di scostamento	-29,3%	-15,8%	1,1%	-16,7%

Tabella 4.10: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.

L'indice di prestazione risulta inferiore del 16,7% rispetto all'anno precedente. È diminuito anche il consumo di energia elettrica, e di conseguenza la spesa collegata, e risulta aumentata la produzione.

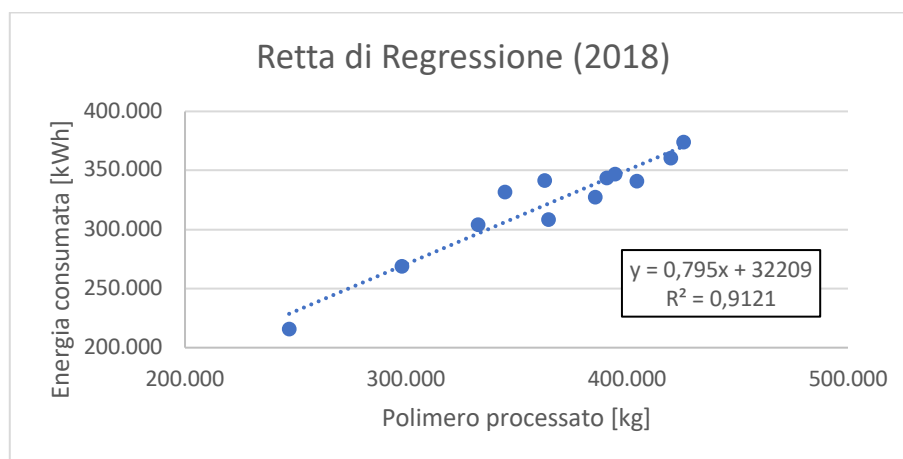


Figura 4.14: Retta di Regressione Lineare (2018).

Dal coefficiente  $R^2$ , che risulta superiore a 0,9, si evince che tale modello risulta affidabile: in particolare si nota una diminuzione dei consumi fissi, rispetto all'anno precedente, che passano da 68.008 kWh a 32.209 kWh.

Per terminare questa analisi, vengono riportati alcuni grafici particolarmente significativi: la Figura 4.15 riporta le curve di carico dell'azienda dall'anno 2014 all'anno 2018, dimostrando come la richiesta di energia elettrica si ad oggi nettamente inferiore. Ad esempio, mentre nell'anno 2015 si è verificato un picco di richiesta elettrica mensile superiore a 600.000 kWh, nel 2018 la richiesta si è sempre mantenuta al di sotto dei 400.000 kWh.

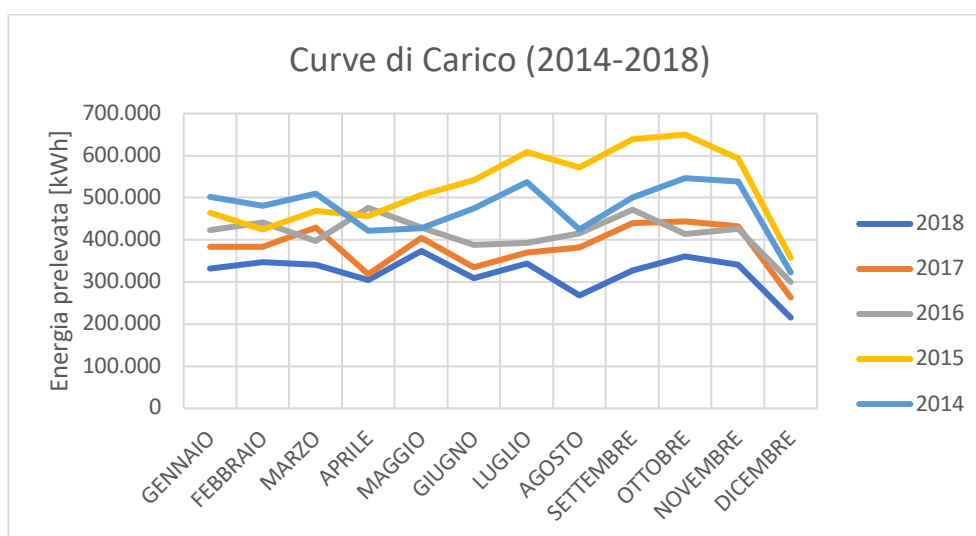


Figura 4.15: Curve di Carico dal 2014 al 2018.

Nella Figura 4.16 vengono rappresentati i prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dell'anno 2014 all'anno 2018, mostrando come sia diminuito nel tempo l'indice di prestazione.

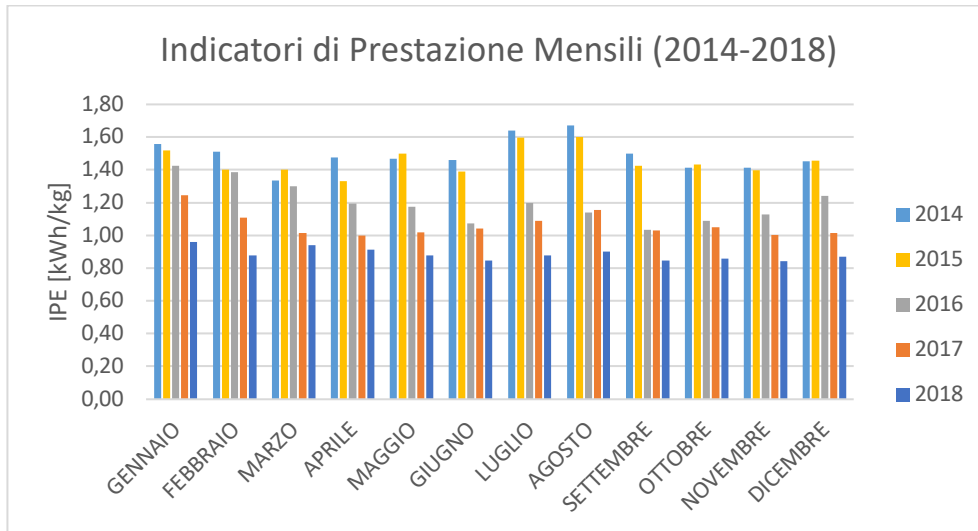


Figura 4.16: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014 – 2018).

Infine, la Figura 4.17 mostra l'andamento dell'indice di prestazione caratteristico di questa azienda, dal 2012 ad oggi, attestandone il significativo miglioramento:

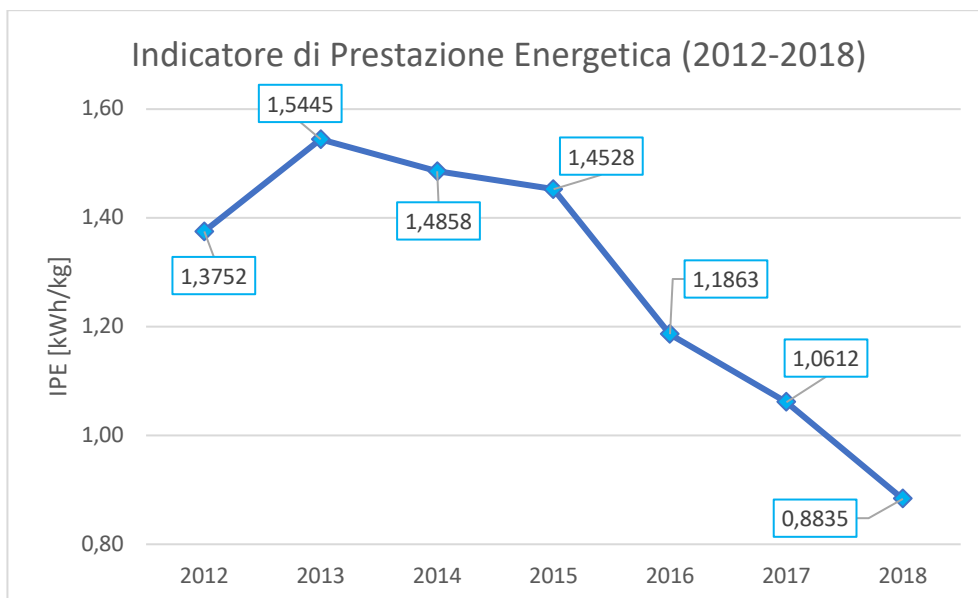


Figura 4.17: Indice di Prestazione Energetica (2012-2018).

<b>2012 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 465.912	-1.528.699	450.711	-
% di scostamento	-51,7%	-28,4%	11,5%	-35,8%

Tabella 4.11: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2012 e 2018.

In particolare, si nota come nel corso di 6 anni, grazie all'implementazione degli interventi sopra elencati, ma soprattutto grazie a comportamenti di lavoro ed utilizzo corretto delle macchine, sono stati più che dimezzati i costi relativi all'energia elettrica, aumentando complessivamente la produzione del 11,5% e riducendo l'indice di prestazione iniziale del 35,8%.

Questo caso studio rappresenta un chiaro esempio dell'efficacia dei vari interventi citati, ma soprattutto dei vantaggi ottenibili mediante l'implementazione delle migliori pratiche presenti nel settore, del corretto comportamento da parte degli operatori e dell'elevata attenzione alla manutenzione.

Grazie ai dati raccolti dal sistema di monitoraggio installato a settembre 2018, è stato possibile ricavare i consumi elettrici delle linee di stampaggio per i mesi successivi, riuscendo così ad elaborare anche degli indici di prestazione relativi all'attività principale.

I risultati vengono riportati nella Tabella 4.12:

<b>2018</b>	<b>kWh CONSUMATI BLINDO A</b>	<b>kWh CONSUMATI BLINDO B</b>	<b>kWh CONSUMATI ATTIVITÀ PRINCIPALE</b>	<b>kg MATERIA PRIMA STAMPATI</b>	<b>kWh/kg M.P. ATTIVITÀ PRINCIPALE</b>
SETTEMBRE	224.560,6	17.049,4	241.610,0	385.614	0,6266
OTTOBRE	156.630,5	11.628,2	168.258,7	419.658	0,4009
NOVEMBRE	148.289,7	114.036,8	262.326,5	404.473	0,6486
DICEMBRE	98.241,3	59.691,4	157.932,7	247.105	0,6391
<b>TOTALE</b>	<b>627.722,1</b>	<b>202.405,8</b>	<b>830.127,9</b>	<b>1.456.850</b>	<b>0,5698</b>

Tabella 4.12: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione 2018 per Attività Principale.



Confrontando l'indice totale medio ricavato con i valori trovati in letteratura, esso risulta inferiore alla metà del valore 1,2536<sup>38</sup> kWh/kg.

Andando ad analizzare questi valori con il metodo della regressione lineare, si ottengono i risultati riportati nelle Figure 4.18 e 4.19:

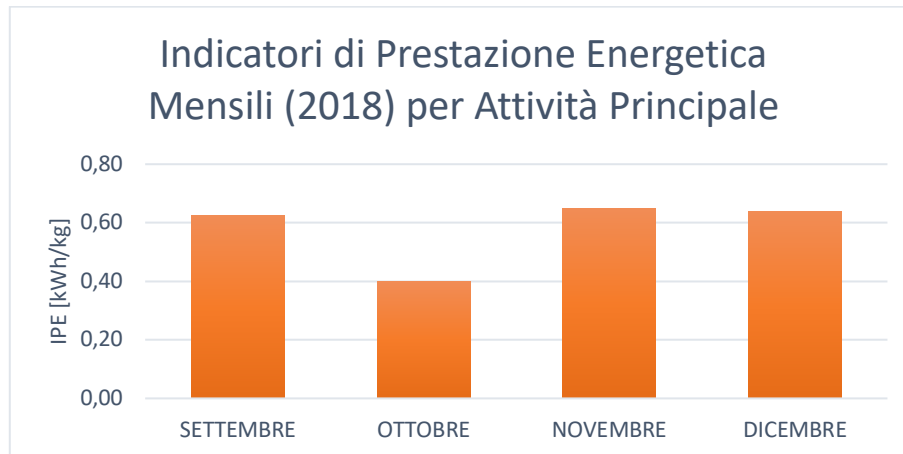


Figura 4.18: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per Attività Principale.

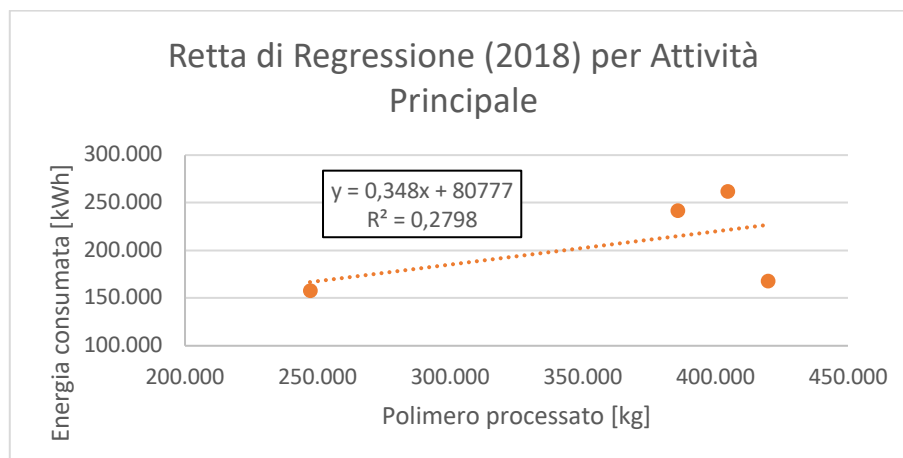


Figura 4.19: Retta di Regressione Lineare (2018) per Attività Principale.

Si nota che ottobre costituisce un mese particolare, perché non in linea con gli indici ricavati per gli altri mesi. Mentre per i mesi di settembre, novembre e dicembre, un indice di prestazione circa pari a 0,6 indica che i 2/3 dell'energia consumata è attribuibile all'attività principale, nel mese di ottobre l'incidenza dei servizi generali e ausiliari risulta decisamente più marcata, e tale indicatore potrebbe costituire un campanello d'allarme.

<sup>38</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione per Attività Principale ricavato dall'ENEA.

Come si può vedere dal coefficiente  $R^2$ , il modello risulta poco affidabile, ma la scarsa affidabilità è sostanzialmente dovuta alla quantità di dati disponibili che fanno riferimento solamente a 4 mesi, e alla presenza di un dato particolare come quello di ottobre.

L'indice di prestazione dell'azienda relativo all'attività principale risulta comunque ottimo rispetto alla media di settore.

A questo punto, si è voluto analizzare la validità del modello fornito dall'ENEA tramite l'utilizzo della curva dell'indice di prestazione, che per lo stampaggio ad iniezione, la cui retta di regressione è rappresentata dalla seguente equazione:

$$y = 0,522106x + 2.397.146$$

*Equazione 4.1: Retta di Regressione per lo Stampaggio a Iniezione.*

Andando ad utilizzare l'Equazione 2.2, sostituendo alla  $x$  il valore dei kg di prodotto stampati dall'azienda nel 2018, si ottiene il seguente indice di prestazione:

$$IPE = 0,522106 + \frac{2.397.146}{4.369.574} = 1,07 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.2: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dall'ENEA.*

L'indice così ricavato fa riferito alle attività principali, pertanto, sulla base del consumo elettrico stimato dall'inventario del 2018, è stato ricavato un indice per attività principale pari a 0,8547 kWh/kg. I risultati ottenuti presentano uno scostamento del 20%.

Secondo tale modello, un'azienda che lavora nel settore dello stampaggio ad iniezione e presenta la stessa produzione annua del caso studio considerato, dovrebbe essere caratterizzata dall'indice di prestazione che si ricava dall'Equazione 4.2.

Essendo in questo caso il valore reale inferiore a quello calcolato, si dimostra che l'azienda sia caratterizzata da prestazioni migliori rispetto alla media di settore.

Per migliorare ulteriormente la situazione dell'azienda, sono stati inoltre valutati i seguenti interventi di efficientamento energetico:

Impianto fotovoltaico: è stata valutata la possibilità di autoprodurre energia elettrica da utilizzare in autoconsumo mediante un impianto fotovoltaico. Analizzate le superfici di copertura dello stabilimento, si ritiene sia possibile installare un impianto da 168 kWp, ricavando i seguenti risultati:

<b>Fotovoltaico</b>		
Potenza Installata	[kWp]	168
Produzione Media	[kWh/kWp]	1100
Costi di Installazione	[€/kWp]	1100
Autoconsumo	[%]	60%
Tariffa per Scambio sul Posto	[€/kWh]	0,10
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,113
Risparmio Annuo Autoconsumo	[€]	12.529 €
Ricavi Scambio sul Posto	[€]	7.392 €
Flusso di Cassa Annuo	[€]	19.921 €
Investimento iniziale $I_0$	[€]	184.800 €
Vita Utile	[anni]	20
Fattore di Attualizzazione	[anni]	12,46
VAN	[€]	63.465 €
TR	[anni]	9,28
TIR	[%]	9%
IP	$VAN/I_0$	0,34

Tabella 4.13: Dati Impianto Fotovoltaico

Trigenerazione: è stata valutata l'installazione di un impianto di trigenerazione a partire dalla taglia del *chiller* più grande installato nello stabilimento e da quella dei dry cooler, essendo entrambi utilizzati per il raffreddamento.

Dalle potenze di targa sono stati ricavati i kW elettrici e termici necessari sulla base dei quali è stata scelta la macchina da catalogo. I dati riportati nella Tabella 4.14 sono stati ricavati da un

catalogo di Ener Blu Cogeneration - Gruppo Riello Elettronica, ipotizzando un investimento iniziale pari a 880.000 € (considerando 2.200 €/kWe).

<b>Trigenerazione</b>		
Potenza Elettrica installata	[kW <sub>e</sub> ]	400
Potenza Termica installata	[kW <sub>t</sub> ]	512
Combustibile consumato	[Sm <sup>3</sup> /h]	109
CHP_Eη	[%]	38%
Rif_Eη	[%]	47%
CHP_Hη	[%]	49%
Rif_Hη	[%]	92%
Energia Elettrica Cogenerata	[kWh <sub>e</sub> ]	2.068.000
Energia Termica Cogenerata	[kWh <sub>t</sub> ]	2.647.040
Energia del combustibile	[kWh]	5.409.211
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,113
Prezzo medio gas metano	[€/m <sup>3</sup> ]	0,45
Costo Manutenzione	[€/h]	3,6
Vita Utile	[anni]	20
Investimento Iniziale I <sub>0</sub>	[€]	880.000 €
Totale Ricavi	[€]	338.105 €
Totale Costi	[€]	298.283 €
Flusso di Cassa	[€]	39.821 €
PES	[%]	24%
TR	[anni]	22,10
Tasso Attualizzazione	[%]	5%
Fattore di Attualizzazione	[anni]	12,46
VAN	[€]	-383.737,31 €
TIR	[%]	-1%
IP	VAN/I <sub>0</sub>	-0,4361
RISP	[MWh]	1.868,01
CB	-	225
Valore CB	[€]	260 €

Tabella 4.14: Dati Impianto di Trigenerazione.

Come si può vedere dai dati ricavati, l'investimento presenta un tempo di ritorno decisamente elevato, anche considerando i ricavi ottenibili dalla vendita dei certificati bianchi.

Si vuole precisare che tale risultato è dovuto al prezzo di acquisto dell'energia elettrica incentivato.

Provando ad eseguire la valutazione considerando un prezzo dell'energia elettrica pari a 0,1382 €/kWh (ovvero il prezzo medio che l'azienda pagherebbe senza usufruire dell'incentivo), si otterrebbe un tempo di ritorno semplice di circa 9 anni.

Si consiglia infine di terminare l'applicazione delle termocoperte, sostituire le poche vecchie lampade rimanenti con lampade a led, e di investire per installare degli inverter sulle macchine rimanenti in modo da conseguire elevati risparmi energetici ed economici.

## 4.2 Caso 2

Anche l'azienda energivora considerata per il secondo caso studio è stata oggetto di diagnosi energetica nel 2015. Tale documento verrà utilizzato per descrivere la situazione aziendale di partenza, descrivendo quali sono stati i cambiamenti avvenuti nei successivi 4 anni.

L'azienda è specializzata nella fornitura di imballaggio industriale prevalentemente per l'industria chimica, tramite il processo di estrusione di film soffiato, utilizzando una miscela di polietilene a bassa densità, polietilene ad alta densità e metallocene, inoltre possono essere aggiunti eventuali additivi a seconda della necessità del cliente.

Tutti gli articoli vengono prodotti a partire dai granuli di materia prima che vengono miscelati in base alla ricetta necessaria ad ottenere le caratteristiche tecniche richieste dal cliente.

Il granulo viene fuso, estruso e soffiato in bolla formando un tubolare eventualmente tagliato e rilavorato per ottenere il prodotto finito in foglia o in sacco singolo.

Nel caso in cui si producano bobine di tubolare, il materiale viene piegato in un percorso a rulli lungo il quale subisce lavorazioni quali: soffiatura, goffatura, micro o nano foratura e stampa flessografica in linea con inchiostri a base solvente.

Il materiale viene avvolto in bobine su mandrini in PVC, e una volta che la bobina raggiunge il diametro desiderato dal cliente viene tagliata, pesata e preparata per il confezionamento.

Una bobina tubolare può pesare fino a circa 200 kg.

Se il prodotto finito è richiesto in sacchi singoli, l'ulteriore fase di lavorazione necessaria viene effettuata sulle macchine fondellatrici. Partendo da bobine di tubolare avvolte su carrelloni con portata di circa 2.000 kg, quindi dal prodotto che ha già superato le precedenti fasi di lavorazione, il carrellone viene posizionato su dei binari fissi in prossimità delle macchine fondellatrici che convogliano tramite rulli il tubolare che viene trasformato in sacchi singoli tramite piegatura, taglio, saldatura ed eventuale applicazione della valvola.

Il sopralluogo è stato effettuato a gennaio 2019: la sede è costituita da un unico stabilimento in cui sono presenti l'area di produzione che comprende le linee di estrusione e il magazzino, e l'area uffici.

Il reparto di produzione opera su tre turni, dal lunedì al sabato mattina.

Come visto per il caso precedente, anche all'interno di questa azienda è possibile individuare le attività principali, i servizi ausiliari e quelli generali, come indicato nella modalità di svolgimento della diagnosi energetica.

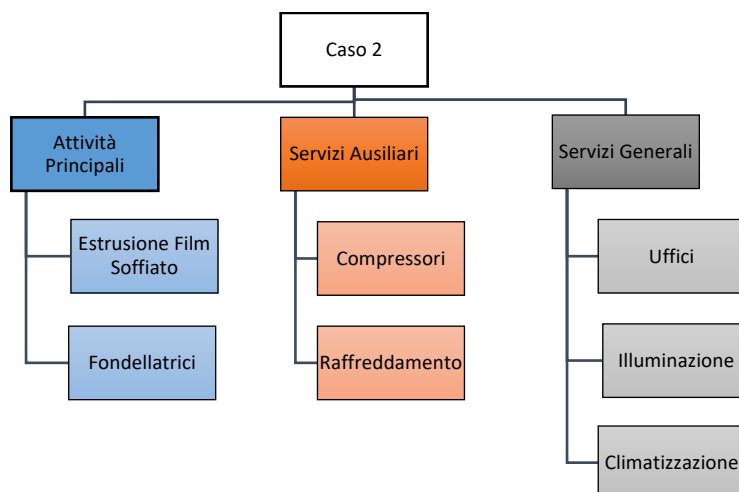


Figura 4.20: Suddivisione in Aree Funzionali.

Per iniziare, verrà analizzata la situazione dell'azienda, gli indici di prestazione, e le soluzioni proposte riportate nella diagnosi energetica del 2015 (dati 2014).

Netta Tabella 4.15 sono stati riportati i kWh elettrici consumati, la spesa sostenuta dall'azienda per l'energia elettrica, i kg di materia prima stampata, e l'indice di prestazione ricavato.

<b>2014</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 43.661	255.032	1.130.229	1,0539
FEBBRAIO	€ 40.719	251.199		
MARZO	€ 41.872	258.781		
APRILE	€ 36.108	217.907		
MAGGIO	€ 34.577	208.198		
GIUGNO	€ 33.657	200.297	240.504	0,8328
LUGLIO	€ 37.459	229.701	362.247	0,6341
AGOSTO	€ 11.042	60.987	87.066	0,7005
SETTEMBRE	€ 39.550	237.867	341.365	0,6968
OTTOBRE	€ 38.301	227.770	298.323	0,7635
NOVEMBRE	€ 31.107	187.747	257.406	0,7294
DICEMBRE	€ 31.558	183.607	238.602	0,7695
<b>TOTALE</b>	<b>€ 419.611</b>	<b>2.519.093</b>	<b>2.955.742</b>	<b>0,8523</b>

Tabella 4.15: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2014.

Come si può vedere dalla tabella precedente, l'azienda non disponeva del dato mensile di produzione per i primi 5 mesi, pertanto era stato fornito un dato aggregato, la cui validità andrà ad incidere sul modello ricavato mediante il metodo di regressione lineare.

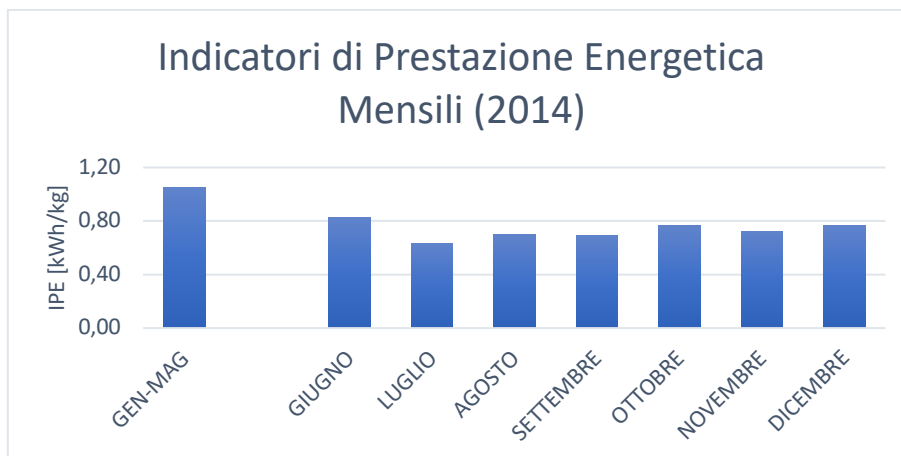


Figura 4.21: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014).

Escludendo il dato aggregato riferito ai primi 5 mesi, l'indice di prestazione risulta simile negli altri mesi dell'anno, presentando un picco a giugno.

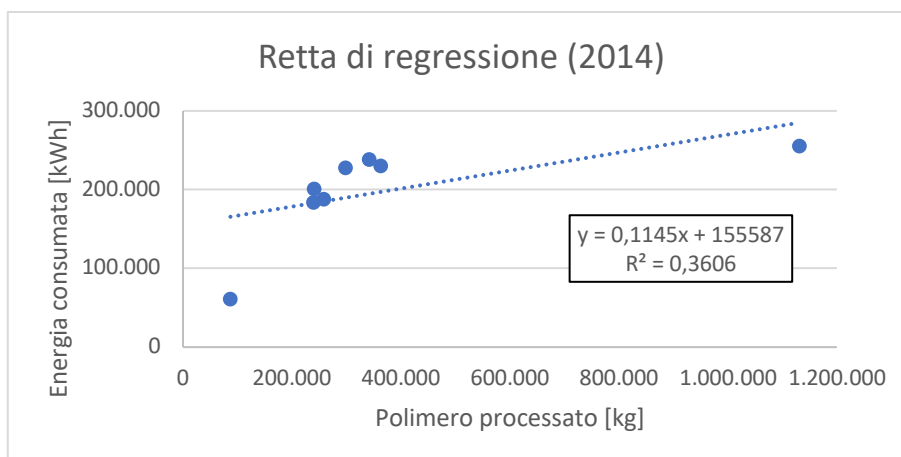


Figura 4.22: Retta di Regressione Lineare (2014).

Come ci si poteva aspettare, basandosi sul coefficiente  $R^2$ , il modello non risulta affidabile, ma questo è sostanzialmente dovuto al dato aggregato citato in precedenza. Di seguito infatti è stata fatta la stessa analisi, ma considerando solamente i dati che vanno da giugno a dicembre.

Ne risulta un modello decisamente più affidabile, essendo il coefficiente  $R^2$  superiore a 0,9, il che è dovuto all'andamento quasi lineare degli indici di prestazione, come era già stato osservato nella Figura 4.21.



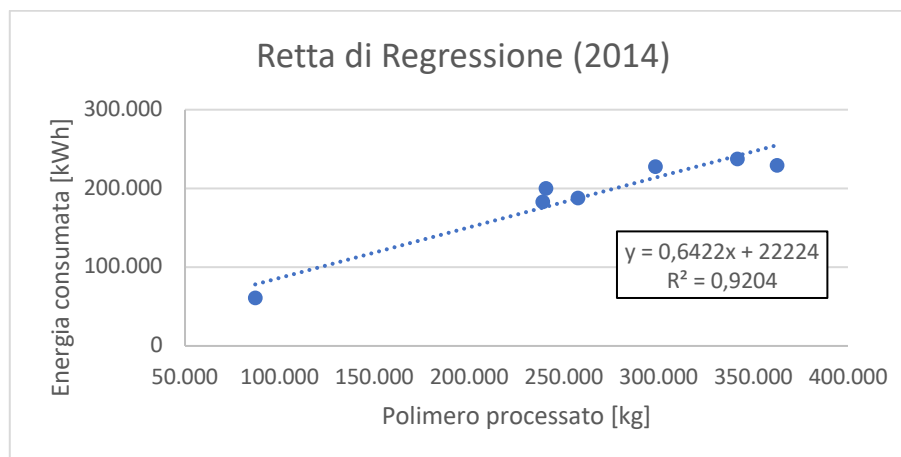


Figura 4.23: Retta di Regressione Lineare (2014) evitando i punti peggiori.

Confrontando l'indice medio riferito all'anno 2014, pari a 0,8523 kWh/kg, con i dati ricavati dalla letteratura, esso risulta compreso tra 1,346<sup>39</sup> kWh/kg e 0,789<sup>40</sup> kWh/kg. L'indice risulta inferiore rispetto alla media riportata nello studio dell'Unione Europea, e molto più vicino al dato medio ricavato dall'ENEA, sebbene non sia ancora in linea con esso, anche se, questo potrebbe dipendere dalla mancanza di dati precisi riferiti alla prima parte dell'anno.

All'interno della diagnosi energetica, erano stati inoltre proposti i seguenti interventi di efficientamento:

- 1) Aria Compressa: in una rete di distribuzione dell'aria compressa le perdite vanno sempre minimizzate in quanto rappresentano uno spreco energetico ed economico. Piccole perdite ma distribuite lungo la rete possono comportare extra costi per migliaia di €/anno, dato che mediamente la produzione di aria compressa nel settore industriale incide per circa l'8-10% dei consumi elettrici. La misura delle perdite può essere condotta in maniera semplificata con costi molto ridotti monitorando per esempio il tempo di funzionamento dei compressori oppure il calo di pressione nei serbatoi di accumulo, in entrambi i casi nella condizione di utenze non attive ovvero nei fine settimana o durante le ferie. Il controllo più accurato può essere effettuato con strumentazione dedicata in grado di individuare le perdite stimandone in maniera attendibile la portata in litri/minuto.

In generale, monitorare le perdite della rete di distribuzione dell'aria compressa ha tempi di ritorno molto contenuti.

<sup>39</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da EURecipe.

<sup>40</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato dall'ENEA.

- 2) *Re-lamping* illuminazione: il progetto prevede l'installazione di lampade a led ad alta efficienza in particolare sui corpi illuminanti che hanno funzionamento molto prolungato, ovvero quelli presenti in produzione.
- 3) Installazione impianto fotovoltaico: in base ai profili di carico elettrico dell'anno 2014, ha senso valutare la possibilità di autoprodurre energia elettrica da utilizzare in autoconsumo. Dall'analisi delle superfici della copertura dello stabilimento, risultava possibile installare un impianto di almeno 120 kWp.
- 4) Cambio combustibile termico: lo stabilimento oggetto di diagnosi energetica utilizzava come combustibile per il riscaldamento degli ambienti il gasolio. In seguito alla valutazione economica effettuata, il passaggio al gas metano, la cui rete di distribuzione si trova ad alcune centinaia di metri dal sito considerato, garantirebbe notevoli risparmi.

Nella diagnosi era stata valutata anche la fattibilità di teleriscaldamento e cogenerazione, ma non risultavano nelle vicinanze dello stabilimento reti di teleriscaldamento o impianti di cogenerazione ad alto rendimento (CAR) che potessero essere oggetto di valutazioni tecnico-economiche specifiche.

Durante il sopralluogo del 2019, è stato possibile constatare quali di questi interventi di efficientamento sono stati implementati nel corso di questi 4 anni.

In particolare:

- 1) Le perdite di aria compressa non risultano essere monitorate.
- 2) Alcune lampade installate nell'area produttiva sono state sostituite con lampade a led, ma la maggior parte risulta ancora a neon.
- 3) Non è stato installato alcun impianto fotovoltaico.
- 4) L'azienda ha continuato ad utilizzare il gasolio come combustibile termico.

Anche se non previsto dalla diagnosi, è stato installato un sistema di monitoraggio su alcune linee produttive e sui compressori, uno dei quali è stato sostituito.

Oltre ai dati relativi all'anno 2018, sono stati forniti anche i dati relativi agli anni 2016 e 2017, in modo da poter ricostruire la situazione dell'azienda considerata in questo lasso di tempo.

<b>2016</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 30.262	198.794	317.497	0,6261
FEBBRAIO	€ 30.719	205.574	271.694	0,7566
MARZO	€ 30.511	210.566	327.380	0,6432
APRILE	€ 27.212	182.422	211.192	0,8638
MAGGIO	€ 29.812	196.586	210.451	0,9341
GIUGNO	€ 20.233	131.132	165.456	0,7925
LUGLIO	€ 24.215	151.215	266.297	0,5678
AGOSTO	€ 6.424	35.786	102.151	0,3503
SETTEMBRE	€ 25.612	161.271	259.848	0,6206
OTTOBRE	€ 25.276	158.399	271.959	0,5824
NOVEMBRE	€ 28.995	172.977	332.490	0,5202
DICEMBRE	€ 27.199	162.162	260.441	0,6226
<b>TOTALE</b>	<b>€ 306.473</b>	<b>1.966.884</b>	<b>2.996.855</b>	<b>0,6563</b>

Tabella 4.16: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016.

Dai dati riportati in tabella si nota che il mese di agosto presenta un indice di prestazione nettamente inferiore agli altri mesi.

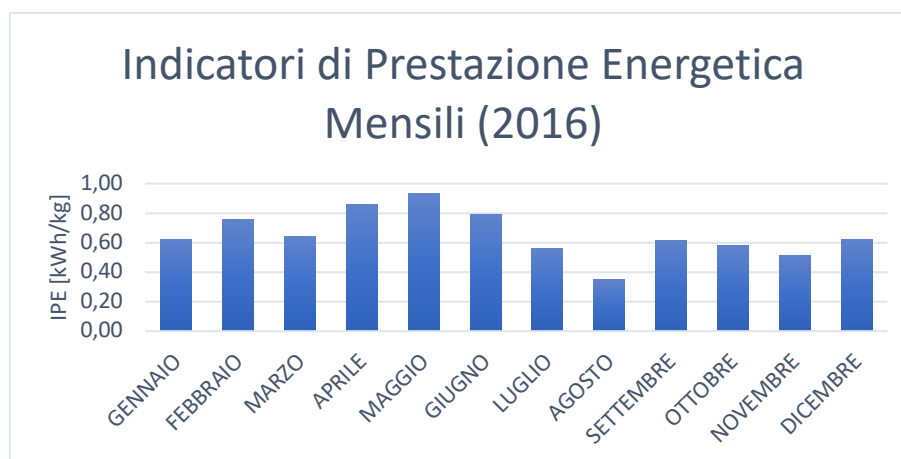


Figura 4.24: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).

Gli indicatori di prestazione riportati nella figura precedente, mostrano una crescita nei primi mesi dell'anno, fino a maggio, una successiva discesa fino al mese di agosto, e un indice quasi lineare negli ultimi mesi dell'anno. Questo potrebbe essere dovuto sia al mix produttivo, che al fatto che i dati di produzione sono ricavati dalle fatture mensili, pertanto tali dati non sono

particolarmente affidabili, in quanto la quantità indicata potrebbe essere stata prodotta in un altro mese rispetto a quello indicato in seguito alle esigenze di spedizione del cliente.

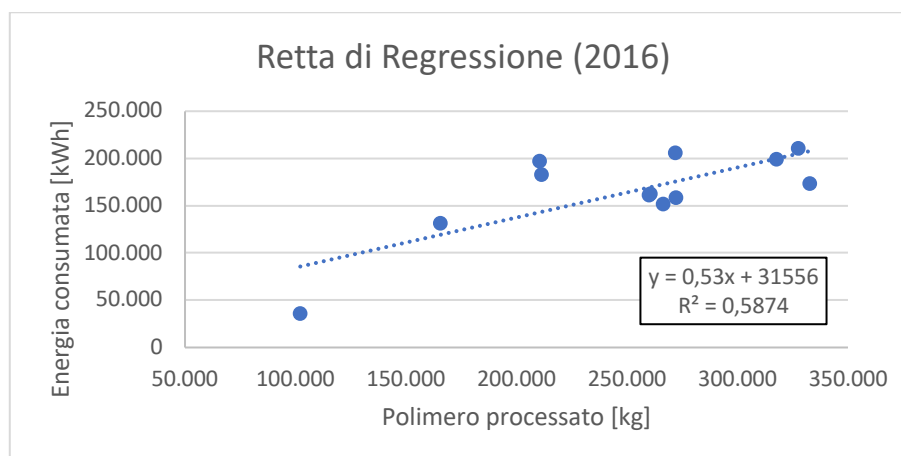


Figura 4.25: Retta di Regressione Lineare (2016).

Il modello ottenuto non risulta particolarmente affidabile. La situazione sembra migliorare andando ad interpolare i punti con una funzione polinomiale di 2° o 3° grado. Seguendo il procedimento utilizzato dall'ENEA spiegato in precedenza, più del 10% dei punti reali risulta distante più del 30% dai valori calcolati.

<b>2016</b>	<b>INDICE DI PRESTAZIONE REALE [kWh/kg]</b>	<b>INDICE DI PRESTAZIONE CALCOLATO [kWh/kg]</b>	<b>SCOSTAMENTO %</b>
GENNAIO	0,6261	0,6294	-1%
FEBBRAIO	0,7566	0,6461	17%
MARZO	0,6432	0,6264	3%
APRILE	0,8638	0,6794	27%
MAGGIO	0,9341	0,6799	37%
GIUGNO	0,7925	0,7207	10%
LUGLIO	0,5678	0,6485	-12%
AGOSTO	0,3503	0,8389	-58%
SETTEMBRE	0,6206	0,6514	-5%
OTTOBRE	0,5824	0,6460	-10%
NOVEMBRE	0,5202	0,6249	-17%
DICEMBRE	0,6226	0,6512	-4%
<b>TOTALE</b>	<b>0,6563</b>	<b>0,5405</b>	<b>21%</b>

Tabella 4.17: Differenza tra Indici di Prestazione Reali e Calcolati (2016).

Passando alla valutazione del rapporto tra la deviazione standard ed il valor medio degli indici di prestazione, esso risulta pari a 24,2% ed essendo compreso nel *range* che va dal 20 al 50%, il modello risulta ancora poco affidabile. Come anticipato, questo potrebbe essere dovuto a molteplici fattori che incidono sul dato mensile, pertanto risulta più opportuno concentrarsi sul dato annuale per fare delle valutazioni.

Nella Tabella 4.18 vengono riportati i dati relativi all'anno 2017.

<b>2017</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 35.436	195.063	324.149	0,6018
FEBBRAIO	€ 29.475	195.098	274.698	0,7102
MARZO	€ 33.437	231.346	336.044	0,6884
APRILE	€ 18.781	129.544	225.349	0,5749
MAGGIO	€ 19.952	136.628	219.004	0,6239
GIUGNO	€ 18.571	119.779	174.146	0,6878
LUGLIO	€ 26.315	171.878	275.044	0,6249
AGOSTO	€ 10.635	58.287	102.151	0,5706
SETTEMBRE	€ 27.441	182.798	268.432	0,6810
OTTOBRE	€ 29.014	189.288	281.527	0,6724
NOVEMBRE	€ 32.653	195.058	342.566	0,5694
DICEMBRE	€ 27.192	174.120	268.635	0,6482
<b>TOTALE</b>	<b>€ 308.901</b>	<b>1.978.887</b>	<b>3.091.745</b>	<b>0,6401</b>

Tabella 4.18: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017.

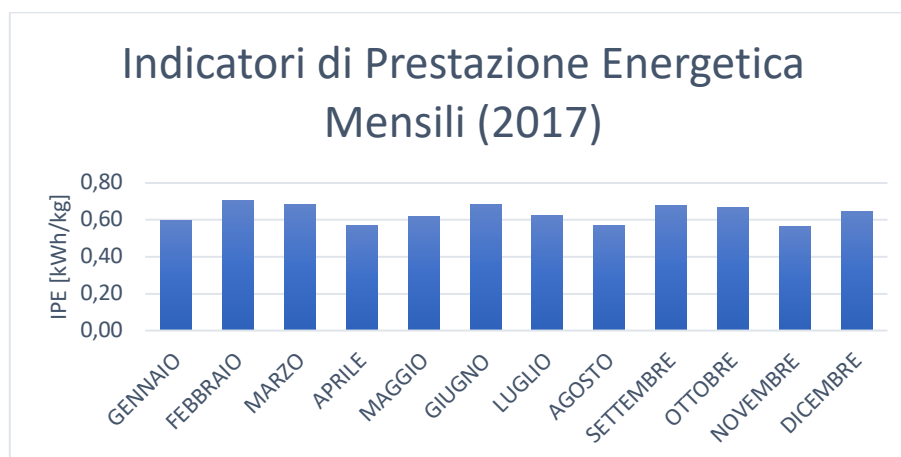


Figura 4.26: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).

In questo caso non sono presenti oscillazioni marcate come nel caso precedente, e l'indice di prestazione si presenta quasi lineare, come si può notare nella Figura 4.26.

Anche il modello ricavato dalla regressione lineare risulta affidabile, essendo il coefficiente  $R^2$  maggiore a 0,9.

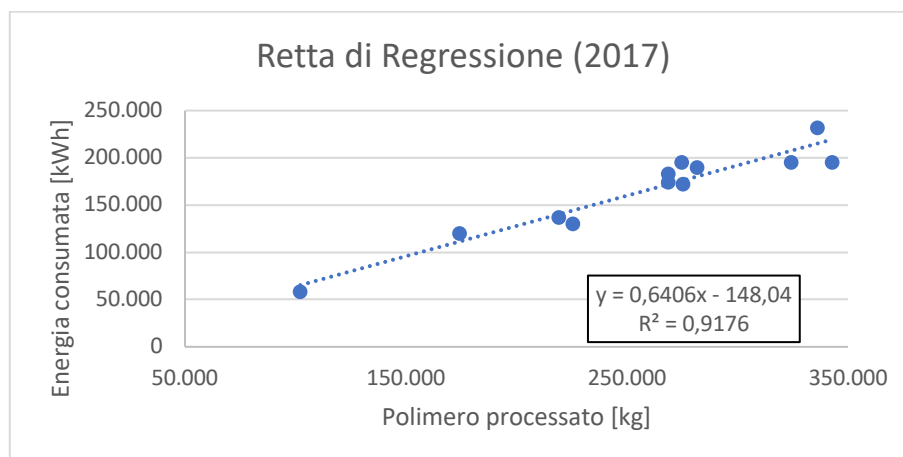


Figura 4.27: Retta di Regressione Lineare (2017).

Dall'equazione della retta di regressione si può notare che i consumi fissi espressi in kWh risultano in questo caso addirittura negativi. Il significato di tale valore è che questi consumi sono praticamente prossimi allo zero, infatti, analizzando le curve di carico quart'orarie, risulta evidente come nei momenti di non produzione, gli assorbimenti elettrici siano molto ridotti (qualche kWh di energia utilizzata).

Confrontando i dati relativi al 2016 con quelli del 2017, si ottengono i seguenti risultati:

<b>2016 vs 2017</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	€ 2.428	12.003	94.890	-
% di scostamento	0,8%	0,6%	3,2%	-2,5%

Tabella 4.19: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.

Dalla Tabella 4.19 si evince un aumento dei costi relativi all'energia elettrica e di kWh consumati inferiore all'1%, e un aumento dei kg di materia prima estrusa del 3,2%. In particolare, l'indice di prestazione medio annuo risulta migliorato del 2,5%.

Infine, viene analizzato l'anno 2018: come per il caso precedente, si precisa che i dati utilizzati nell'inventario delle utenze elettriche per la ripartizione dei consumi sono dati stimati con il responsabile di produzione dell'azienda, partendo dai dati di targa delle singole macchine e dalle ore di lavoro. Nella Figura 4.28 si vede come sono ripartiti i consumi elettrici relativi all'anno 2018 per i vari settori.

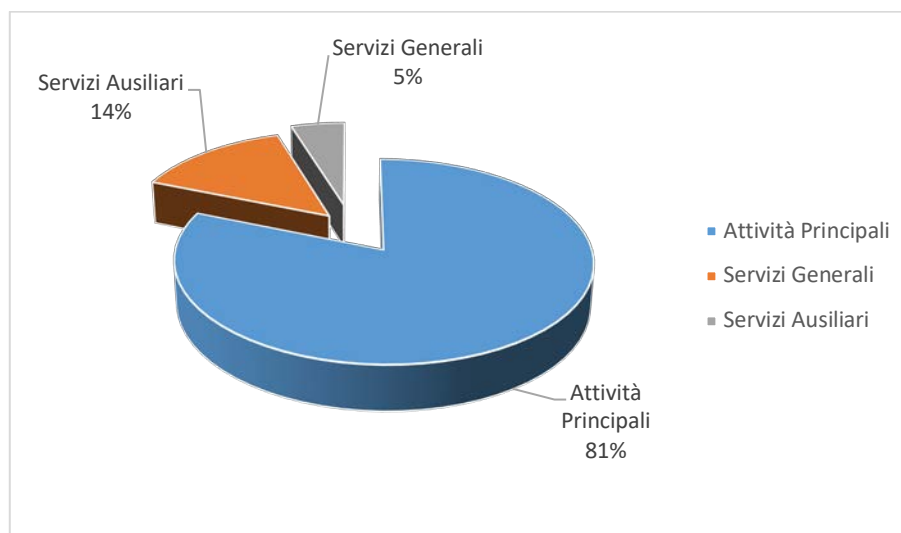


Figura 4.28: Ripartizione dei Consumi in Attività Principali, Servizi Ausiliari e Generali (2018).

Nella Tabella 4.20 vengono riportati i dati relativi all'anno 2018.

<b>2018</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 19.604	209.396	369.482	0,5667
FEBBRAIO	€ 22.240	214.523	331.357	0,6474
MARZO	€ 21.641	208.160	327.585	0,6354
APRILE	€ 12.059	124.986	204.703	0,6106
MAGGIO	€ 17.977	175.019	272.369	0,6426
GIUGNO	€ 18.068	173.679	232.412	0,7473
LUGLIO	€ 53.697	152.205	290.946	0,5231
AGOSTO	€ 7.679	47.856	114.949	0,4163
SETTEMBRE	€ 25.238	168.602	272.950	0,6177
OTTOBRE	€ 30.763	208.602	353.216	0,5906
NOVEMBRE	€ 30.304	221.568	400.446	0,5533
DICEMBRE	€ 21.823	153.168	204.232	0,7500
<b>TOTALE</b>	<b>€ 281.095</b>	<b>2.057.764</b>	<b>3.374.647</b>	<b>0,6098</b>

Tabella 4.20: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018.

Si nota che i mesi di giugno, agosto e dicembre risultano anomali rispetto agli altri mesi dell'anno.

Come per l'anno 2016, i valori ottenuti potrebbero essere dovuti al mix produttivo e a particolari esigenze del cliente, essendo i consumi elettrici in linea con il resto dell'anno, ma la produzione risulta inferiore (a dicembre e a giugno, il contrario ad agosto).

L'indice annuo tuttavia ottenuto risulta inferiore alla media di settore riportata dall'ENEA (0,789 kWh/kg), dimostrando che l'azienda risulta attenta all'efficienza energetica, anche se questo dato potrebbe migliorare ulteriormente.

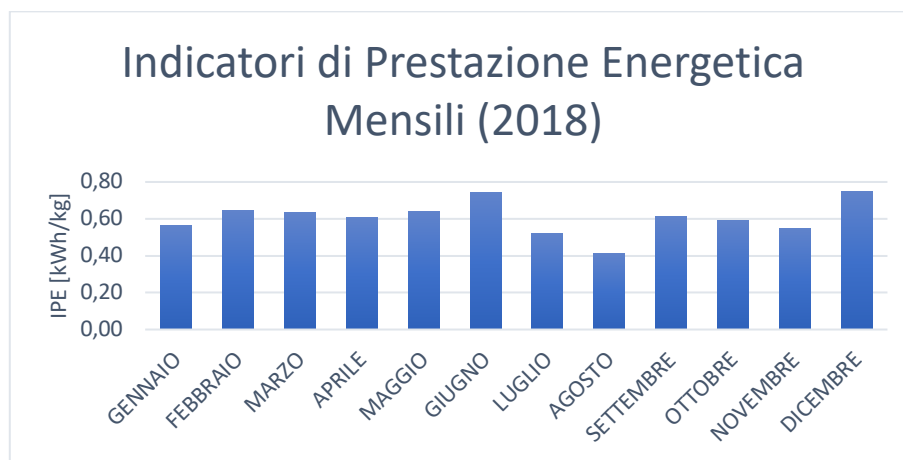


Figura 4.29: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).

Come anticipato si può vedere che l'indice di prestazione si presenta abbastanza lineare in tutti i mesi dell'anno, tranne per agosto e dicembre.

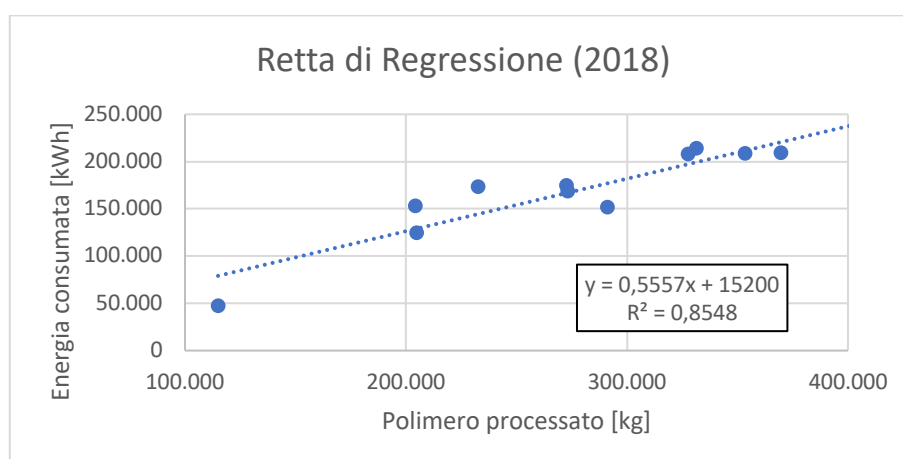


Figura 4.30: Retta di Regressione Lineare (2018).



Come sottolineato più volte, i dati mensili risultano poco affidabili per la costruzione di tali modelli, a causa degli innumerevoli fattori che ne potrebbero compromettere la validità. Il dato annuale risulta decisamente più significativo per questo caso studio, in quanto si mantiene simile per tutti e tre gli anni considerati.

<b>kWh/kg M.P.</b>	
2014	0,8523
2016	0,6563
2017	0,6401
2018	0,6261

Tabella 4.21: Indici di Prestazione ricavati.

Confrontando i dati del 2018 con quelli dell'anno precedente si vede che rispetto al 2017, nel 2018 è diminuita la spesa per l'energia elettrica del 9%, sono aumentati i kWh consumati e i kg di materia prima estrusa. L'indice di prestazione risulta leggermente migliorato.

<b>2017 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 27.806	78.877	282.902	-
% di scostamento	-9,0%	4,0%	9,2%	-4,7%

Tabella 4.22: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.

Andando a confrontare ora la situazione di partenza relativa al 2014 con quella del 2018 si ottengono i seguenti dati.

<b>2014 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 138.516	-461.329	418.905	-
% di scostamento	-33,0%	-18,3%	14,2%	-28,5%

Tabella 4.23: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2014 e 2018.

In quattro anni, l'azienda ha ridotto i costi relativi all'energia elettrica del 33%, diminuendo i kWh consumati del 18,3% e aumentando la produzione del 14,2%. Nel complesso l'indice di prestazione risulta inferiore del 28,5%.

Tale miglioramento potrebbe essere imputabile alla sostituzione di uno dei due compressori con una macchina più moderna ed efficiente, a misure comportamentali, e al mix di prodotto dell'azienda. Per esempio, la fondellatura viene ora eseguita solamente per determinati clienti, mentre la maggior parte compra dall'azienda considerata l'intero rotolo. Eliminando la fondellatura quindi si esegue un passaggio produttivo in meno risparmiando l'energia elettrica consumata.

Per terminare questa analisi, vengono riportate le curve di carico dell'azienda nei tre anni considerati, da cui si nota una maggior richiesta di energia nell'anno 2018 rispetto al 2017, come era già stato riportato nelle tabelle precedenti, giustificato da una maggiore quantità di materiale estruso.

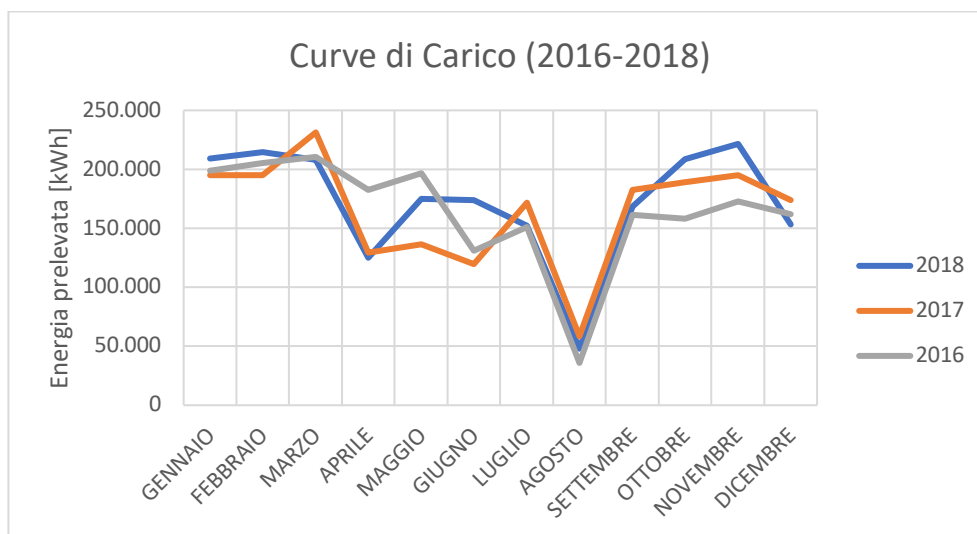


Figura 4.31: Curve di Carico dal 2016 al 2018.

Nella Figura 4.32 vengono rappresentati i prelievi di energia elettrica in relazione ai kg di materia prima stampata per i singoli mesi dei tre anni considerati, mostrando la variazione dell'andamento mensile dell'indicatore di prestazione.

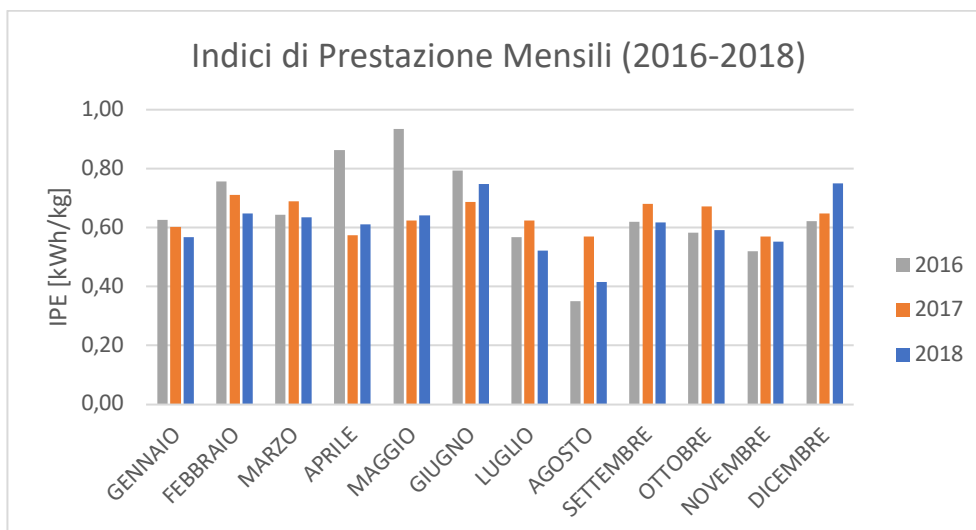


Figura 4.32: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018).

Viene infine riportato un grafico che mostra la diminuzione dell'indice di prestazione negli anni considerati.

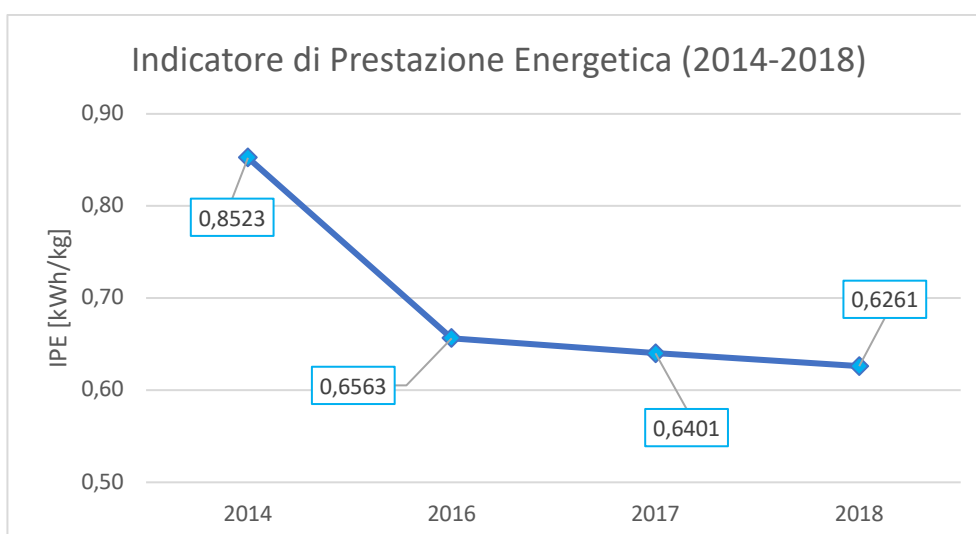


Figura 4.33: Indice di Prestazione Energetica (2014-2018).

Come per il caso precedente, è stata utilizzata l'Equazione 2.2, con i dati ricavati dal modello dell'ENEA, in cui è stato sostituito a x il valore dei kg di prodotto relativi all'azienda considerata, per calcolare l'indice di prestazione come segue:

$$IPE = 0,352713 + \frac{1.579.838}{3.374.647} = 0,8209 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.3: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

Anche in questo caso, è stato calcolato un valore dell'indice per le attività principali partendo dai consumi stimati riportati nell'inventario elettrico, da cui si ottengono 0,4844 kWh/kg.

Dato che l'indice reale risulta nettamente inferiore rispetto al valore calcolato, significa che l'azienda si dimostra più efficiente rispetto alle aziende che presentano dati simili di produzione.

Per migliorare ulteriormente la situazione dell'azienda, sono stati valutati i seguenti interventi di efficientamento energetico:

Impianto fotovoltaico: visti i profili di carico, ha senso valutare la possibilità di autoprodurre energia elettrica da utilizzare in autoconsumo mediante un impianto fotovoltaico.

Analizzate le superfici di copertura dello stabilimento, si ritiene sia possibile installare un impianto da 120 kWp, ricavando i seguenti risultati:

<b>Fotovoltaico</b>		
Potenza Installata	[kWp]	120
Produzione Media	[kWh/kWp]	1100
Costi di Installazione	[€/kWp]	1100
Autoconsumo	[%]	60%
Tariffa per Scambio sul Posto	[€/kWh]	0,10
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,137
Risparmio Annuo Autoconsumo	[€]	10.850 €
Ricavi Scambio sul Posto	[€]	5.280 €
Flusso di Cassa Annuo	[€]	16.130 €
Investimento iniziale I <sub>0</sub>	[€]	132.000 €
Vita Utile	[anni]	20
Fattore di Attualizzazione	[anni]	12,46
VAN	[€]	69.020 €
TR	[anni]	8,18
TIR	[%]	11%
IP	VAN/I <sub>0</sub>	0,52

Tabella 4.24: Dati Impianto Fotovoltaico

Trigenerazione: è stata valutata la convenienza di un impianto di trigenerazione a partire dalla taglia del *chiller* più grande installato nello stabilimento. Una volta ricavata l'energia elettrica richiesta per il raffreddamento, si ricava i risparmi ottenuti mediante l'autoproduzione di energia elettrica ed energia frigorifera, che risultano però inferiori alla spesa per il combustibile, a cui deve inoltre essere sommata una componente di costi dovuti alla manutenzione dell'impianto.

Dai risultati di seguito riportati quindi, non risulta conveniente l'installazione di tale impianto.

<b>Convenienza Cogenerazione</b>		
Potenza Frigorifera Installata	[kW <sub>f</sub> ]	5
Ore di Funzionamento	[ore/anno]	5760
Energia Elettrica richiesta per Raffreddamento	[kWh <sub>e</sub> ]	21.600
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,137
Spesa Totale per Energia Frigorifera	[€]	2.959 €
Energia Elettrica Frigorifera da Chiller	[kWh <sub>f</sub> ]	43.200
Energia Termica Assorbitore	[kWh <sub>t</sub> ]	61.714
Potenza Elettrica Installata	[kW]	5
Potenza Termica Installata	[kW]	11
Energia del Combustibile	[kWh]	92.571
Combustibile Consumato	[Sm <sup>3</sup> ]	12.911
Prezzo Medio GPL 2018	[€/m <sup>3</sup> ]	0,572
Spesa Combustibile	[€]	7.385 €
Autoconsumo Elettrico	[kWh <sub>e</sub> ]	28800
Risparmi Autoconsumo Elettrico	[€]	3.946 €
Risparmi Totali	[€]	6.905 €

Tabella 4.25: Dati Impianto di Trigenerazione.

Valutazione delle perdite di aria compressa: ipotizzando che il controllo specifico identifichi perdite equivalenti ad un foro di diametro 3 mm, se la pressione di esercizio è di 7 bar, la potenza che il compressore impiega per far fronte a questa perdita è di 4 kW, come riportato nella Tabella 2.6. Valorizzando l'energia elettrica al prezzo medio pagato nel corso del 2018, pari a 0,137 €/kWh, si ottengono i risultati riportati nella Tabella 4.26.

<b>Perdite Aria Compressa</b>		
Potenza Dispersa	[kW]	4
Perdite	[kWh]	23.424
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,137
Flusso di Cassa Annuo	[€]	3.209 €
Investimento iniziale $I_0$	[€]	3.000 €
Vita Utile	[anni]	3
Fattore di Attualizzazione	[anni]	2,72
VAN	[€]	5.739 €
TR	[anni]	0,93
TIR	%	92%
IP	$VAN/I_0$	1,91

Tabella 4.26: Valutazione Perdite di Aria Compressa.

Re-lamping illuminazione: il progetto prevede l'installazione di lampade a led al fine di sostituire le vecchie lampade in tutte le aree dell'azienda. Assumendo un tempo di ritorno semplice accettabile per l'azienda di 4 anni, si ottengono i seguenti risultati:

<b>Re-Lamping Illuminazione</b>		
Potenza Plafoniere	[W]	136
Quantità Lampade	-	60
Ore di funzionamento	[ore/anno]	4392
Consumo	[kWh]	35.839
Risparmio LED	-	50%
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,137
Flusso di Cassa Annuo	[€]	2.455 €
Investimento Iniziale $I_0$	[€]	9.820 €
TR	[anni]	4
Fattore di Attualizzazione	[anni]	7,72
VAN	[€]	9.137 €
TIR	%	21%
IP	$VAN/I_0$	0,93

Tabella 4.27: Dati Re-lamping Illuminazione.

### 4.3 Caso 3

L'azienda a forte consumo energetico considerata per questo caso studio è specializzata nella lavorazione di polimeri sintetici, normalmente pellets o polvere, per la produzione di pellicole plastiche per rivestimento di pannelli in legno.

Questa lavorazione presenta notevoli vantaggi, quali: resistenza agli urti, alla compressione, alla graffiatura, agli agenti chimici, ecc.

Le materie plastiche utilizzate (PVC e PET) vengono preparate mescolando alle resine di base vari additivi che ne modificano le caratteristiche al fine di lavorarle più facilmente tramite il processo di estrusione di film cast.

Nel corso del sopralluogo eseguito nel mese di febbraio 2019, è stato constatato che l'azienda lavora utilizzando 3 linee produttive per l'ottenimento di manufatti di diversa tipologia.

Vengono poi effettuati dei trattamenti di superficie al fine di soddisfare determinate esigenze estetiche del cliente. Tale attività di *coating* incide relativamente poco sul totale consumo delle attività principali, pertanto, per ricavare il consumo specifico di energia, è stato considerato solamente il processo di estrusione.

Come per i casi precedenti, è stato ricavato il seguente diagramma di flusso in cui vengono indicate le varie aree funzionali.

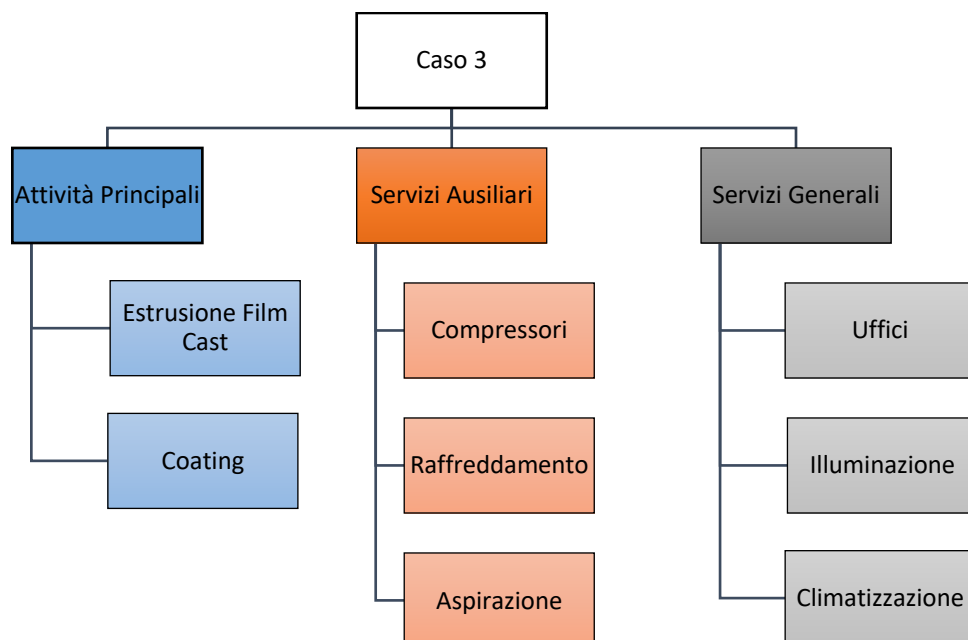


Figura 4.34: Suddivisione in Aree Funzionali.

Di seguito verranno riportati brevemente i risultati ottenuti dalla diagnosi energetica effettuata per l'anno 2015, e sarà poi analizzata la situazione dell'azienda dall'anno 2016 al 2018. I dati forniti per questa analisi sono molto accurati, tanto che è stato possibile ricavare sia un indice di prestazione generale che un consumo specifico relativo alle sole attività principali, dato dalla somma dei dati registrati per le singole linee produttive.

Dalla diagnosi energetica precedente si evince che l'indice di prestazione generale dell'azienda risultasse pari a 2,44 kWh/kg relativamente all'anno 2014.

Tra gli interventi proposti per il miglioramento erano riportati un progetto di *re-lamping* illuminazione, ovvero l'installazione di lampade a led ad alta efficienza in particolare sui corpi illuminanti che hanno funzionamento molto prolungato, e la valutazione di un impianto di trigenerazione. L'azienda inoltre dispone di un impianto fotovoltaico realizzato dalla società proprietaria dell'immobile con un POD dedicato, pertanto, l'energia prodotta non veniva utilizzata in autoconsumo, ma era interamente riversata in rete in regime di ritiro dedicato<sup>41</sup>.

Inizialmente sono stati analizzati gli indici di prestazione relativi all'attività principale, seguendo il procedimento utilizzato in precedenza.

<b>2016</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	293.611	249.878	1,1750
FEBBRAIO	350.062	306.740	1,1412
MARZO	387.114	339.735	1,1395
APRILE	378.978	315.571	1,2009
MAGGIO	384.613	322.460	1,1927
GIUGNO	400.475	349.210	1,1468
LUGLIO	406.892	353.579	1,1508
AGOSTO	173.337	150.500	1,1517
SETTEMBRE	398.774	358.567	1,1121
OTTOBRE	406.115	348.598	1,1650
NOVEMBRE	400.899	352.041	1,1388
DICEMBRE	292.552	257.889	1,1344
<b>TOTALE</b>	<b>4.273.422</b>	<b>3.704.768</b>	<b>1,1535</b>

Tabella 4.28: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2016.

<sup>41</sup> Ritiro Dedicato: è una modalità semplificata a disposizione dei produttori per la commercializzazione dell'energia elettrica prodotta e immessa in rete. (Fonte: <https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/ritiro-dedicato>)



Confrontando l'indice ricavato dalla Tabella 4.28, con quello riportato in Tabella 2.5 alla voce "estrusione di film cast", esso risulta molto più elevato (1,1535 kWh/kg vs 0,5949 kWh/kg). È importante considerare, che il dato fornito dall'ENEA era stato ricavato da 30 aziende, alcune delle quali non avevano precisato tutte le lavorazioni (ad esempio la produzione di film bi-orientato che è energeticamente dispendiosa in quanto comporta l'utilizzo di un forno elettrico e di motori che trainino ganci di tiro trasversale). [25]

Inoltre, l'indice calcolato è fortemente influenzato dal processo produttivo e dal materiale utilizzato. Di norma, il processo di estrusione di film cast viene utilizzato per la produzione di un film altamente trasparente e brillante molto apprezzato nel packaging in generale e nel settore alimentare in particolare. [36]

L'azienda utilizza sia PVC che due tipologie di PET, i quali presentano temperature di rammollimento, e quindi di lavoro, fortemente differenti.

Mentre il PVC presenta una temperatura di lavoro di circa 80°C, il PET richiede circa 250°C [37], pertanto, il consumo elettrico delle macchine risulterà nettamente differente.

Dai dati forniti per le 3 linee infatti, si evince che anche lavorando quantità simili di materiali, le due linee che processano il PET consumano più del doppio dei kWh elettrici richiesti dalla linea di estrusione del PVC, come si può vedere in Tabella 4.29.

2016	LINEA PVC		LINEA PET		LINEA PET (SML)	
	kWh CONSUMATI	kg MATERIA PRIMA ESTRUSI	kWh CONSUMATI	kg MATERIA PRIMA ESTRUSI	kWh CONSUMATI	kg MATERIA PRIMA ESTRUSI
GENNAIO	47.586	89.946	114.709	81.935	131.316	77.997
FEBBRAIO	56.200	100.206	140.228	102.207	153.634	104.327
MARZO	61.073	121.530	144.477	101.507	181.564	116.698
APRILE	55.252	99.461	143.893	104.159	179.833	111.951
MAGGIO	60.940	118.128	149.023	105.726	174.650	98.606
GIUGNO	60.687	118.345	151.106	117.235	188.682	113.630
LUGLIO	60.983	121.413	158.635	126.694	187.274	105.472
AGOSTO	24.124	52.342	66.435	47.177	82.778	50.981
SETTEMBRE	60.997	133.600	149.022	110.568	188.755	114.399
OTTOBRE	63.349	128.629	153.820	109.895	188.946	110.074
NOVEMBRE	64.596	125.364	145.346	106.891	190.957	119.786
DICEMBRE	47.265	91.833	111.659	84.196	133.628	81.860
<b>TOTALE</b>	<b>663.052</b>	<b>1.300.797</b>	<b>1.628.353</b>	<b>1.198.190</b>	<b>1.982.017</b>	<b>1.205.781</b>

Tabella 4.29: kWh consumati e kg di produzione per le tre linee.

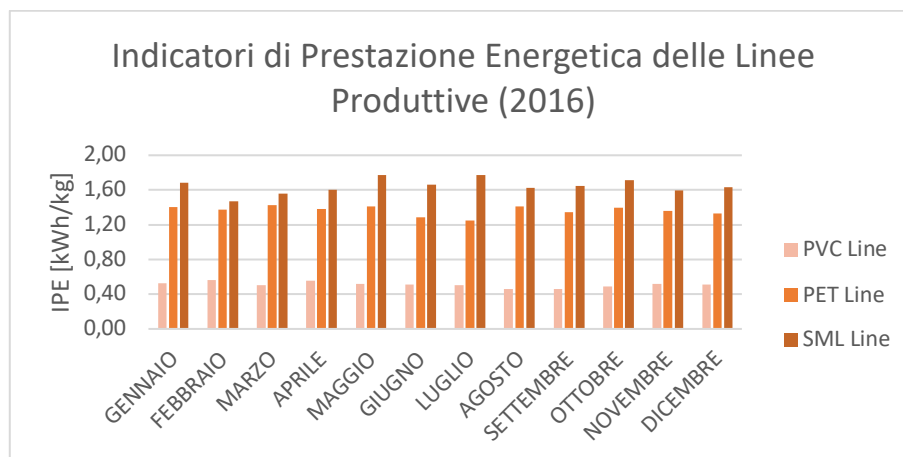


Figura 4.35: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016) per le singole linee produttive.

L'indice di prestazione caratteristico della sola linea che lavora il PVC è pari a 0,5097 kWh/kg, rientrando esattamente nei valori medi forniti dall'ENEA.

Come anticipato, sul consumo elettrico incide anche la tipologia di prodotto. Per garantire la massima qualità del prodotto finito, lo spessore del film in uscita dalla macchina viene controllato al centesimo di millimetro mediante il passaggio in diversi rulli a bassa velocità. Questo allunga il tempo di ciclo, rendendo il processo più energivoro.

Dal punto di vista dei risultati ottenuti, gli indici di prestazione si presentano molto simili, con un andamento quasi costante nel tempo. I dati sono stati ricavati da un sistema di monitoraggio dedicato alle singole macchine.

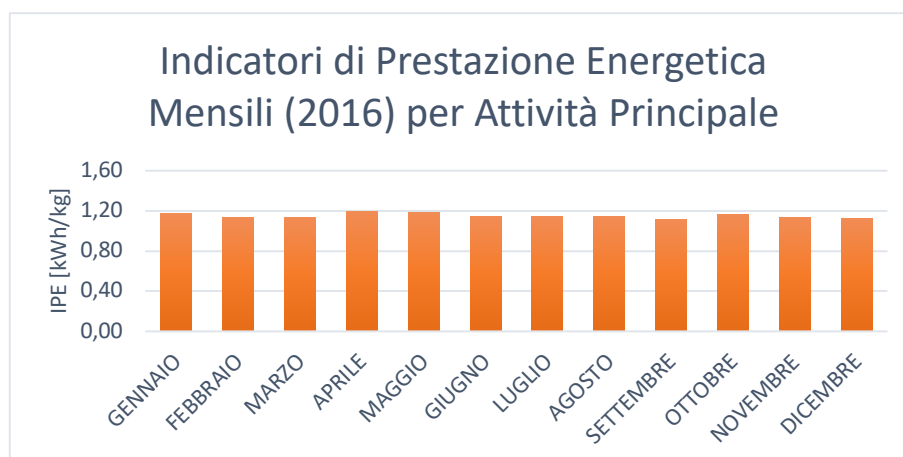


Figura 4.36: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016) per Attività Principale.

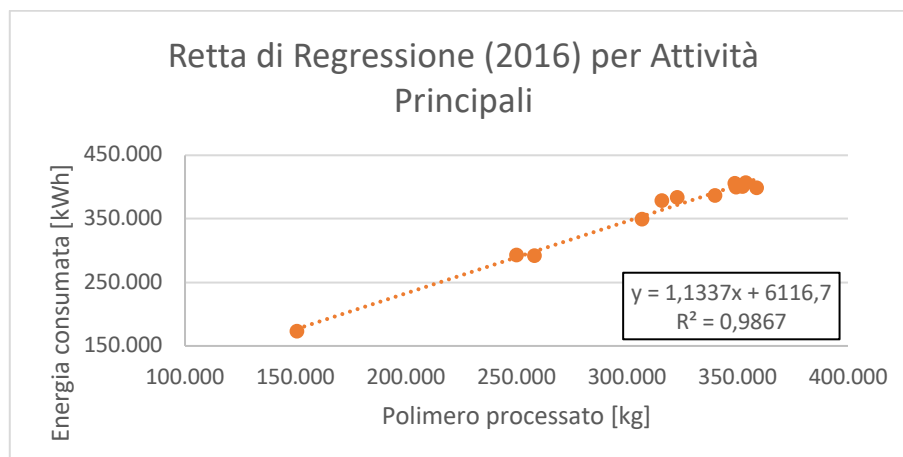


Figura 4.37: Retta di Regressione Lineare (2016) per Attività Principale.

Il modello ricavato mediante la regressione lineare infatti risulta molto affidabile, essendo i punti molto vicini alla retta.

Considerando ora i consumi globali del sito produttivo, è stato possibile ricavare i seguenti dati:

<b>2016</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 54.612	386.307	249.878	1,5460
FEBBRAIO	€ 59.429	457.669	306.740	1,4920
MARZO	€ 64.469	505.673	339.735	1,4884
APRILE	€ 64.144	501.263	315.571	1,5884
MAGGIO	€ 68.731	525.477	322.460	1,6296
GIUGNO	€ 77.131	580.003	349.210	1,6609
LUGLIO	€ 92.153	636.853	353.579	1,8012
AGOSTO	€ 41.058	279.574	150.500	1,8576
SETTEMBRE	€ 86.082	599.522	358.567	1,6720
OTTOBRE	€ 81.677	546.616	348.598	1,5680
NOVEMBRE	€ 82.280	530.705	352.041	1,5075
DICEMBRE	€ 60.968	386.621	257.889	1,4992
<b>TOTALE</b>	<b>€ 832.734</b>	<b>5.936.283</b>	<b>3.704.768</b>	<b>1,6023</b>

Tabella 4.30: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016.

Si ricava un indice di prestazione di 1,6023 kWh/kg, che risulta ancora una volta superiore all'indice riportato in Tabella 2.5, per i motivi spiegati in precedenza.

Tuttavia, disponendo dell'indice generale e di quello per attività principale, si evince che su 1,6023 kWh utilizzati per ogni kg di materia estrusa, 1,1535 kWh/kg sono utilizzati per le attività principali, e la restante quota di consumo (28%) è attribuibile a servizi ausiliari e generali.

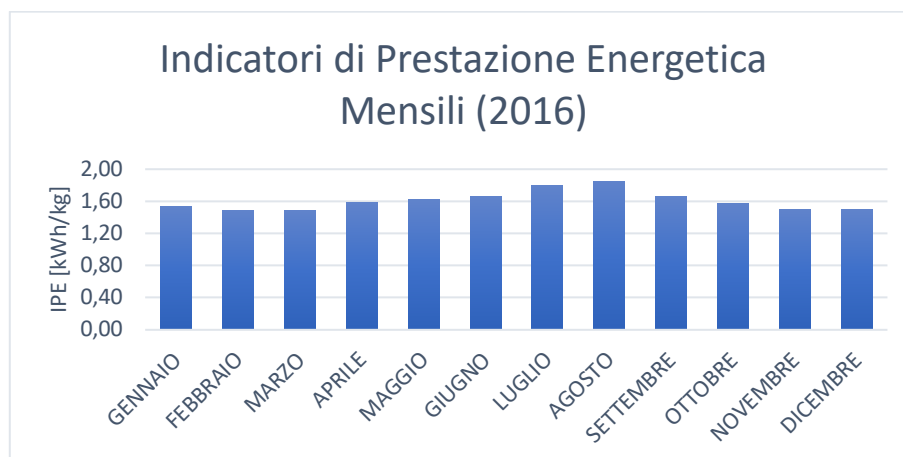


Figura 4.38: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).

Gli indicatori mensili ricavati si presentano molto simili tra loro, con un picco nei mesi di luglio e agosto, dovuto rispettivamente all'aumento del fabbisogno energetico per il raffreddamento delle macchine, essendo la produzione in linea con gli altri mesi ma i consumi risultano aumentati, ed al calo di produzione, essendo agosto un mese particolare.

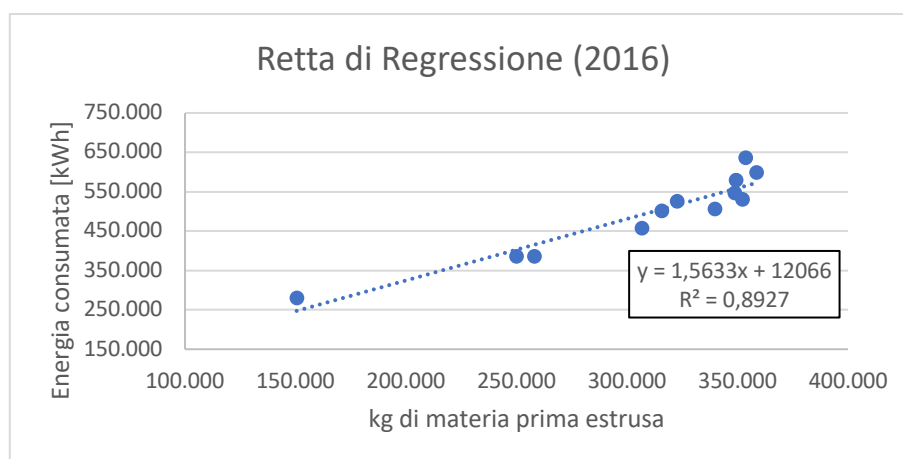


Figura 4.39: Retta di Regressione Lineare (2016).

Come per le attività principali, anche il modello generale risulta affidabile, ricavando un consumo variabile pari a 1,5633 kWh/kg, ed un consumo fisso pari a 12.066 kWh.

Lo stesso tipo di analisi è stata effettuata per gli anni successivi. I dati raccolti per l'anno 2017 sono riportati nella tabella seguente.

<b>2017</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	326.802	307.012	1,0645
FEBBRAIO	354.526	329.477	1,0760
MARZO	385.169	325.170	1,1845
APRILE	337.094	307.831	1,0951
MAGGIO	374.094	304.538	1,2284
GIUGNO	387.630	319.377	1,2137
LUGLIO	396.943	345.571	1,1487
AGOSTO	161.499	129.040	1,2515
SETTEMBRE	385.215	301.762	1,2766
OTTOBRE	415.262	327.969	1,2662
NOVEMBRE	369.192	312.660	1,1808
DICEMBRE	244.150	199.425	1,2243
<b>TOTALE</b>	<b>4.137.576</b>	<b>3.509.832</b>	<b>1,1789</b>

Tabella 4.31: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2017.

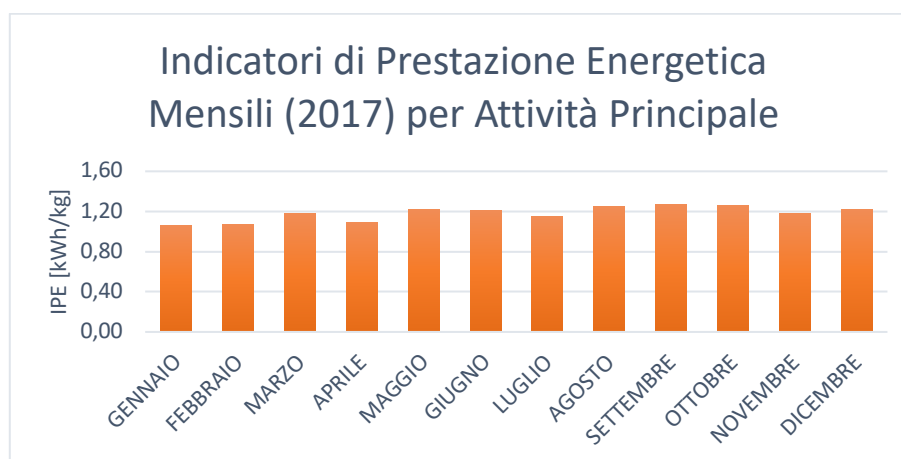


Figura 4.40: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017) per Attività Principale.

Anche in questo caso gli indici di prestazione presentano valori molto simili: essi variano infatti da un minimo di 1,0645 kWh/kg ad un massimo di 1,2766 kWh/kg, con un valore medio annuo di 1,1789 kWh/kg.

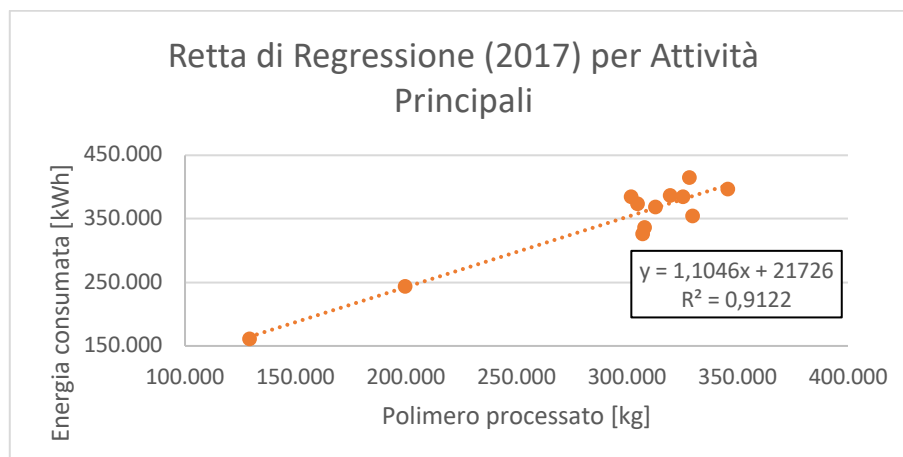


Figura 4.41: Retta di Regressione Lineare (2017) per Attività Principale.

Si ottiene ancora una volta un modello decisamente affidabile, dato l'elevato valore del coefficiente  $R^2$ . Ancora una volta, il maggiore consumo è attribuibile alle linee che lavorano il PET, come mostrato nella Figura 4.42.

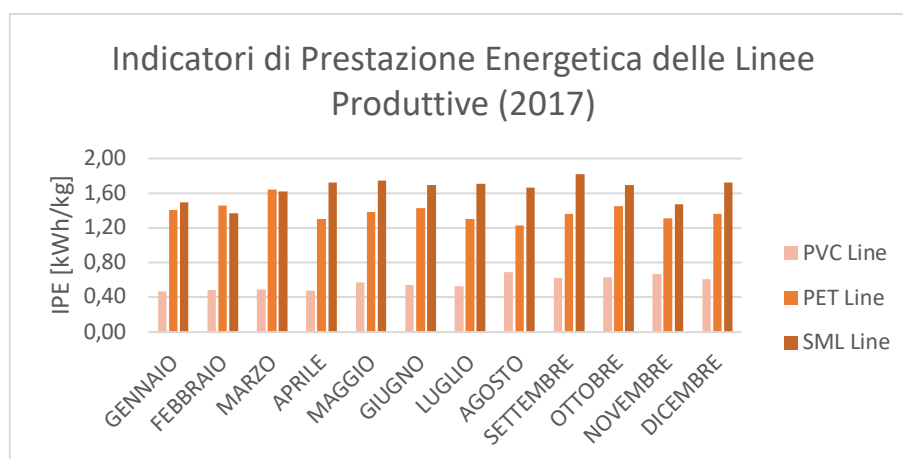


Figura 4.42: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017) per le singole linee produttive.

<b>2016 vs 2017</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-135.846	-194.936	-
% di scostamento	-3,2%	-5,3%	2,2%

Tabella 4.32: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017 per Attività Principale.

Rispetto al 2016 in particolare, si osserva una diminuzione dei kWh consumati, ma una maggiore diminuzione dei kg lavorati, pertanto l'indice risulta leggermente più elevato.

Per ricavare l'indice di prestazione generale, sono stati elaborati i seguenti dati:

<b>2017</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 58.268	441.306	307.012	1,4374
FEBBRAIO	€ 63.071	478.448	329.477	1,4521
MARZO	€ 67.453	512.559	325.170	1,5763
APRILE	€ 58.671	452.919	307.831	1,4713
MAGGIO	€ 72.493	532.584	304.538	1,7488
GIUGNO	€ 78.133	601.116	319.377	1,8822
LUGLIO	€ 82.460	630.288	345.571	1,8239
AGOSTO	€ 39.199	284.023	129.040	2,2010
SETTEMBRE	€ 71.022	541.695	301.762	1,7951
OTTOBRE	€ 70.819	557.827	327.969	1,7009
NOVEMBRE	€ 62.572	491.793	312.660	1,5729
DICEMBRE	€ 45.324	338.930	199.425	1,6995
<b>TOTALE</b>	<b>€ 769.485</b>	<b>5.863.488</b>	<b>3.509.832</b>	<b>1,6706</b>

Tabella 4.33: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017.

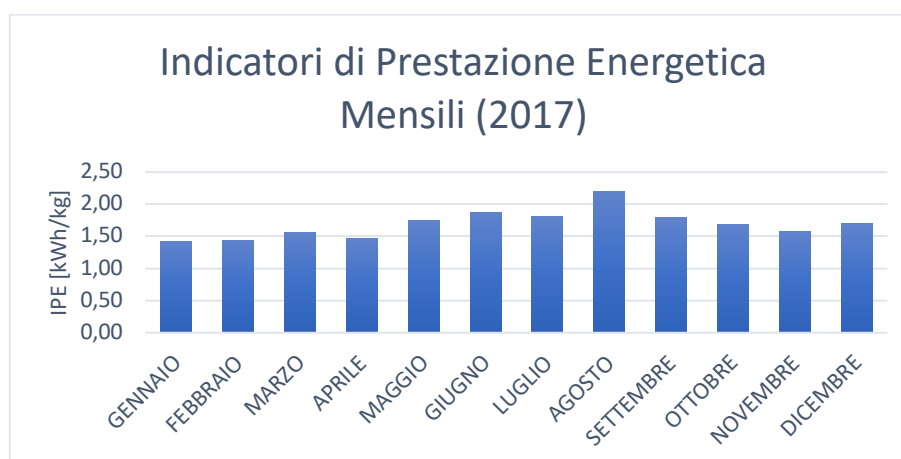


Figura 4.43: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).

Come per l'anno precedente, si nota un incremento dell'indice nei mesi estivi, in particolare ad agosto, dove viene richiesta maggiore energia elettrica per raffreddare le macchine.

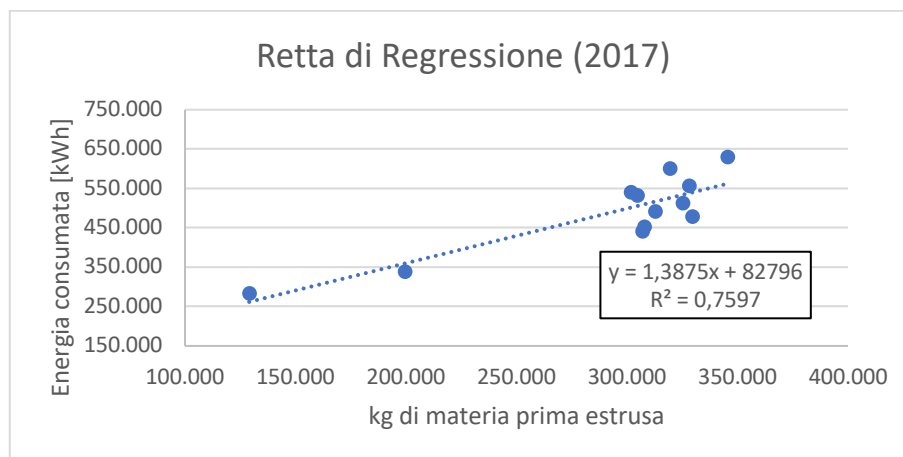


Figura 4.44: Retta di Regressione Lineare (2017).

Il modello ricavato risulta relativamente meno affidabile, a causa degli scostamenti più marcati tra i vari indici di prestazione, ma la differenza tra i valori reali e quelli calcolati risulta minore del 30%.

<b>2016 vs 2017</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 63.249	-72.795	-194.936	-
% di scostamento	-7,6%	-1,2%	-5,3%	4,3%

Tabella 4.34: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.

Come si poteva prevedere dalla sola analisi delle attività principali, si ottiene una diminuzione dei costi e dei consumi di energia elettrica, ma anche una diminuzione della produzione del 5,3%, e necessariamente ciò si traduce in un aumento dell'indice di prestazione del 4,3%.



Vengono infine analizzati i dati relativi all'anno 2018.

Al momento del sopralluogo, erano state sostituite tutte le vecchie lampade con lampade a led.

<b>2018</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	266.841	289.084	0,9231
FEBBRAIO	273.192	286.843	0,9524
MARZO	367.797	321.559	1,1438
APRILE	354.221	290.467	1,2195
MAGGIO	375.477	289.339	1,2977
GIUGNO	354.451	280.848	1,2621
LUGLIO	365.651	300.742	1,2158
AGOSTO	145.936	140.005	1,0424
SETTEMBRE	381.315	309.080	1,2337
OTTOBRE	409.817	310.986	1,3178
NOVEMBRE	383.620	338.848	1,1321
DICEMBRE	243.036	221.540	1,0970
<b>TOTALE</b>	<b>3.921.354</b>	<b>3.379.341</b>	<b>1,1604</b>

Tabella 4.35: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2018.

Dai dati ricavati si nota che l'indice risulta più basso nei primi mesi dell'anno, ed inizia poi ad aumentare. Nel complesso l'andamento è ancora abbastanza costante e questo implica che non ci sono state grandi variazioni del mix produttivo.

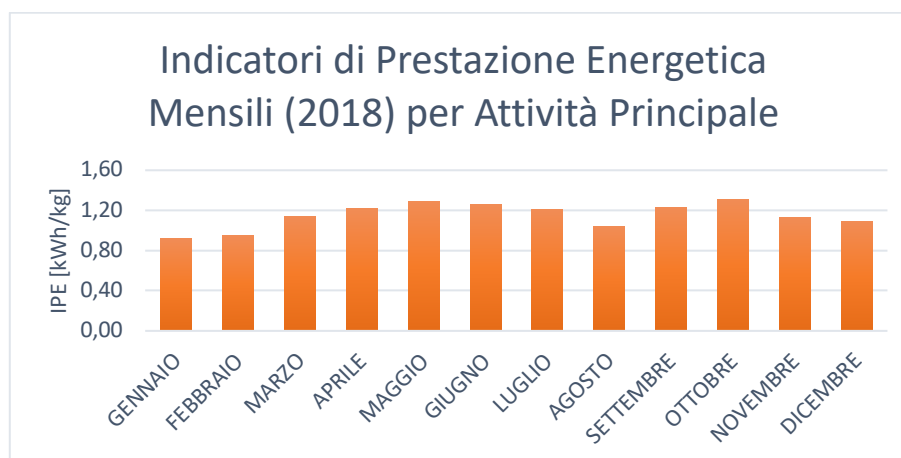


Figura 4.45: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per Attività Principale.

In particolare, si nota che per il 2018, l'indice di prestazione non presenta il solito picco nel mese di agosto, anzi, questo risulta inferiore agli altri mesi estivi, in quanto consumo e produzione sono particolarmente simili rispetto agli anni precedenti. Anche maggio ed ottobre sono mesi particolari, in quanto si vede un forte aumento dell'energia consumata che va ad aumentare il consumo specifico, mentre la produzione rimane in linea con gli altri mesi.

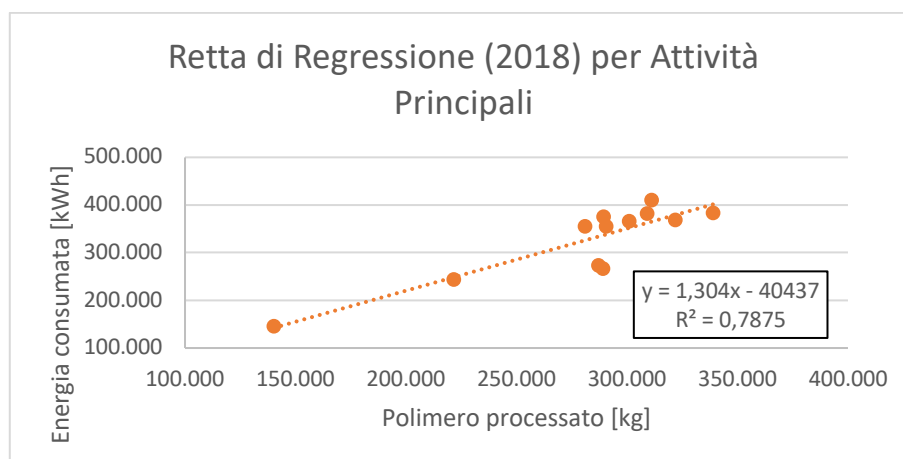


Figura 4.46: Retta di Regressione Lineare (2018) per Attività Principale.

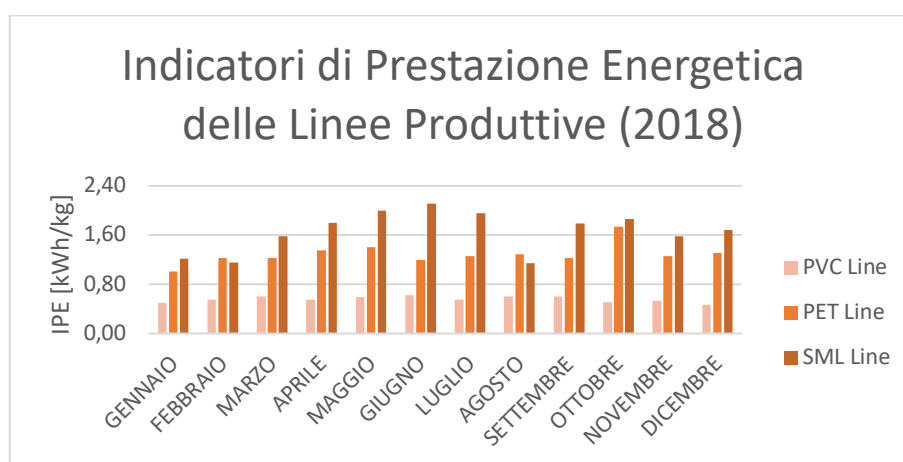


Figura 4.47: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per le singole linee produttive.

<b>2017 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-216.222	-130.491	-
% di scostamento	-5,2%	-3,7%	-1,6%

Tabella 4.36: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017 per Attività Principale.

Per quanto riguarda l'indice di prestazione generale:

<b>2018</b>	<b>€ ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	€ 46.687	438.284	289.084	1,5161
FEBBRAIO	€ 46.804	434.584	286.843	1,5151
MARZO	€ 51.750	485.932	321.559	1,5112
APRILE	€ 48.749	463.081	290.467	1,5943
MAGGIO	€ 55.464	510.399	289.339	1,7640
GIUGNO	€ 56.763	525.308	280.848	1,8704
LUGLIO	€ 56.724	555.716	300.742	1,8478
AGOSTO	€ 27.355	242.360	140.005	1,7311
SETTEMBRE	€ 53.797	527.849	309.080	1,7078
OTTOBRE	€ 55.474	540.759	310.986	1,7389
NOVEMBRE	€ 51.590	504.146	338.848	1,4878
DICEMBRE	€ 34.973	328.538	221.540	1,4830
<b>TOTALE</b>	<b>€ 586.129</b>	<b>5.556.956</b>	<b>3.379.341</b>	<b>1,6444</b>

Tabella 4.37: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018.

Gli indici di prestazione presentano ancora un andamento simile, con i soliti picchi nei mesi più caldi, anche se si vede che il picco di agosto è contenuto rispetto agli altri mesi, e l'indice comincia nuovamente a diminuire dopo il mese di ottobre.

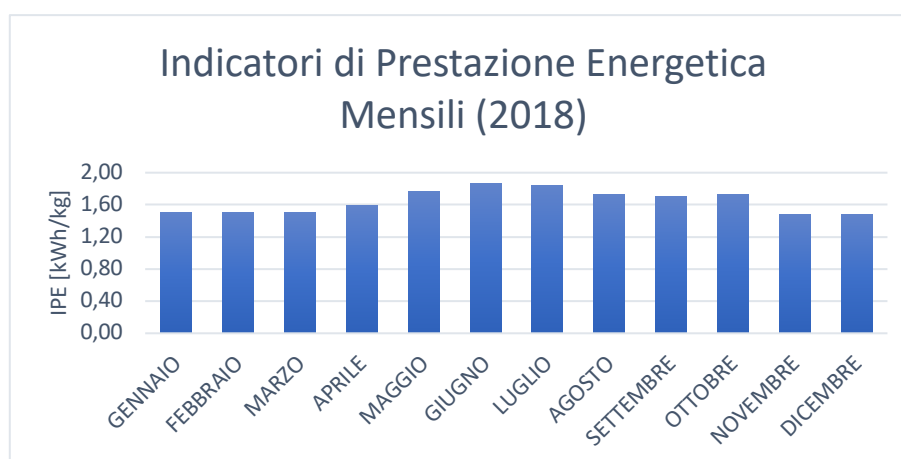


Figura 4.48: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).

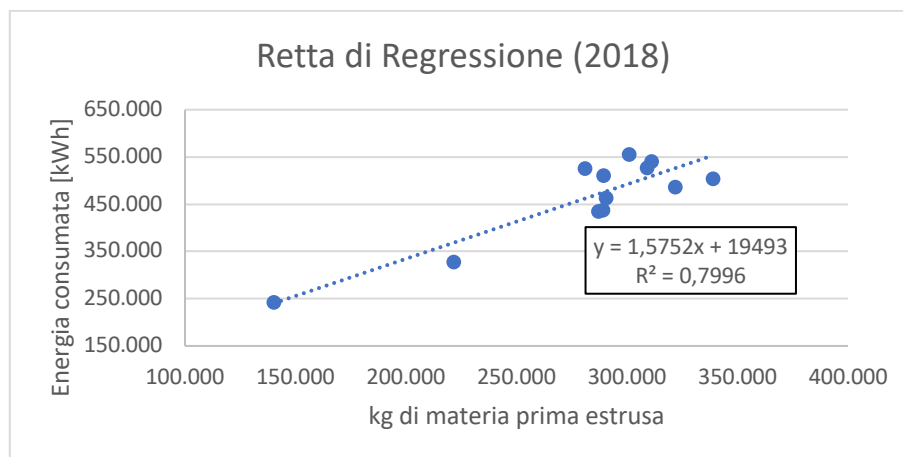


Figura 4.49: Retta di Regressione Lineare (2018).

Dal modello ricavato con la retta di regressione lineare, si vede una diminuzione dei consumi fissi, che passano da 82.796 kWh/kg a 19.493 kWh/kg. Il miglioramento infatti è visibile anche nella tabella seguente.

<b>2017 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA € ENERGIA ELETTRICA ESCLUSO IVA</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSI</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	-€ 183.356	-306.532	-130.491	-
% di scostamento	-23,8%	-5,2%	-3,7%	-1,6%

Tabella 4.38: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.

Rispetto all'anno precedente, nel 2018, l'azienda ha ridotto i costi relativi all'energia elettrica del 23,8%, riduzione dovuta ad una differenza dei kWh consumati di 5,2%, e una riduzione della produzione del 3,7%, inferiore rispetto all'anno precedente. Pertanto, si ottiene una leggera riduzione dell'indice di prestazione.

Nella tabella seguente viene mostrato quanto incide percentualmente l'attività di estrusione sui consumi totali del sito produttivo.

Come si può vedere, l'attività principale incide tra il 60 ed il 76% sui consumi totali dell'azienda, e la percentuale rimanente è totalmente attribuibile ai servizi ausiliari e generali. Da quanto visto finora, la percentuale di consumo delle attività principali è influenzata da svariati fattori, in particolar modo la quantità di prodotto lavorato, e di conseguenza la

temperatura necessaria per la lavorazione del materiale, il raffreddamento richiesto ed il mix desiderato.

<b>2018</b>	<b>kWh CONSUMATI Att. Princ.</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>Differenza kWh CONSUMATI</b>	<b>% CONSUMO Att. Princ.</b>
GENNAIO	266.841	438.284	171.443	61%
FEBBRAIO	273.192	434.584	161.392	63%
MARZO	367.797	485.932	118.135	76%
APRILE	354.221	463.081	108.860	76%
MAGGIO	375.477	510.399	134.922	74%
GIUGNO	354.451	525.308	170.857	67%
LUGLIO	365.651	555.716	190.065	66%
AGOSTO	145.936	242.360	96.424	60%
SETTEMBRE	381.315	527.849	146.534	72%
OTTOBRE	409.817	540.759	130.942	76%
NOVEMBRE	383.620	504.146	120.526	76%
DICEMBRE	243.036	328.538	85.502	74%
<b>TOTALE</b>	<b>3.921.354</b>	<b>5.556.956</b>	<b>1.635.602</b>	<b>71%</b>

Tabella 4.39: Incidenza percentuale dei consumi relativi all'attività principale (2018).

Per terminare l'analisi vengono riportati dei grafici che rappresentano le curve di carico dell'azienda, considerando sia il consumo totale che i soli kWh utilizzati per il processo di estrusione, e gli indici di prestazione mensili dell'azienda nei tre anni considerati.

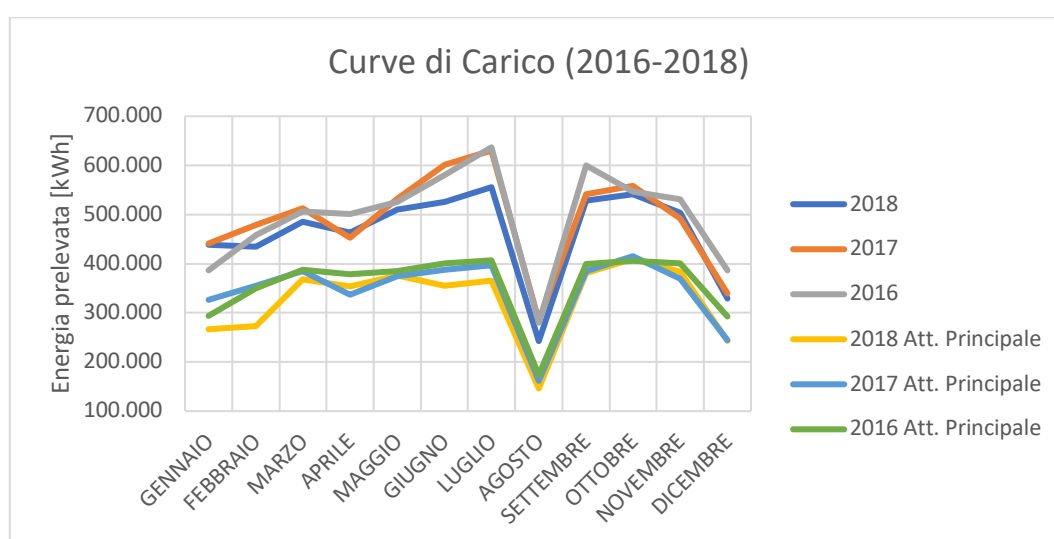


Figura 4.50: Curve di Carico dal 2016 al 2018, per Sito e Attività Principale.

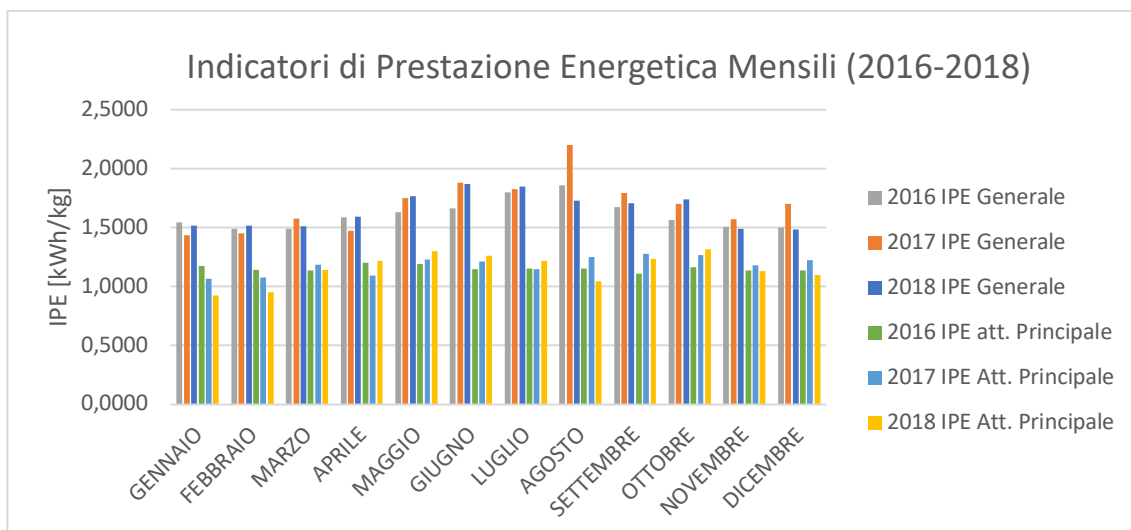


Figura 4.51: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018), per Sito e Attività Principale.

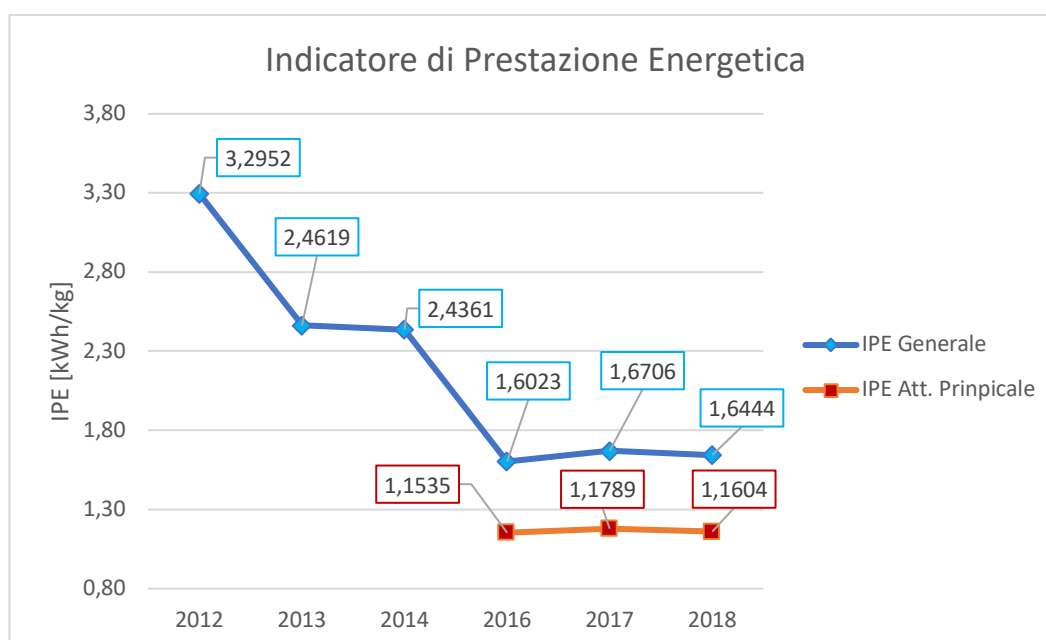


Figura 4.52: Indice di Prestazione Energetica (2014-2018), per Sito e Attività Principale.

Infine, vengono riportati gli indici di prestazione generali dell'azienda dal 2012 al 2018 (escluso il 2015). Si vede che in questi 6 anni, l'azienda ha investito nell'efficienza energetica, passando da 3,2952 kWh/kg a 1,6444 kWh/kg.

Per migliorare ulteriormente la situazione, è stata valutata la possibilità di installare un impianto di trigenerazione, seguendo ragionamenti analoghi a quelli del Caso 1.

<b>Trigenerazione</b>		
Potenza Elettrica installata	[kW <sub>e</sub> ]	106
Potenza Termica installata	[kW <sub>t</sub> ]	169
Combustibile consumato	[Sm <sup>3</sup> /h]	33
CHP_Eη	[%]	34%
Rif_Eη	[%]	47%
CHP_Hη	[%]	54%
Rif_Hη	[%]	92%
Energia Elettrica Cogenerata	[kWh <sub>e</sub> ]	548.020
Energia Termica Cogenerata	[kWh <sub>t</sub> ]	873.730
Energia del combustibile	[kWh]	1.616.318
Prezzo medio EE 2018	[€/kWh]	0,1055
Prezzo medio gas metano	[€/m <sup>3</sup> ]	0,45
Costo Manutenzione	[€/h]	3,6
Vita Utile	[anni]	20
Investimento Iniziale I <sub>0</sub>	[€]	250.000 €
Totale Ricavi	[€]	107.586 €
Totale Costi	[€]	101.306 €
Flusso di Cassa	[€]	6.280 €
PES	[%]	24%
TR	[anni]	39,81
Tasso Attualizzazione	[%]	5%
Fattore di Attualizzazione	[anni]	12,46
VAN	[€]	-171.738,92 €
TIR	[%]	-7%
IP	VAN/I <sub>0</sub>	-0,68695567
RISP	[MWh]	499,39
CB	-	60
Valore CB	[€]	260 €

Tabella 4.40: Dati Impianto di Trigenerazione.

Il tempo di ritorno dell'impianto risulta elevatissimo, e come per il caso precedente, questo risultato è dovuto al prezzo di acquisto dell'energia elettrica.

## 4.4 Caso 4

L'azienda energivora considerata per questo caso è stata oggetto di diagnosi energetica nel 2016. Come per i casi precedenti, si analizzerà prima la situazione riportata nella diagnosi.

Per questo caso studio non è stato possibile eseguire il sopralluogo pertanto l'analisi si baserà solamente sui dati reperiti tramite il questionario riportato nell'Allegato 1, che fanno riferimento agli anni 2016 e 2017.

L'azienda è specializzata nel processo di estrusione di tubi e profili, principalmente per i settori di *automotive* e trasporti, elettronico, edilizia ed agricoltura.

È caratterizzata da 36 macchine che vanno a costituire le varie linee di estrusione, la maggior parte delle quali è di taglia compresa tra 21 e 100 kg/h di output, che utilizzano principalmente PVC e altri materiali termoplastici.

Altri processi all'interno del sito produttivo sono l'assemblaggio e la lavorazione della schiuma. Facendo riferimento a quanto riportato nella diagnosi energetica, la suddivisione all'interno del sito produttivo risulta la seguente:

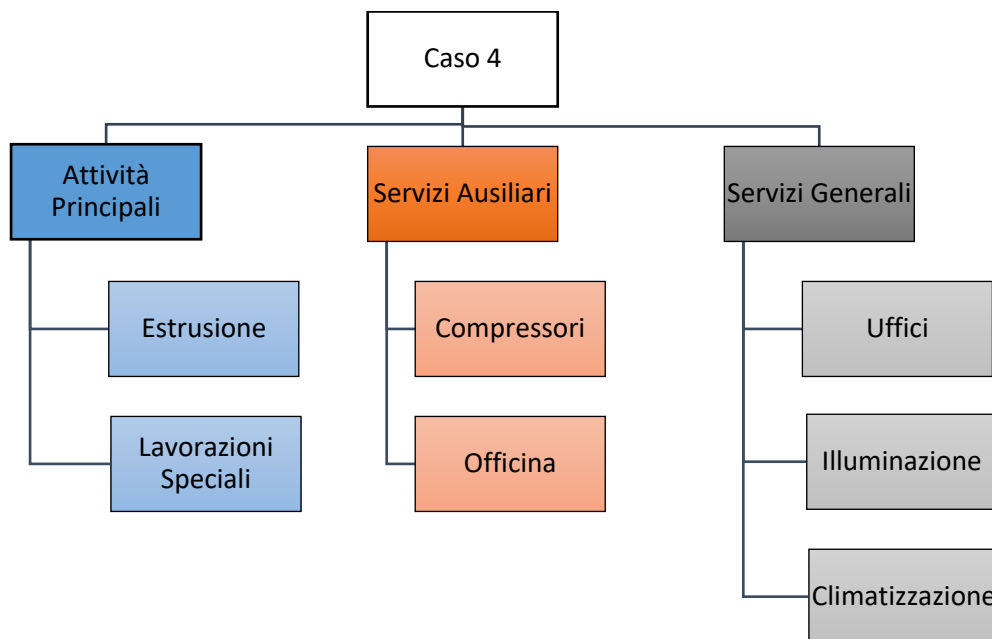


Figura 4.53: Suddivisione in Aree Funzionali.

All'interno del documento non vengono riportati i dati mensili di consumo e produzione, ma solamente un indice di prestazione ricavato, che risulta pari a 0,1882 tep/t. Dato che tutti i kWh di energia consumata sono elettrici, è possibile convertire l'indice di prestazione da tep/t, a kWh/kg, in quanto l'energia elettrica proveniente dalla rete viene attualmente valorizzata in



0,187 tep/MWh<sup>42</sup>, ottenendo così un indice pari a 1,006 kWh/kg che risulta inferiore ai dati relativi al 2005, rispettivamente 1,506 kWh/kg<sup>43</sup> e 1,559 kWh/kg<sup>44</sup>, e in linea con il valore riportato dall'ENEA pari a 1,063 kWh/kg.

Per concludere la diagnosi venivano consigliati i seguenti interventi di efficientamento energetico:

- 1) *Re-lamping* illuminazione: l'impianto di illuminazione delle aree produttive dello stabilimento era del tipo a scarica con lampade agli alogenuri metallici e fluorescenti; si proponeva la sostituzione delle lampade con analoghe lampade a led mantenendo invariate le prestazioni illuminotecniche (sostituzione punto-punto).
- 2) Sistema di monitoraggio: questo rappresenta il principale strumento di controllo ed analisi dei consumi energetici, la cui installazione risulta obbligatoria con il secondo giro di diagnosi energetiche, come indicato nel D.Lgs. 102/2014.
- 3) Impianto di trigenerazione (CAR): veniva proposta l'installazione di un impianto di trigenerazione con cogenerazione ad alto rendimento (CAR) per produrre contemporaneamente energia elettrica e calore recuperato da trasformare in freddo tramite un assorbitore a bromuro di litio. Tutta l'energia elettrica prodotta dal sistema cogenerativo potrà essere autoconsumata, e l'azienda potrà ottenere eventuali incentivi quali titoli di efficienza energetica.
- 4) Rifasamento: dall'analisi delle fatture energetiche erano stati riscontrati dei valori del fattore di potenza al di sotto delle disposizioni dell'Ente distributore energia.

Dai dati raccolti, è stato possibile capire che l'azienda era costituita da due stabilimenti negli anni 2016 e 2017. Successivamente, nel 2018 la produzione è stata totalmente spostata in un unico nuovo stabilimento, in cui sono stati effettuati alcuni degli interventi proposti dalla diagnosi energetica.

- 1) *Re-lamping*: con lo spostamento nel nuovo stabilimento, l'impianto di illuminazione è stato realizzato con lampade a led.
- 2) Monitoraggio: è stato installato un sistema di monitoraggio che registra i dati delle due blindo che servono le macchine di estrusione. Un altro sistema di monitoraggio

---

<sup>42</sup> Circolare MISE, 18 Dicembre 2014: Fattore di conversione relativo all'energia elettrica: kWh<sub>e</sub> = 0,187\*10<sup>-3</sup> tep.

<sup>43</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da EURecipe.

<sup>44</sup> Indice di Prestazione Energetica per lo Stampaggio a Iniezione ricavato da Tangram.

controlla e misura i consumi del circuito di raffreddamento e registra la produzione elettrica e termica del cogeneratore.

- 3) Impianto di trigenerazione (CAR): alla fine del 2017 è stato installato un impianto di trigenerazione che verrà analizzato in seguito.
- 4) Rifasamento: in seguito all'installazione del cogeneratore, il fattore di potenza ha subito dei forti cali, arrivando ad un valore al di sotto della soglia minima indicata dal distributore. Pertanto, esso potrebbe intervenire imponendo il rifasamento. Questo problema verrà analizzato in seguito.

Inoltre, dai dati raccolti dal questionario relativamente alla sezione “Buone Pratiche”, l'azienda utilizza il *free cooling* per il raffreddamento, gli scarti vengono riciclati, sono stati installati dispositivi variatori di velocità (VSD), e non risulta presente un impianto fotovoltaico.

Di seguito vengono riportati i dati forniti dall'azienda con dettaglio mensile per l'anno 2016.

<b>2016</b>	<b>kWh CONSUMATI Sito 1</b>	<b>kWh CONSUMATI Sito 2</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	89.045	80.667	169.712	151.000	1,1239
FEBBRAIO	121.485	129.236	250.721	250.000	1,0029
MARZO	130.704	122.110	252.814	278.000	0,9094
APRILE	131.033	122.659	253.692	261.000	0,9720
MAGGIO	134.416	120.476	254.892	308.000	0,8276
GIUGNO	113.655	118.093	231.748	291.000	0,7964
LUGLIO	107.802	111.622	219.424	267.000	0,8218
AGOSTO	84.616	68.380	152.996	190.000	0,8052
SETTEMBRE	141.191	126.519	267.710	312.000	0,8580
OTTOBRE	138.660	117.179	255.839	279.000	0,9170
NOVEMBRE	138.630	130.524	269.154	319.000	0,8437
DICEMBRE	119.671	110.874	230.545	275.000	0,8383
<b>TOTALE</b>	<b>1.450.908</b>	<b>1.358.339</b>	<b>2.809.247</b>	<b>3.181.000</b>	<b>0,8831</b>

Tabella 4.41: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016.

Come si può vedere dalla Tabella 4.41, l'azienda risultava ancora composta da due siti produttivi: il consumo totale era di 2.809.247 kWh, per una produzione totale di 3.181.000 kg di materia prima estrusa, da cui è stato ricavato un indice di prestazione mensile che oscilla da

un minimo di 0,7964 kWh/kg, ad un massimo di 1,11239 kWh/kg, la cui media annua è pari a 0,8831 kWh/kg, mediamente migliore dell'indice riportato dall'ENEA citato precedentemente. Come nei casi precedenti, l'oscillazione di tale indice dipende da innumerevoli fattori, come il mix produttivo, le condizioni climatiche ma anche la modalità con cui sono stati ricavati tali dati.

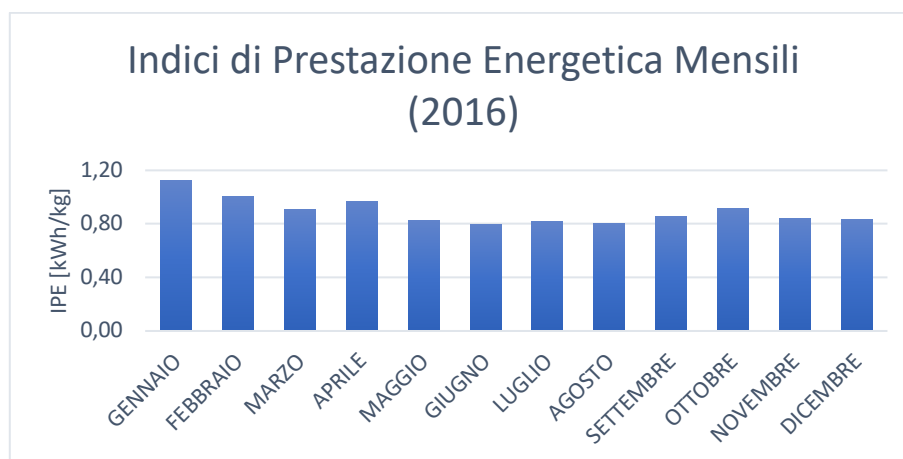


Figura 4.54: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).

Come si può vedere l'indice presenta un leggero picco nei primi mesi dell'anno mentre varia si poco nei restanti.

Grazie al modello costruito tramite il processo di regressione lineare, si ottiene la seguente retta di regressione.

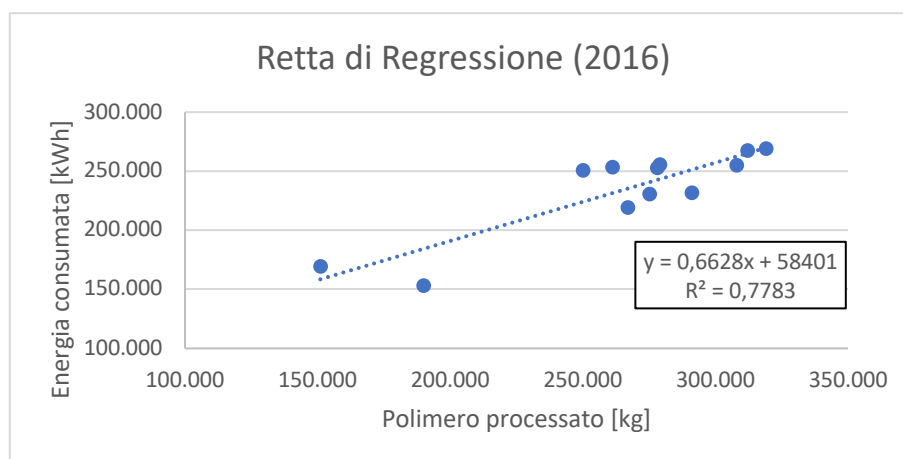


Figura 4.55: Retta di Regressione Lineare (2016).

Il modello è caratterizzato da un coefficiente  $R^2$  pari a 0,7783, e i consumi fissi indicati dalla retta risultano pari a 58.401 kWh.

Dato che nella diagnosi era disponibile solamente l'indice di prestazione annuo, si ricava una riduzione del 12% rispetto al 2015.

Nel 2017, l'azienda ha subito un grande mutamento: è stato installato un impianto di trigenerazione nel mese di ottobre, e la produzione è stata totalmente spostata in un unico stabilimento.

I dati forniti dall'azienda sono riportati nella tabella seguente.

<b>2017</b>	<b>kWh CONSUMATI Sito 1</b>	<b>kWh CONSUMATI Sito 2</b>	<b>kWh AUTO PRODOTTI</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	106.876	99.171	0	206.047	226.000	0,9117
FEBBRAIO	126.637	117.233	0	243.870	266.000	0,9168
MARZO	161.554	132.178	0	293.732	358.000	0,8205
APRILE	123.441	104.096	0	227.537	274.000	0,8304
MAGGIO	165.243	119.272	0	284.515	312.000	0,9119
GIUGNO	193.951	95.399	0	289.350	322.000	0,8986
LUGLIO	233.060	87.124	0	320.184	362.000	0,8845
AGOSTO	183.548	25.372	0	208.920	191.000	1,0938
SETTEMBRE	253.048	9.079	0	262.127	375.000	0,6990
OTTOBRE	156.730	9.469	194.728	360.927	350.000	1,0312
NOVEMBRE	138.621	11.056	183.523	333.200	526.000	0,6335
DICEMBRE	111.058	9.217	109.503	229.778	220.000	1,0444
<b>TOTALE</b>	<b>1.953.767</b>	<b>818.666</b>	<b>487.754</b>	<b>3.260.187</b>	<b>3.782.000</b>	<b>0,8620</b>

*Tabella 4.42: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017.*

Nella tabella è stata aggiunta una colonna in cui sono stati indicati i kWh autoprodotti dall'impianto di trigenerazione.

L'azienda presenta un consumo totale di 3.260.187 kWh, per lavorare 3.782.000 kg di materia prima. Come per l'anno precedente, l'indice varia tra un minimo di 0,699 kWh/kg ed un massimo di 1,0938 kWh/kg.

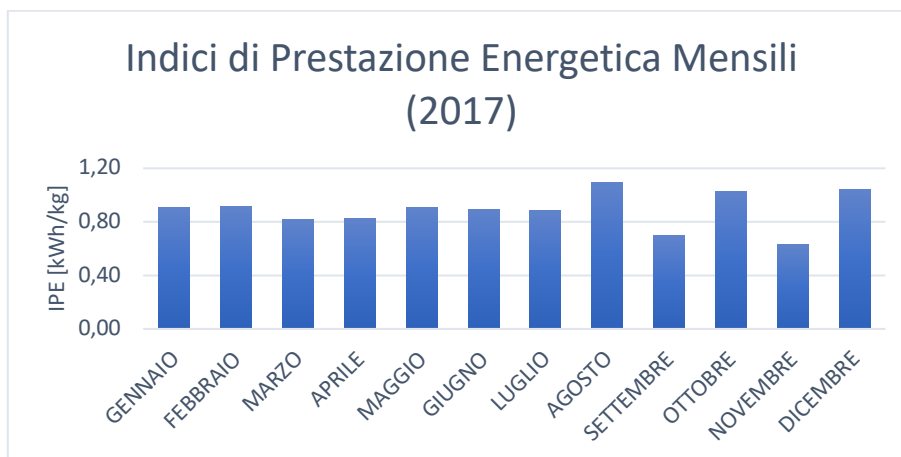


Figura 4.56: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).

I picchi che si vedono, si sono verificati nei mesi di agosto, ottobre e dicembre. Per quanto riguarda il mese di agosto, il peggioramento del valore dell'indice di prestazione potrebbe essere dovuto a fattori climatici, che impattano sulla temperatura di lavoro delle macchine, che richiedono un maggiore quantitativo di energia per essere raffreddate. Il picco di ottobre, è probabilmente dovuto all'entrata in funzione del cogeneratore, ed infine, il mese di dicembre, essendo l'ultimo dell'anno, viene spesso influenzato dal mix produttivo e dalle esigenze di spedizione dei clienti.

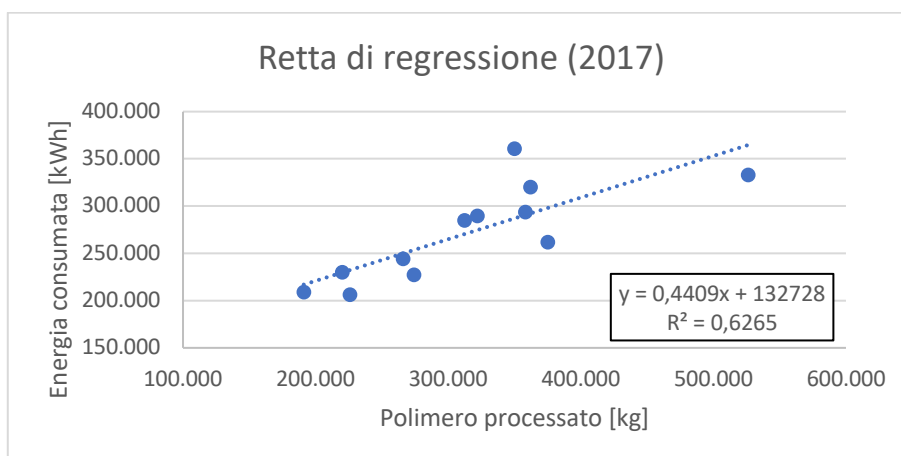


Figura 4.57: Retta di Regressione Lineare (2017).

Il modello ricavato non risulta particolarmente affidabile, a causa dell'elevata dispersione dovuta ai valori anomali. Escludendo tali valori, gli indici si presentano molto simili tra loro. Ad eccezione del valore annuale, tutti gli indici di prestazione reali risultano meno distanti del 30% rispetto a quelli calcolati, ed elaborando il rapporto tra la deviazione standard e il valor medio degli indici di prestazione, si ottiene uno scostamento del 15%, che essendo minore del 20%, permette di affermare che il modello risulta affidabile.

Vengono infine analizzati i dati relativi all'anno 2018.

<b>2018</b>	<b>kWh CONSUMATI</b>	<b>kWh AUTO PRODOTTI</b>	<b>kWh TOTALI CONSUMATI</b>	<b>kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
GENNAIO	132.752	135.060	267.812	233.000	1,1494
FEBBRAIO	150.524	174.950	325.474	340.000	0,9573
MARZO	152.887	203.661	356.548	338.000	1,0549
APRILE	124.790	166.064	290.854	272.000	1,0693
MAGGIO	155.540	197.363	352.903	388.000	0,9095
GIUGNO	179.911	159.617	339.528	331.000	1,0258
LUGLIO	163.196	193.352	356.548	378.000	0,9432
AGOSTO	102.549	93.825	196.374	201.000	0,9770
SETTEMBRE	134.707	174.752	309.459	300.000	1,0315
OTTOBRE	136.484	185.474	321.958	334.000	0,9639
NOVEMBRE	152.567	138.668	291.235	285.000	1,0219
DICEMBRE	90.243	116.009	206.252	205.000	1,0061
<b>TOTALE</b>	<b>1.676.150</b>	<b>1.938.795</b>	<b>3.614.945</b>	<b>3.605.000</b>	<b>1,0028</b>

Tabella 4.43: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018.

L'azienda presenta un consumo totale di 3.614.945 kWh, per lavorare 3.605.000 kg di materia prima. A fronte di un aumento dei kWh utilizzati e di una riduzione della quantità di polimero processato, l'indice di prestazione varia tra un minimo di 0,9095 kWh/kg ad un massimo di 1,1494 kWh/kg.

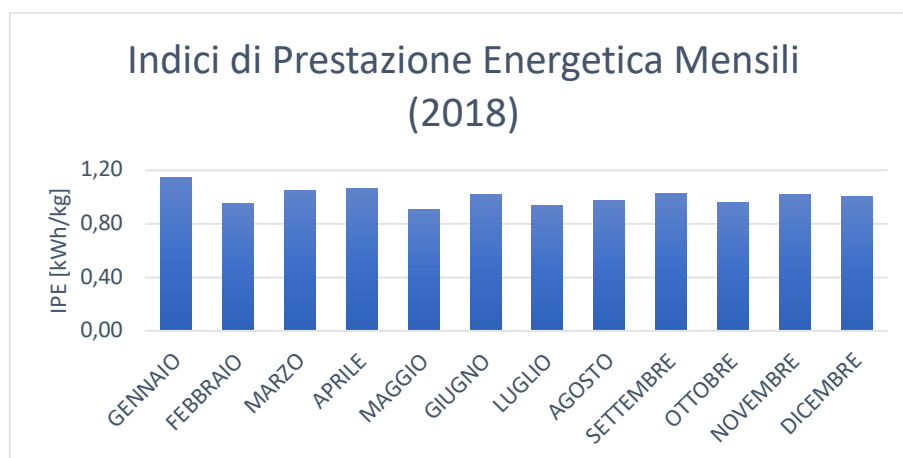


Figura 4.58: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).

L'indice di prestazione non presenta evidenti variazioni a livello mensile, se non per il mese di gennaio in cui risulta un valore maggiore rispetto agli altri mesi. A differenza dell'anno precedente non è presente un picco nel mese di agosto, che appare in linea con le prestazioni degli altri mesi.

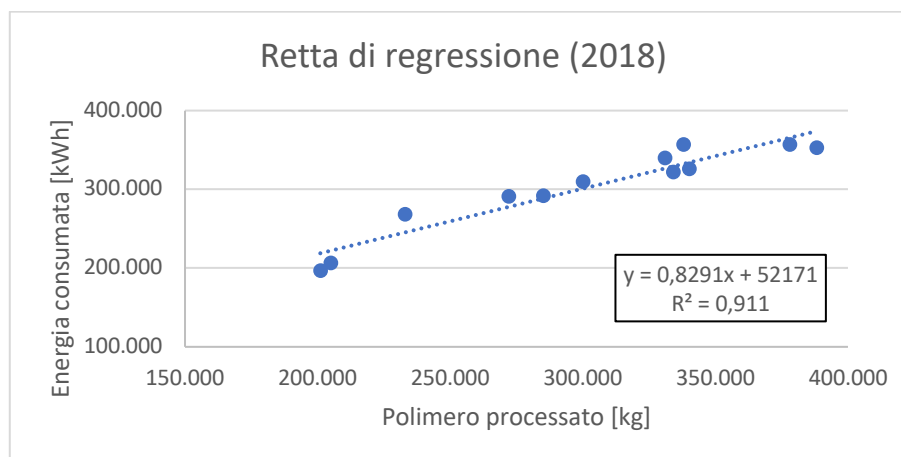


Figura 4.59: Retta di Regressione Lineare (2018).

Il modello ricavato dalla retta di regressione lineare si dimostra quindi affidabile, tuttavia la situazione energetica dell'azienda risulta peggiorata.

<b>2017 vs 2018</b>	<b>DIFFERENZA kWh CONSUMATI</b>	<b>DIFFERENZA kg MATERIA PRIMA ESTRUSA</b>	<b>kWh/kg M.P.</b>
scostamento	354.758	-177.000	-
% di scostamento	10,9%	-4,7%	16,3%

Tabella 4.44: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.

Comparando i risultati ottenuti dall'analisi degli anni 2018 e 2017, si nota un aumento dei consumi del 10,9%, una riduzione della produzione del 4,7% e di conseguenza un aumento dell'indice di prestazione del 16,3%. Tale risultato viene confermato dal seguente calcolo dell'indice di prestazione.

Utilizzando il modello fornito dall'ENEA come per i casi precedenti si ottiene:

$$IPE = 0,4215 + \frac{669.267}{3.605.000} = 0,6071 \text{ kWh/kg}$$

Equazione 4.4: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

Questo valore, relativo alle sole attività principali si traduce nell'indice di prestazione caratteristico di un'azienda che lavora nello stesso settore e presenta quel valore di produzione. Pertanto, l'azienda considerata si trova in una situazione di svantaggio rispetto alla media.

Infine, vengono di seguito riportati, come per i casi precedenti, i grafici che rappresentano le curve di carico dell'azienda per gli anni presi in considerazione, gli indici di prestazione, e la variazione dell'indice di prestazione dall'anno 2015 all'anno 2018.

Quello che si nota, è un considerevole aumento della richiesta elettrica nei tre anni considerati per quanto riguarda la prima parte dell'anno, e un quasi costante peggioramento dell'indice di prestazione rispetto agli anni precedenti.

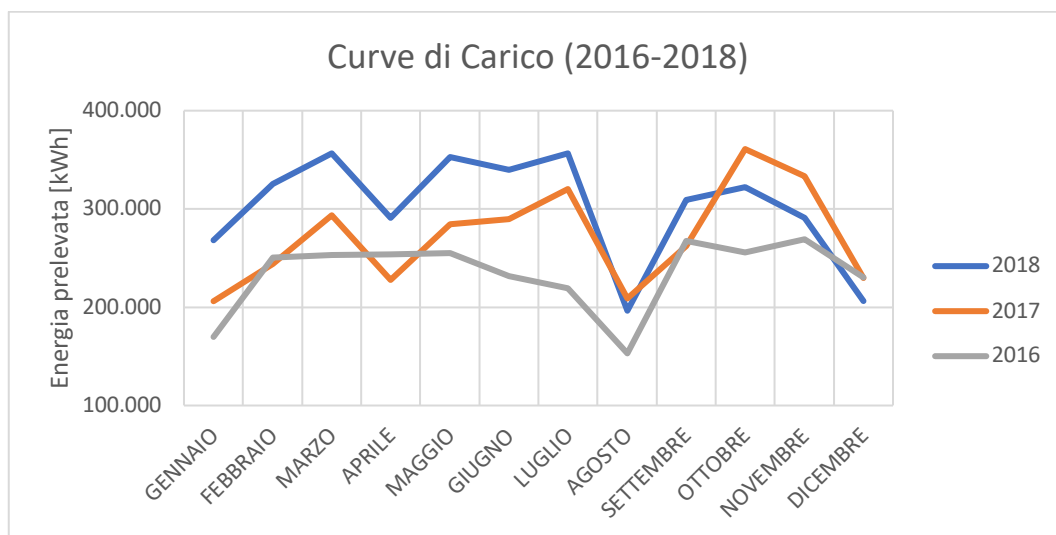


Figura 4.60: Curve di Carico dal 2016 al 2018.

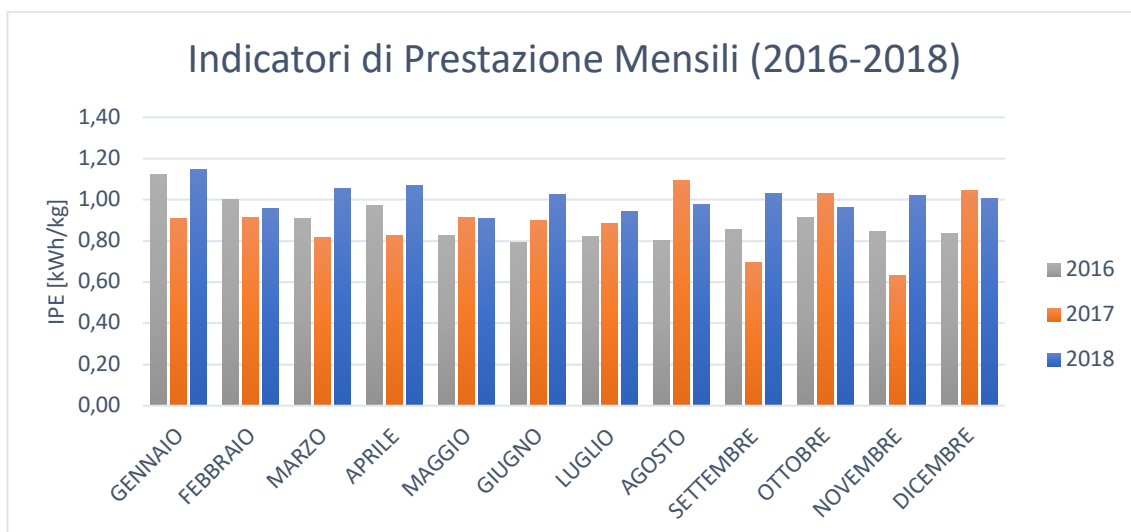


Figura 4.61: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018).



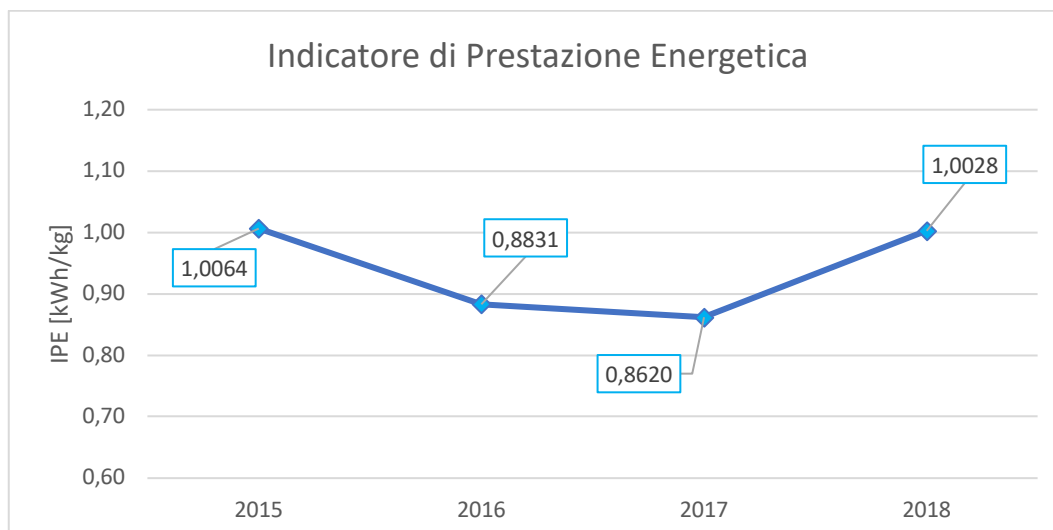


Figura 4.62: Indice di Prestazione Energetica (2015-2018).

L'aumento dell'indicatore di prestazione energetica attesta un non corretto utilizzo dell'energia, in parte legato all'installazione dell'impianto cogenerativo, che verrà di seguito analizzato: esso è costituito da un motore alimentato a gas naturale, di potenza elettrica 404 kW, che mette a disposizione dello stabilimento sia energia elettrica che termica, che viene trasformata in energia frigorifera da un assorbitore che va a raffreddare l'acqua che circola nel circuito di raffreddamento.

Essendo stati forniti dall'azienda i kWh elettrici, i kWh termici e gli Sm<sup>3</sup> di gas naturale utilizzato, è stato possibile valutare le prestazioni del cogeneratore negli ultimi 4 mesi del 2017.

Dati di targa Cogeneratore 2017	
Pel [kW]	404
E [kWh]	487.754
H_chp [kWh]	301.880
Gas [Sm <sup>3</sup> ]	128.813

Tabella 4.45: Dati di targa Impianto di Trigenerazione.

Partendo da questi dati, utilizzando un potere calorifico inferiore LHV=9,59 kWh/Sm<sup>3</sup> per il gas naturale, moltiplicando la quantità fornita per tale valore, si è ottenuta l'energia del combustibile:

$$E_c = 128.813 * 9,59 = 1.235.317 \text{ kWh}$$

Equazione 4.5: Energia del Combustibile.

È stato inizialmente calcolato il rendimento di Primo Principio, che se risulta maggiore del 75% significa che tutta l'energia elettrica prodotta dalla macchina è considerata cogenerativa, altrimenti, solamente parte di tale energia è considerata cogenerativa, come indicato dalla Direttiva sulla cogenerazione 2004/8/EC.

Il rendimento di Primo Principio è definito come:

$$\eta_I = \frac{E + H}{E_c} = 64\%$$

*Equazione 4.6: Rendimento di I Principio.*

Dove:

- E indica la totale energia elettrica prodotta, che in questo caso risulta essere 487.754 kWh.
- H indica la totale energia termica prodotta, che in questo caso risulta essere 301.880 kWh.
- E<sub>c</sub> indica l'energia del combustibile, calcolata precedentemente e pari a 1.235.317 kWh.

Dato che il rendimento di Primo Principio risulta minore del 75%, significa che non tutta l'energia elettrica risulta cogenerativa, e parte di essa viene utilizzata per alimentare la macchina. Per separare le due quote, è necessario calcolare il rapporto tra l'energia elettrica e l'energia termica in condizioni di massimo recupero, ovvero quanto il rendimento di Primo Principio è pari al 75%.

$$C = \left( \frac{E}{H} \right)_{\eta_I=75\%} \rightarrow E_{CHP} = H * C = 335.610 \text{ kWh}$$

*Equazione 4.7: Rapporto tra Energie Elettrica e Termica in Condizioni di massimo recupero.*

Dalla differenza con la totale energia prodotta si ricava l'energia elettrica non cogenerativa E<sub>nonCHP</sub> = 152.144 kWh, e allo stesso modo l'energia del combustibile in ingresso utilizzata per cogenerazione E<sub>C CHP</sub> = 849.986 kWh.

Effettuata tale separazione, è possibile calcolare il PES, il risparmio e la quantità di titoli di efficienza energetica ricavati, come indicato dalle Equazioni 2.3, 2.4 e 2.5. I risultati sono riportati nella Tabella 4.46:

Dati Cogeneratore 2017	
PES [> 0, Pel < 1 MW]	17,98%
RISP [MWh]	186
CB	22

Tabella 4.46: PES e Certificati Bianchi dell'Impianto di Trigenerazione (2017).

Lo stesso ragionamento è stato effettuato con i dati relativi al 2018, e i risultati ottenuti sono di seguito riportati:

Dati Cogeneratore 2018		
	Dati Reali	Dati di Targa
Pel [kW]	404	404
E [kWh <sub>e</sub> ]	1.938.795	1.938.795
CHP_Eη	0,38	0,38
Rif_Eη	0,47	0,47
H_chp [kWh <sub>t</sub> ]	1.374.800	2.521.528
CHP_Hη	0,27	0,49
Rif_Hη	0,92	0,92
Gas [Sm <sup>3</sup> ]	536.598	536.598
LHV [kWh/Sm <sup>3</sup> ]	9,59	9,59
Ec [kWh]	5.145.975	5.145.975
η <sub>I</sub>	0,64	0,87
C	1,41	0,77
PES [> 0, Pel < 1 MW]	7,87%	24,68%
Risp [MWh]	739	1.686
CB	89	203
Valore CB [€]	260	260
Ricavi da CB [€]	23.140	52.773
η <sub>I</sub> CAR	0,75	-
C	1,01	-
E_chp [kWh <sub>e</sub> ]	1.387.762	-
E_non_chp [kWh <sub>e</sub> ]	551.033	-
Ec_chp [kWh]	3.683.416	-

Tabella 4.47: Dati reali dell'Impianto di Trigenerazione (2018) e confronto coi dati di targa.

Ciò che si nota analizzando i risultati ottenuti, è che l'impianto non viene sfruttato al massimo delle sue potenzialità. Il rendimento termico CHP  $H_\eta$  della macchina, risulta essere quasi la metà di quello riportato nei dati di targa, dovuto allo sfruttamento di una quantità di calore inferiore rispetto alle capacità del cogeneratore. Nel caso ideale, tutta l'energia del combustibile verrebbe sfruttata in cogenerazione per produrre energia elettrica e termica.

Pertanto, si notano grandi differenze in termini di rendimento di primo principio e di PES ottenendo meno della metà del risparmio teorico ottenibile, e quindi un minor numero di certificati bianchi, che se valorizzati a 260 €, porterebbero ad un ricavo pari a 52.773 €, rispetto agli effettivi 23.140 €.

L'installazione del cogeneratore inoltre ha portato ad un abbassamento del fattore di potenza: prima dell'installazione, l'impianto prelevava energia attiva e reattiva dalla rete.

Inserendo un cogeneratore, l'impianto continua a prelevare energia reattiva dalla rete, a cui si aggiunge anche la reattiva di eccitazione del generatore, ma verrà assorbita una minor quantità di energia attiva, in quanto essa viene ora fornita dal cogeneratore, pertanto, a parità di potenza utilizzata, il  $\cos\varphi$  visto dal gruppo di misura risulterà più basso, secondo quanto indicato dall'Equazione 2.6.

Per l'azienda considerata, nel 2018, il fattore di potenza varia da un minimo di 0,5207 ad un massimo di 0,6201 in fascia F1.

La questione del rifasamento è stata affrontata mediante l'elaborazione di un codice Matlab, i cui dati in ingresso sono l'energia attiva e reattiva nelle fasce F1 e F2 lette dalle bollette elettriche per ogni mese del 2018, e le ore di lavoro totali annue.

Il codice, mediante il comando `Dati=xlsread('Tab.xlsx')` apre un file Excel in cui sono riportati tutti i dati, organizzati nella Tabella 4.48.

Il codice calcola il fattore di potenza e la potenza media mediante le Equazioni 2.6 e 2.7, da cui ricava la potenza rifasante mediante l'Equazione 2.8.

Dopo aver calcolato le penali, il codice chiede di inserire all'utente il costo della batteria di condensatori ed il numero di anni di vita utile, ricavando i principali indicatori economici.

Ipotizzando un costo della batteria pari a 30 €/kvar ed un tempo di vita di 10 anni, i risultati ottenuti vengono riportati nella Tabella 4.49.

	Attiva F1 [kWh]	Attiva F2 [kWh]	Reattiva F1 [kvarh]	Reattiva F2 [kvarh]	Potenza F1 [kW]	Potenza F2 [kW]	cosφ F1	cosφ F2	Penale 1 (>75%)	Penale 2 (33%-75%)	kvarh sottoposti a Penale 1	kvarh sottoposti a Penale 2	ore di lavoro
<b>Gennaio</b>	62.132	29.627	81.664	38.838	773	696	0,6055	0,6065	164,35 €	95,19 €	51.683	38.538	5640
<b>Febbraio</b>	67.981	35.792	100.038	50.645	761	758	0,5621	0,5771	231,67 €	107,65 €	72.853	43.585	
<b>Marzo</b>	70.598	37.803	110.628	54.331	744	634	0,5380	0,5711	266,04 €	112,45 €	83.659	45.528	
<b>Aprile</b>	57.442	31.474	87.008	44.506	773	558	0,5510	0,5774	206,15 €	92,24 €	64.828	37.345	
<b>Maggio</b>	71.918	37.671	112.349	55.445	718	732	0,5391	0,5620	272,22 €	113,69 €	85.603	46.028	
<b>Giugno</b>	80.297	42.701	113.201	53.827	818	810	0,5786	0,6215	237,80 €	127,60 €	74.779	51.659	
<b>Luglio</b>	78.152	37.678	118.494	55.765	839	707	0,5506	0,5598	277,89 €	120,16 €	87.387	48.649	
<b>Agosto</b>	46.396	21.440	63.717	27.096	761	740	0,5886	0,6205	127,00 €	70,37 €	39.936	28.491	
<b>Settembre</b>	66.631	29.365	100.388	45.004	790	741	0,5530	0,5465	233,40 €	99,59 €	73.395	40.318	
<b>Ottobre</b>	67.885	30.880	111.301	47.174	783	652	0,5207	0,5477	268,40 €	102,46 €	84.401	41.482	
<b>Novembre</b>	77.092	33.586	97.540	41.002	798	730	0,6201	0,6337	176,60 €	114,82 €	55.534	46.485	
<b>Dicembre</b>	42.379	19.026	62.510	24.296	705	672	0,5612	0,6165	129,59 €	63,70 €	40.753	25.790	
<b>TOTALE</b>	788.903	387.043	1.158.838	537.929	9.263	8.430	0,5640	0,5867	2.591,11 €	1.219,92 €	814.811	493.898	
	1.175.946		1.696.767		17.693		0,5754		3.811,03 €		1.308.709		

Tabella 4.48: Tabella utilizzata dal codice Matlab dove sono riportati i dati ricavabili dalle fatture elettriche.

<b>Rifasamento</b>		
Energia Attiva	[kWh]	1.175.949
Energia Reattiva	[kvarh]	1.696.767
Potenza Media	[kW]	208,5
cosφ	-	0,5696
ΔQ	[kvar]	234,12
Penale	[€]	3.811 €
Costo della Batteria	[€/kvar]	30
n	[anni]	10
i	[%]	5%
Fattore di Attualizzazione	[anni]	7,72
I <sub>0</sub>	[€]	7.023,75 €
VAN	[€]	22.404 €
TR	[anni]	0,54
IP	VAN/I <sub>0</sub>	3,19

Tabella 4.49: Valutazione Intervento di Rifasamento Elettrico a cosφ=0,95.

Dalla valutazione dei risultati ottenuti, si vede un tempo di ritorno semplice inferiore all'unità, pertanto, l'investimento dovrebbe teoricamente tornare nel giro di sei mesi, ed un valore del VAN molto elevato rispetto al valore dell'investimento iniziale, che ne attesta il vantaggio conseguibile.

Il codice di calcolo utilizzato è riportato interamente nell'Appendice 2.

Non essendo stati forniti i dati di prelievo quart'orari da parte dell'azienda, non è stato possibile confrontare i risultati sopra ottenuti con quelli che deriverebbero dall'utilizzo del codice riportato nell'Appendice 1, ma ci si aspetta di ottenere comunque dei risultati positivi, a fronte di un minor investimento iniziale.

## 4.5 Altri Casi

Al fine di migliorare l'affidabilità dello studio, sono stati inviati 90 questionari semplificati, riportati nell'Allegato 2, ad aziende energivore che lavorano nel settore plastico, locate in tutte le provincie venete.

Di queste, solamente 9 hanno risposto compilando il questionario, ed alcune di esse si sono anche rese disponibili per un incontro, in modo da osservare concretamente il processo produttivo.

La maggior parte di queste aziende ha come processo principale lo stampaggio ad iniezione; 2 di esse lavorano la plastica mediante il processo di termoformatura, e per le altre due l'attività principale è costituita dall'estrusione di tubi e profili, e dal soffiaggio.

Di seguito, verranno riportati i dati ottenuti dai questionari, e confrontati con la media di settore ricavata dalla letteratura, e con i casi pratici precedentemente analizzati.

Come per gli altri casi, non verranno riportati i riferimenti delle singole aziende.

### 4.5.1 Caso 5

L'azienda considerata per questo caso studio lavora nel settore dello stampaggio a iniezione, i cui prodotti sono destinati al settore elettrico e all'imballaggio.

Nello stabilimento sono presenti 23 presse, 7 delle quali con taglia compresa tra 25 e 100 t, e le altre 16 tra 151 e 999 t (forza di serraggio).

All'interno del sito viene svolto anche il processo di assemblaggio dei componenti stampati, ed il materiale utilizzato è costituito da plastica riciclata, proveniente dal settore dell'*automotive*.

I dati di produzione e consumo sono stati riportati nella seguente tabella:

CASO 5		
	2016	2017
kg di Materia Prima	880.000	1.045.000
kWh consumati	1.473.248	1.427.313
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,6741	1,3658

Tabella 4.50: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 5.

Dalla tabella si nota un buon miglioramento dell'indice di prestazione nell'anno 2017 rispetto al precedente. Tale miglioramento è dovuto all'acquisto di nuove macchine più efficienti. Sono

state infatti sostituite 3 presse da 300 t con pompa a portata fissa, da macchine con pompe a portata variabile.

L'azienda inoltre ha sostituito i *dryer* di due grandi condensatori da 1500 litri l'uno, con dei *dryer* dotati di *dupont* control e pompe con inverter. È stato sostituito anche un gruppo frigo con una nuova macchina i cui compressori sono dotati di inverter.

L'efficacia di tali interventi di efficientamento energetico infatti, è attestata dal miglioramento dell'indice di prestazione.

Tra le buone pratiche riportate, risulta essere effettuata regolarmente la pulizia e la manutenzione dei macchinari e degli ausiliari, le perdite di aria compressa vengono controllate, e le macchine sono dotate di coibentazione efficace.

Non è presente un impianto di monitoraggio, e se ne consiglia pertanto l'installazione dato che come anticipato, questo intervento è reso obbligatorio con il secondo giro di diagnosi energetiche.

Confrontando i risultati ottenuti con quelli della Tabella 2.5, l'azienda risulta ben posizionata rispetto alla media italiana ed europea. Tuttavia, confrontando questi dati con quelli ricavati dal primo caso studio si evince che si potrebbero ottenere risultati migliori, lavorando soprattutto dal punto di vista comportamentale, installando dispositivi a velocità variabile e sostituendo le macchine più vecchie alcune più efficienti. Il valore dell'indice tuttavia, dipende anche dal materiale utilizzato, che in questo caso risulta essere riciclato, e dal mix produttivo.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,52211 + \frac{2.397.147}{1.045000} = 2,816 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.8: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.*

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo tale modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.



## 4.5.2 Caso 6

Anche l'azienda considerata per questo caso studio lavora nel settore dello stampaggio ad iniezione, per la produzione di beni familiari, mediante l'utilizzo di 14 macchine.

I materiali principalmente utilizzati sono materiali termoplastici e plastica riciclata.

I dati di produzione e consumo sono stati riportati nella seguente tabella:

CASO 6		
	2016	2017
kg di Materia Prima	2.215.000	2.097.000
kWh consumati	1.610.171	1.543.163
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	0,7269	0,7359

Tabella 4.51: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 6.

I risultati ottenuti sono nettamente al di sotto dei valori riportati nella Tabella 2.5, e risultano anche migliori dei casi precedentemente analizzati.

Non risulta essere installato alcun impianto fotovoltaico o di cogenerazione, e nemmeno un sistema di monitoraggio.

Per ottenere tale indice, l'azienda ha investito nel corso degli ultimi 15 anni, prima aggiungendo degli inverter ad alcune presse. In seguito, è stato rinnovato il parco macchine con presse, già dotate di inverter e di altri sistemi per il risparmio energetico, che necessitano di minori quantità di olio, e di un tempo di sostituzione più lungo, ottenendo così un vantaggio ecologico.

Delle totali 14 macchine oggi in funzione, 7 di esse (le più grandi, tra le 1000 t e le 200 t) sono state sostituite con macchine ibride dotate di inverter, e sulle macchine più piccole è stata installata una pompa a portata variabile; inoltre, tutte le macchine sono dotate di termocoperta più una protezione metallica applicate sul cilindro di stampaggio. La temperatura necessaria per lavorare la plastica si aggira intorno ai 230 °C, come nel primo caso analizzato.

Sono stati sostituiti inoltre i compressori ed i frigoriferi, ed è stato aggiunto un termoconvettore ortogonale utile per il *free cooling* che raffredda l'acqua prima di mandarla nel frigo.

Questo caso studio dimostra come i principali interventi di efficientamento energetico attuabili nel settore dello stampaggio a iniezione, riportati nel capitolo precedente, quali la sostituzione di vecchie macchine con macchine più efficienti, l'utilizzo di termocoperte e la presenza di inverter che permettono di ottimizzare i cicli di produzione, permettano, insieme a corrette

misure comportamentali, di migliorare in maniera evidente l'indice di prestazione energetica di un'azienda.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,52211 + \frac{2.397.147}{2.097.000} = 1,665 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.9: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.*

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo il modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.

### 4.5.3 Caso 7

Il processo produttivo dell'azienda considerata in questo caso studio è ancora lo stampaggio ad iniezione, che viene utilizzato per la produzione di articoli per l'edilizia, per lo sport, e di giocattoli, partendo da materiali termoplastici e da plastica riciclata.

Il sito produttivo è caratterizzato da 28 macchine di varie taglie, 3 delle quali superiori a 1000 t, il cui 65% ha un'età compresa tra i 10 e i 20 anni di vita.

La lavorazione della plastica non è l'unico processo produttivo dell'azienda, che si occupa anche della costruzione di stampi per le prese ad iniezione.

Dai dati forniti è stato possibile ricavare i seguenti indici di prestazione:

CASO 7		
	2016	2017
kg di Materia Prima	1.470.000	1.448.000
kWh consumati	2.197.028	2.366.061
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,4946	1,6340

*Tabella 4.52: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 7.*

Confrontando questi risultati con la media di settore, gli indici ricavabili dagli anni 2016 e 2017 risultano migliori rispetto alla media italiana, tuttavia si nota un peggioramento dell'indice, che

passa da 1,4946 kWh/kg a 1,634 kWh/kg, a fronte di una diminuzione della quantità di materiale stampato, e di un aumento dei consumi.

Tra le buone pratiche sono state riportate: la presenza di un sistema di monitoraggio, manutenzione e pulizia regolari, ottimizzazione dei parametri di ciclo, presenza di inverter, riciclaggio scarti e moderazione delle perdite di aria compressa.

Si consiglia tuttavia di applicare delle termocoperte alle singole macchine in modo da ridurre le dispersioni termiche e salvaguardare la sicurezza degli operatori. Inoltre, si consiglia di ottimizzare il sistema di raffreddamento, utilizzando il *free cooling* dove possibile, come indicato nel capitolo precedente.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,52211 + \frac{2.397.147}{1.448.000} = 2,178 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.10: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.*

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo il modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.

#### 4.5.4 Caso 8

L'azienda considerata produce beni familiari, giocattoli ed articoli per lo sport, e materiali per imballaggio, mediante il processo di stampaggio ad iniezione.

All'interno del sito produttivo sono presenti 14 macchine che utilizzano materiali termoplastici.

Dai dati raccolti è stato possibile elaborare i seguenti indici di prestazione:

CASO 8		
	2016	2017
kg di Materia Prima	741.640	1.081.730
kWh consumati	1.143.834	1.215.573
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,5423	1,1237

*Tabella 4.53: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 8.*

L'indice di prestazione ricavato, già migliore di quello medio italiano, è migliorato rispetto all'anno 2016, passando da 1,5423 kWh/kg a 1,1237 kWh/kg.

Tale miglioramento non è dovuto ad una particolare variazione del mix produttivo, ma ad alcuni interventi di efficientamento energetico: l'azienda infatti ha sostituito alcune macchine idrauliche con nuove macchine completamente elettriche, ed ha provveduto ad effettuare un intervento di *re-lamping* sostituendo tutte le lampade con nuove lampade a led.

Tra le migliori pratiche inoltre sono state indicate: la presenza di un sistema di monitoraggio, manutenzione e pulizia regolari, ottimizzazione dei parametri di ciclo e presenza di inverter sulle macchine, riciclaggio scarti e la presenza di termocoperte sulle macchine.

Si consiglia di provvedere ad ottimizzare il sistema di raffreddamento sfruttando il *free cooling* dove possibile, e di moderare le perdite di aria compressa che potrebbero costituire una grande fonte di perdita.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,52211 + \frac{2.397.147}{1.081.730} = 2,738 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.11: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.*

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo il modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.

#### **4.5.5 Caso 9**

Questa azienda rappresenta l'ultimo caso studio inerente allo stampaggio ad iniezione. Vengono utilizzate 13 macchine che lavorano materiali termoplastici per lo stampaggio di imballaggi.

Dai dati forniti sono stati ricavati i seguenti indici di prestazione:

CASO 9		
	2016	2017
kg di Materia Prima	2.513.000	2.799.000
kWh consumati	4.320.000	4.680.000
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,7191	1,6720

Tabella 4.54: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 9.

Dai risultati ottenuti, sebbene gli indici di prestazioni risultino migliori rispetto alla media di settore ricavata dalla letteratura, risultano leggermente più elevati degli indici degli altri casi analizzati.

Da quello che è stato possibile capire tramite il questionario, non risulta essere eseguita una manutenzione regolare delle macchine e degli ausiliari, il sistema di raffreddamento non è ottimizzato e non viene sfruttato il *free cooling*, non sono installati inverter sulle macchine e le perdite di aria compressa non vengono moderate.

Come evidenziato in precedenza, la pulizia delle macchine rappresenta uno degli aspetti comportamentali che a minor costo restituiscono un grande miglioramento delle prestazioni. Gli altri interventi, come l'installazione di inverter e l'ottimizzazione del sistema di raffreddamento andrebbero a migliorare i parametri del ciclo produttivo, permettendo di ridurre i consumi e migliorare le prestazioni. Oltre a questi investimenti si consiglia, come in precedenza, la valutazione delle perdite di aria compressa, le quali possono pesare in maniera importante sui costi dell'azienda se non moderate.

Risultano installati sulle macchine un sistema di monitoraggio ed adeguati isolamenti termici.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,52211 + \frac{2.397.147}{2.799.000} = 1,378 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.12: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

L'indice ricavato per il 2017 risulta inferiore di quello generale, pertanto la differenza è attribuibile ai servizi generali ed ausiliari.

#### 4.5.6 Caso 10

L'azienda oggetto di questo caso studio utilizza il processo di estrusione del PVC per produrre articoli destinati al settore edilizio, agricolo e per la produzione di tubazioni per acquedotti e fognature.

Dai dati indicati nel questionario è stato possibile elaborare i seguenti risultati:

CASO 10		
	2016	2017
kg di Materia Prima	9.500.000	8.500.000
kWh consumati	4.304.340	3.821.648
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	0,4531	0,4496

Tabella 4.55: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 10.

Confrontando tali indici di prestazione con quelli riportati nella Tabella 2.5, l'azienda presenta un indice nettamente inferiore rispetto alle medie indicate. Esso risulta infatti meno della metà dell'indice di prestazione ricavato dall'ENEA, pari a 1,063 kWh/kg.

Tra le buone pratiche vengono riportate l'ottimizzazione del sistema di raffreddamento, il riciclaggio degli scarti e la regolare pulizia dei macchinari, ovvero quelle che risultano essere tra gli interventi di efficientamento energetico aventi maggior peso.

Teoricamente, per migliorare ulteriormente la situazione, si consiglia di moderare le perdite di aria compressa.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,4215 + \frac{669.267}{8.500.000} = 0,5002 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.13: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo il modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.

#### 4.5.7 Caso 11

La seguente azienda lavora materie plastiche e plastica riciclata per produrre imballaggi mediante il processo di termoformatura.

Gli indici ricavati sono i seguenti:

CASO 11		
	2016	2017
kg di Materia Prima	1.600.000	1.700.000
kWh consumati	1.498.500	1.598.400
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	0,9366	0,9402

Tabella 4.56: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 11.

Confrontando questi valori con la Tabella 2.5, in particolare con il dato riportato dall'ENEA, pari a 1,595 kWh/kg, l'azienda è caratterizzata da ottime prestazioni, che sono giustificate dalla presenza di un sistema di monitoraggio dedicato, manutenzione e pulizia regolare di macchine ed ausiliari, ottimizzazione dei parametri di ciclo e presenza di inverter, riduzione della domanda di perdite di aria compressa, riciclaggio scarti, ed illuminazione a led.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,6948 + \frac{393.785}{1.700.000} = 0,9264 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.14: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

L'indice risulta di poco inferiore a quello generale ricavato, e la differenza è attribuibile ai servizi generali ed ausiliari.

#### 4.5.8 Caso 12

L'ultima azienda oggetto di analisi è costituita da due sedi, una in Veneto e una nelle Marche. Sono stati compilati i questionari per entrambe, e di seguito verranno riportati i risultati. L'azienda produce imballaggi e materiali a contatto con alimenti, mediante il processo di termoformatura.

Per il primo sito i risultati ottenuti sono i seguenti:

<b>CASO 12 - 1</b>		
	2016	2017
kg di Materia Prima	19.793.000	18.553.000
kWh consumati	22.897.954	22.192.378
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,1569	1,1962

Tabella 4.57: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 12-1.

Mentre per il secondo:

<b>CASO 12 - 2</b>		
	2016	2017
kg di Materia Prima	15.103.000	13.445.000
kWh consumati	15.786.309	14.482.568
Indice di Prestazione Energetica in kWh/kg	1,0452	1,0772

Tabella 4.58: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 12-2.

Dalle tabelle si nota che entrambi gli stabilimenti presentano un indice migliore rispetto ai valori medi riportati in Tabella 2.5. I valori ricavati sono simili tra loro, ma risultano più elevati nel primo stabilimento, dove si nota sia un maggior consumo elettrico, che una maggiore quantità di materiale lavorato. Il motivo di tale differenza consiste nella presenza, nel primo stabilimento, di 6 macchine per lo stampaggio ad iniezione, oltre alle 16 macchina per la termoformatura, contro le 9 macchine per termoformatura presenti nel secondo sito.

Purtroppo, i dati forniti facevano riferimento all'intero stabilimento 1, e non è stato possibile separare le due attività.

Per entrambi i siti, sono state riportate tutte le principali *Best Practices* del settore, con la differenza che nel primo stabilimento è anche installato un impianto fotovoltaico.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.



$$IPE = 0,6948 + \frac{393.785}{18.553.000} = 0,716 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.15: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

Mentre per il secondo sito:

$$IPE = 0,6948 + \frac{393.785}{13.445.000} = 0,724 \frac{kWh}{kg}$$

Equazione 4.16: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.

In entrambi i casi, l'indice ricavato per il 2017 risulta inferiore di quello generale, e la differenza è attribuibile ai servizi generali ed ausiliari.

#### 4.5.9 Caso 13

L'azienda lavora le materie plastiche utilizzando il processo di soffiaggio e stiro-soffiaggio per produrre flaconi, barattoli e taniche per detergenza. All'interno del sito produttivo sono presenti 18 macchine per il soffiaggio e 2 per lo stampaggio ad iniezione. I dati ricavati dal questionario sono riassunti di seguito:

CASO 13		
	2016	2017
kg di Materia Prima	1.400.000	1.350.000
kWh consumati	2.189.344	2.381.303
Indice di Prestazione Energetica kWh/kg	1,5638	1,7639

Tabella 4.59: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 13.

L'indice di prestazione ricavato risulta peggiorato nell'anno 2017 rispetto all'anno precedente, a causa di una diminuzione della produzione ed un aumento del consumo. Confrontando i valori riportati con quelli riportati in Tabella 2.5, gli indici di prestazione risultano confrontabili, in quanto il dato medio ricavato nel 2015 dall'ENEA era pari a 1,765 kWh/kg. È di fondamentale importanza quindi per l'azienda capire cosa abbia portato l'indice ad un peggioramento nel corso dell'anno 2017, che potrebbe essere dovuto alla variazione del mix produttivo, in quanto nella sezione relativa alle buone pratiche sono state riportate la manutenzione, l'ottimizzazione dei parametri di ciclo e del sistema di raffreddamento, la presenza di inverter ed il riciclaggio

scarti. Come per altri casi studio, si consiglia di installare un sistema di monitoraggio che permetterebbe di individuare dove ed in che modo viene utilizzata l'energia; l'utilizzo del *free cooling* e la riduzione delle perdite di aria compressa, in quanto il raffreddamento del prodotto e l'aria compressa utilizzata per dare forma al *parison* sono due aspetti fondamentali all'interno di tale processo.

Utilizzando il modello dell'ENEA è possibile calcolare l'indice di prestazione relativo alle attività principali.

$$IPE = 0,5100 + \frac{2.004.651}{1.350.000} = 1,995 \frac{kWh}{kg}$$

*Equazione 4.17: Indice di Prestazione Energetica ricavato dal modello dell'ENEA.*

L'indice risulta più elevato di quello generale ricavato, pertanto significa che secondo il modello l'azienda è caratterizzata da prestazioni migliori rispetto ad altre aziende con lo stesso livello produttivo.

## 5 Sintesi dei Risultati

In questo capitolo verranno sintetizzati i risultati raccolti dai casi studio analizzati durante il progetto formativo svolto presso “RXENERGY S.r.l.s.”, e quelli derivanti dalle *Best Practices* ricavabili in letteratura, al fine di individuare quali sono le azioni che incidono maggiormente sull’efficienza energetica delle industrie plastiche.

La sintesi generale dei risultati può essere utile ad un’associazione di categoria, con il suggerimento di adottare tali pratiche in modo che diventino uno standard per il settore.

Per la sintesi dei risultati è importante sottolineare, che gli indici di prestazione ricavati, espressi in kWh/kg, come è stato possibile vedere per i vari casi studio, sono influenzati da molte variabili: prima tra tutte la quantità di materiale indicata, che non sempre è stata prodotta in quel determinato mese, il mix produttivo, che dipende da svariati fattori, il processo produttivo stesso, ed il carico di base.

Lo studio di tali indici risulta comunque un valido metodo per valutare l’efficienza energetica del sito produttivo, analizzando eventuali anomalie ed individuando possibili miglioramenti.

La maggior parte dei casi studio analizzati è caratterizzata dal processo di stampaggio ad iniezione, e gli indici di prestazione ricavati sono riportati in Tabella 5.1.

Indici di Prestazione Energetica Generali [kWh/kg]								
Processo	Anni	ENEA	Caso 1	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
Stampaggio ad Iniezione	2015	2,1030	1,4528	-	-	-	-	-
	2016	-	1,1863	1,6741	0,7269	1,4946	1,5423	1,7191
	2017	-	1,0612	1,3658	0,7359	1,6340	1,1237	1,6720
	2018	-	0,8835	-	-	-	-	-

Tabella 5.1: Risultati Ottenuti per il processo di Stampaggio ad Iniezione.

Tutti i casi studio analizzati presentavano un indice di prestazione inferiore a quello di *benchmark*.

Considerando queste diverse realtà è emerso che effettivamente, quanto riportato in letteratura consente di migliorare l’efficienza energetica di un’azienda.

I principali vantaggi sono dovuti alla sostituzione di vecchie macchine idrauliche con macchine elettriche o ibride. La sostituzione delle macchine idrauliche consente l'eliminazione/riduzione dei costi di manutenzione dell'olio idraulico, la riduzione del tempo di ciclo e della rumorosità, e una maggiore efficienza complessiva.

Il miglioramento è visibile dalla diminuzione dell'indice di prestazione del Caso 5 in cui sono state sostituite tre macchine di taglia elevata con macchine più efficienti.

Si ricorda inoltre che come per un motore, l'investimento iniziale costituisce solamente il 10% del costo di vita della macchina, pertanto conviene investire in macchine più efficienti, isolate termicamente e dotate di dispositivi variatori di velocità.

È questo l'esempio del Caso 6, in cui le macchine che costituiscono il 70% della produzione, sono state sostituite con macchine ibride, dotate di isolamento termico, e sul restante 30% costituito dalle macchine più piccole, era stato installato un inverter.

Il caso studio presenta infatti il miglior valore ricavato, con dei consumi simili ad altri casi studio, ma una produzione maggiore.

Il secondo intervento consigliato è l'installazione di termocoperte sui cilindri delle macchine, al fine di diminuire le dispersioni termiche ed aumentare la sicurezza dell'operatore. In questo modo si riduce il tempo di ciclo perché diminuiscono le dispersioni di calore all'avvio della macchina, ed essa lavora a temperatura costante, quindi in maniera più efficiente.

L'installazione di inverter sulle macchine idrauliche è un altro intervento fondamentale: grazie al dispositivo variatore di velocità è possibile effettuare un avvio graduale, riducendo la domanda di olio idraulico, diminuendo anche la sua manutenzione ed allungando i tempi necessari per sostituirlo, conseguendo anche vantaggi di tipo ambientale. Si riduce inoltre l'usura del motore.

Infine, il buon comportamento degli operatori gioca un ruolo fondamentale nel miglioramento dell'efficienza energetica.

Come è possibile vedere dai risultati del Caso 1, senza effettuare grandi interventi di efficientamento a livello di attività principale, è possibile ridurre in maniera importante il consumo specifico, eseguendo una manutenzione e una pulizia periodica dei macchinari, esaminando gli scambiatori di calore, i filtri del circuito di raffreddamento, controllando i parametri di ciclo, riducendo la temperatura di lavoro dove possibile, ed accoppiando il giusto

materiale alla giusta macchina. È vantaggioso implementare delle procedure volte alla riduzione degli scarti, andando a riciclare la materia prima scartata.

Nella Tabella 5.2 sono riportati i risultati ottenuti dai vari casi studio che appartengono al processo di estrusione.

<b>Indici di Prestazione Energetica Generali [kWh/kg]</b>				
<b>Processo</b>	<b>Anni</b>	<b>ENEA</b>	<b>Caso 2</b>	
Estrusione di Film Bolla	2015	0,7890	-	
	2016	-	0,6563	
	2017	-	0,6401	
	2018	-	0,6261	
<b>Processo</b>	<b>Anni</b>	<b>ENEA</b>	<b>Caso 3</b>	
Estrusione di Film Piano	2015	1,0760	-	
	2016	-	1,6023	
	2017	-	1,6706	
	2018	-	1,6444	
<b>Processo</b>	<b>Anni</b>	<b>ENEA</b>	<b>Caso 4</b>	<b>Caso 10</b>
Estrusione di Tubi/Profili	2015	1,0630	-	-
	2016	-	0,8831	0,4531
	2017	-	0,8620	0,4496
	2018	-	1,0028	-

Tabella 5.2: Risultati Ottenuti per i vari processi di Estrusione.

Anche in questo caso, i risultati ottenuti sono migliori rispetto al valore di *benchmark*, tranne nel caso dell'estrusione di film piano.

Come è stato specificato nel paragrafo dedicato, il Caso 3 risulta essere caratterizzato da un prodotto particolare, di qualità molto elevata.

L'utilizzo di materiali contraddistinti da temperature di lavoro estremamente diverse tra loro e la particolarità del processo produttivo, incidono fortemente sui consumi elettrici, incrementando il consumo specifico di energia. Infatti, come indicato nel Paragrafo 4.3, se si considerasse il solo indice relativo alla linea di estrusione del PVC, si avrebbe un indice di prestazione pari a 0,5097 kWh/kg, esattamente in linea con quanto ricavato dall'ENEA per le sole attività principali.

Come nel settore dello stampaggio ad iniezione, anche nell'estrusione è fondamentale investire in macchine più efficienti, scegliendo l'estrusore con il giusto rapporto lunghezza/diametro e

con il corretto design delle viti. L'utilizzo di estrusori di grandi dimensioni per piccoli stampi è altamente inefficiente.

Il costo iniziale di una macchina efficiente dal punto di vista energetico potrebbe risultare più elevato, ma essa fornirà rapidi ritorni dell'investimento. Opzioni quali motori AC ad alta efficienza e azionamenti a velocità variabile offrono un buon recupero sia per nuovi acquisti che per sostituzione di vecchie macchine.

Il punto di maggior consumo individuato in questi processi produttivi è costituito dall'acqua di raffreddamento per la refrigerazione della zona di alimentazione dell'estrusore.

Il consumo di energia può essere significativamente ridotto impostando la temperatura della matrice al minimo possibile, garantendo un flusso di materiale fuso uniforme, e controllando la temperatura dei rulli.

Ulteriori vantaggi si ottengono mediante la manutenzione e la pulizia delle macchine, e grazie all'adeguato isolamento del cilindro di estrusione.

I risultati ottenuti per il processo di termoformatura sono stati riportati nella Tabella 5.3.

<b>Indici di Prestazione Energetica Generali [kWh/kg]</b>					
<b>Processo</b>	<b>Anni</b>	<b>ENEA</b>	<b>Caso 11</b>	<b>Caso 12-1</b>	<b>Caso 12-2</b>
Termoformatura	2015	1,5950	-	-	-
	2016	-	0,9366	1,1569	1,0452
	2017	-	0,9402	1,1962	1,0772
	2018	-	-	-	-

*Tabella 5.3: Risultati Ottenuti per il processo di Termoformatura.*

Il Caso 11 ed il Caso 12 risultano particolarmente diversi tra loro a livello di quantità di materiale prodotto e di kWh consumati, ma gli indici di prestazione risultano per entrambi migliori rispetto al valore di riferimento.

Per migliorare l'efficienza energetica di un processo di termoformatura, è importante utilizzare la corretta fonte di riscaldamento da accoppiare al materiale processato, ottimizzare i parametri ed il tempo di ciclo (fogli sottili vengono riscaldati in maniera efficiente con riscaldatori radianti, mentre fogli più spessi in forni ad aria calda a convezione forzata). Inoltre, sostituendo azionamenti idraulici o pneumatici con servomotori elettrici si possono ottenere numerosi vantaggi, come il maggior controllo della rotazione delle forbici, minor consumo di energia, maggior numero di cicli e aumento del tempo di vita dell'attrezzatura.

Infine, vengono riportati i dati ricavati per il processo di soffiaggio.

<b>Indici di Prestazione Energetica Generali [kWh/kg]</b>			
<b>Processo</b>	<b>Anni</b>	<b>ENEA</b>	<b>Caso 13</b>
Soffiaggio	2015	1,7650	-
	2016	-	1,5638
	2017	-	1,7639
	2018	-	-

Tabella 5.4: Risultati Ottenuti per il processo di Soffiaggio.

Gli indici ricavati da questo caso studio risultano in linea con il valore di *benchmark*, anche se si nota un aumento del consumo specifico di energia che potrebbe essere dovuto alla variazione del mix produttivo, essendo state riportate nel questionario compilato dall'azienda tutte le principali *Best Practices*.

Per migliorare le prestazioni in un processo di soffiaggio, è importante: ottimizzare la temperatura del fuso polimerico per garantire che il polimero venga espulso correttamente dallo stampo; regolare lo stampo e distribuire il polimero in maniera uniforme, riducendo i tempi di raffreddamento e la quantità di polimero utilizzata; verificare che la forza idraulica della macchina non sia superiore a quella richiesta.

Si tenga inoltre presente che oltre il 60% del costo energetico per lo stiro-soffiaggio può essere attribuito al sistema di aria compressa, pertanto, è fondamentale selezionare il tipo e le dimensioni corrette del compressore o della pompa in base ai livelli di utilizzo previsti, operare alla pressione appropriata ed effettuare rigorose procedure di manutenzione.

Dall'analisi è emersa anche l'importanza dei servizi generali ed ausiliari che rappresentano circa il 30% dell'energia consumata. Questa cifra varia a seconda dei diversi processi, tuttavia rappresenta una quantità significativa con grande potenziale di risparmio.

In particolare, motori ed alternatori rappresentano i 2/3 dell'energia utilizzata, per questo motivo è importante valutare l'installazione di un inverter che riduca la richiesta di olio idraulico e di conseguenza la sua temperatura, necessitando di un minor quantitativo di energia per essere raffreddato.

Questo dispositivo riduce inoltre i costi di manutenzione, migliorando le prestazioni e diminuendo il rumore.

L'*utility* che pesa maggiormente sui processi di lavorazione della plastica è costituita dall'aria compressa. È di fondamentale importanza monitorare le perdite di aria compressa esaminando le linee produttive con apparecchiature specializzate o in periodi di non produzione.

Inoltre, vanno controllati i livelli di pressione, per evitare sprechi: per ogni riduzione di pressione di 1 bar nell'intervallo 6-8 bar, è possibile risparmiare il 6-8% dei costi energetici. [23]

Anche il sistema di essiccazione dei polimeri, che costituisce il 15% dell'energia totale di lavorazione, può essere ottimizzato, mediante l'utilizzo di macchinari più efficienti, che regolino la temperatura in base al materiale.

Si possono ottenere grandi vantaggi anche a livello di illuminazione.

L'illuminazione è uno dei fattori più importanti all'interno dell'ambiente lavorativo perché migliora le condizioni di lavoro e la produttività, aumentando la sicurezza ed il benessere del personale.

I vecchi apparecchi luminosi sono spesso inefficienti, per tale motivo si propone il passaggio all'illuminazione a led, caratterizzata da un maggiore tempo di vita e una migliore efficienza energetica, garantendo un ritorno dell'investimento relativamente breve.

Infine, come ultima *utility*, è stata riscontrata l'enorme importanza del sistema di raffreddamento, che deve essere dimensionato correttamente, in quanto, la riduzione della temperatura dell'acqua si traduce in un risparmio energetico.

Come per i motori, anche il costo del *chiller* è costituito per il 10% dal costo di acquisto, e per il restante 90% da costi energetici nel corso della sua vita utile, pertanto, conviene acquistare il più efficiente e non il più economico.

Eliminare o ridurre i carichi di raffreddamento ridurrà i costi di gestione e migliorerà l'efficienza energetica.

Per concludere, uno degli aspetti più significativi emersi nel corso dello studio dei casi pratici è che le soluzioni tecniche da sole raramente sono sufficienti. Senza l'impegno costante della forza lavoro, è improbabile che anche il programma di gestione energetica più attentamente pianificato abbia successo. Di conseguenza, motivare e formare il personale nella consapevolezza energetica dovrebbe essere una priorità in qualsiasi programma di gestione dell'energia. [20]



# Conclusioni

---

In questo lavoro sono state analizzate varie aziende energivore operanti nei diversi settori di lavorazione delle materie plastiche.

Sia dallo studio dei casi pratici che dall'analisi della letteratura, è stato possibile apprendere che l'industria della plastica è un settore tecnologicamente molto avanzato e sviluppato, in cui l'energia ricopre un ruolo fondamentale. Essa costituisce uno dei maggiori costi per un'azienda che opera in questo settore, pertanto, risulta essenziale indagare in che modo ottimizzare l'efficienza energetica dei processi produttivi riducendo gli sprechi, mediante un'opportuna diagnosi energetica.

In questo lavoro di tesi, l'attenzione è stata rivolta all'analisi degli indici di prestazione.

L'indicatore di prestazione energetica più rilevante per il settore plastico è costituito dal consumo specifico di energia, espresso in kWh/kg, che rappresenta quanti kWh sono necessari per lavorare 1 kg di materia prima. Tale indice può essere calcolato in maniera generale, ovvero considerando tutti i kWh consumati dal sito produttivo, oppure per la sola attività principale, considerando i dati di consumo del processo produttivo o delle singole macchine.

Sebbene tali indicatori siano influenzati da diversi fattori, come il mix produttivo, le condizioni atmosferiche e l'efficienza della tecnologia impiegata, forniscono importanti informazioni su come viene utilizzata l'energia, permettendo di identificare possibili anomalie ed utilizzi non corretti dell'energia, suggerendo gli ambiti in cui intervenire.

Sono stati analizzati 13 casi studio: 6 relativi al processo di stampaggio ad iniezione, 4 all'estrusione, 1 al soffiaggio e 2 alla termoformatura, confrontando i risultati ottenuti con i valori di *benchmark* ricavati in letteratura. Tutti i casi analizzati presentavano prestazioni migliori rispetto alla media europea, i cui valori risultano però abbastanza datati.

Più significativo è risultato essere il confronto degli indicatori di prestazione energetica con i valori medi italiani ricavati dalle diagnosi energetiche del 2015.

Anche in questo caso, la maggior parte dei casi studio presentava indicatori generali migliori rispetto alla media.

Dai risultati ottenuti e dall'analisi delle migliori pratiche disponibili, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- L'indice di prestazione energetica espresso in kWh/kg è fortemente influenzato dal processo produttivo, in particolar modo dalla temperatura di lavoro del materiale utilizzato.

Tale dipendenza è stata osservata all'interno dell'analisi del terzo caso studio, in cui l'indice di prestazione risultava peggiore rispetto al valore di *benchmark*. Dall'analisi è emerso che tale valore è dovuto all'utilizzo di materiali diversi per il processo di estrusione di film cast, ovvero PVC e PET, i quali presentano rispettivamente temperature di rammollimento di circa 80°C e 250°C. In particolare, l'indice di prestazione della linea di estrusione che lavora il PVC concorda con il valore di *benchmark* del processo di film cast, solitamente utilizzato per realizzare prodotti diversi rispetto al caso studio.

Il materiale inoltre deve essere trattato in maniera corretta prima di essere lavorato, passando in un apposito impianto di essiccazione che costituisce il 15% dell'energia totale di lavorazione. Il processo può essere migliorato investendo in macchinari più efficienti.

- In tutti i processi si ottengono prestazioni migliori sostituendo vecchie macchine con macchinari più moderni ed efficienti. Nello stampaggio ad iniezione in particolare, la sostituzione di una macchina idraulica con una macchina elettrica o ibrida dotata di pompa a portata variabile migliora l'efficienza del processo produttivo riducendo il tempo di ciclo, la quantità d'olio utilizzata e di conseguenza i costi di manutenzione legati ad esso, conseguendo un vantaggio sia energetico che ambientale.

Molte aziende tendono a non sostituire le macchine più vecchie a causa degli elevati investimenti, ma il costo iniziale di un macchinario costituisce solamente il 10% del suo costo di vita, pertanto, il maggiore investimento viene ripagato dai risparmi legati all'efficienza energetica.

Altri interventi rilevanti a livello di macchina sono l'installazione di termocoperte e di inverter. Una termocoperta applicata al cilindro di estrusione della macchina permette di contenere le emissioni di temperatura, facendo lavorare la macchina a temperatura costante e riducendo i tempi di riscaldamento all'avvio, conseguendo un risparmio energetico pari a circa 22%. [23] Un inverter invece permette di regolare la velocità ed il funzionamento della pompa idraulica riducendo la domanda di olio, l'usura del motore e la manutenzione, con dei risparmi economici annui del 50% circa. [23]

Tali risultati sono emersi in vari casi studio in cui il miglioramento è stato attribuito alla sostituzione di alcuni macchinari, ma in maniera più evidente nel Caso 6.

- Il raffreddamento del prodotto finito è un aspetto fondamentale di tutti i processi considerati perché il calore impiegato per fondere la plastica deve poi essere rimosso in maniera efficiente.

Le apparecchiature di raffreddamento sono utilizzate per fornire acqua fredda a varie esigenze di processo, tra cui il raffreddamento dello stampo a iniezione, il controllo della temperatura dell'olio idraulico e i rulli di raffreddamento per i processi di estrusione.

Come per le macchine e per i motori, in un periodo di dieci anni, il 90% del costo di un *chiller* è attribuibile all'energia utilizzata, pertanto conviene sempre acquistare il più efficiente e non il più economico. [23]

Inoltre, quando la temperatura ambiente scende al di sotto di quella dell'acqua di raffreddamento si può utilizzare il *free cooling*, il cui effetto sarà tanto maggiore, quanto più bassa sarà la temperatura ambiente rispetto a quella dell'acqua di circolazione.

Eliminare o ridurre i carichi di raffreddamento ridurrà i costi di gestione e migliorerà l'efficienza energetica.

- I servizi generali e ausiliari rappresentano circa il 30% dell'energia consumata. In particolare, l'aria compressa risulta molto più costosa dell'energia elettrica in quanto deve essere trattata per rimuovere impurità, e la maggior parte dell'energia utilizzata per comprimere l'aria si trasforma in calore e viene persa.

Per risparmiare energia è importante minimizzarne la domanda ed ottimizzarne l'offerta, riducendo le perdite.

Per i casi studio su cui è stato possibile reperire dati mensili, sono stati anche valutati e consigliati alcuni interventi di efficientamento energetico, come previsto dal report di diagnosi energetica.

In particolare, è emerso che, interventi come la sostituzione delle vecchie lampade con lampade a led più efficienti, il controllo delle perdite di aria compressa, ed il rifasamento elettrico, sono caratterizzati da investimenti contenuti, grandi risparmi e brevi tempi di ritorno, con valori di VAN e TIR molto elevati.

Viceversa, interventi quali l'installazione di un impianto fotovoltaico o di trigenerazione, presentano tempi di ritorno estremamente elevati, sottolineando come l'incentivo percepito dalle aziende energivore paradossalmente penalizzi gli interventi di efficientamento energetico.

Alla luce di quanto riportato, esiste tuttavia la necessità di approfondire alcuni aspetti a livello meccanico legati ai singoli processi che potrebbero andare ad ottimizzare il tempo di ciclo, come ad esempio il controllo termico degli stampi nello stampaggio ad iniezione.

Sarebbe inoltre interessante poter valutare anche i consumi specifici di energia delle varie aziende a livello di attività principale, ricavando quanto realmente incidono i servizi generali e ausiliari sul prezzo finale del prodotto, cosa che non è stata possibile nel corso di tale lavoro in quanto non tutte le aziende disponevano di sistemi di monitoraggio dedicati.

Nonostante queste criticità, l'analisi ha dimostrato come un'approfondita valutazione degli indici di prestazione possa esprimere in che modo un'azienda sta utilizzando l'energia, individuare le aree in cui è necessario migliorare l'efficienza energetica del processo produttivo, come l'applicazione delle migliori pratiche comporti vantaggi consistenti, e soprattutto come l'efficienza energetica di un processo produttivo non possa essere raggiunta solamente grazie alla tecnologia, ma debba essere accompagnata dall'impegno e dalle conoscenze degli operatori, che devono essere energeticamente consapevoli.

# Appendice 1

---

In questa appendice viene riportato il codice di calcolo utilizzato per calcolare il valore ottimale della potenza rifasante. Per il funzionamento del codice è sufficiente scaricare i file .csv dei consumi quart'orari di energia attiva e reattiva dal sito del distributore per un intero anno solare. Dopo averli convertiti in Excel e denominati “aaaammAttiva” e “aaaammReattiva”, il codice apre i file creando le due matrici da cui eseguirà tutti i calcoli successivi.

```
clear all
close all
clc
%%

%Matrice dell'energia attiva
Anno_Activa=[];
for k=201801:201812
    filename=[num2str(k),'Attiva.xlsx'];
    mese=xlsread(filename);
    Anno_Activa=[Anno_Activa
                 mese];
end
Anno_Activa(:,1)=[];

%Matrice dell'energia reattiva
Anno_Reattiva=[];
for k=201801:201812
    filename=[num2str(k),'Reattiva.xlsx'];
    mese=xlsread(filename);
    Anno_Reattiva=[Anno_Reattiva
                   mese];
end
Anno_Reattiva(:,1)=[];

%Check Domeniche
Prima_Domenica=7;
for i=Prima_Domenica:7:364
    Anno_Activa(i,:)=NaN;
    Anno_Reattiva(i,:)=NaN;
end

%Check Festività
Feste=[1,6,92,115,121,153,227,305,342,359,360]; %92=Lunedì di Pasqua
Anno_Activa(Feste,:)=NaN;
Anno_Reattiva(Feste,:)=NaN;

%Check Ore 7:00-23:00
Anno_Activa(:,1:28)=NaN;
Anno_Activa(:,93:96)=NaN;
Anno_Reattiva(:,1:28)=NaN;
Anno_Reattiva(:,93:96)=NaN;
```

```

Anno_Attiva(find(isnan(Anno_Attiva)))=0;
Tot_Attiva_Annua=sum(sum(Anno_Attiva));           %[kWh]
disp(['Energia Attiva [kWh] : ',num2str(Tot_Attiva_Annua)])
Anno_Reattiva(find(isnan(Anno_Reattiva)))=0;
Tot_Reattiva_Annua=sum(sum(Anno_Reattiva));       %[kvarh]
disp(['Energia Reattiva [kvarh] : ',num2str(Tot_Reattiva_Annua)])

Potenza_Media=Anno_Attiva./0.25;   %Matrice della Potenza Media quarto
d'ora per quarto d'ora
Potenza_Media(find(isnan(Potenza_Media)))=0;

%Suddivisione in fasce F1 e F2
%Check F1 8:00-19:00
EaF1=Anno_Attiva;
EaF1(:,29:32)=NaN;
EaF1(:,77:92)=NaN;
ErF1=Anno_Reattiva;
ErF1(:,29:32)=NaN;
ErF1(:,77:92)=NaN;

%Check Sabati
Primo_Sabato=6;
for i=Primo_Sabato:7:364
    EaF1(i,:)=NaN;
    ErF1(i,:)=NaN;
end

EaF1(find(isnan(EaF1)))=0;
Tot_EaF1=sum(sum(EaF1));
ErF1(find(isnan(ErF1)))=0;
Tot_ErF1=sum(sum(ErF1));

%Check F2 7:00-8:00, 19:00-23:00 + Sabati
EaF2=Anno_Attiva;
ErF2=Anno_Reattiva;

settimane_anno=52;
for i=33:76;
    EaF2(1:5,i)=NaN;
    ErF2(1:5,i)=NaN;
    for k=1:(settimane_anno);
        EaF2((1+7*k):(5+7*k),i)=NaN;
        ErF2((1+7*k):(5+7*k),i)=NaN;
    end
end
EaF2(366:369,:)=[];
ErF2(366:369,:)=[];

EaF2(find(isnan(EaF2)))=0;
Tot_EaF2=sum(sum(EaF2));
ErF2(find(isnan(ErF2)))=0;
Tot_ErF2=sum(sum(ErF2));

%Totale Attiva e Reattiva in F1 e F2
EaF1F2=Tot_EaF1+Tot_EaF2;
ErF1F2=Tot_ErF1+Tot_ErF2;

```

```

%Energia Attiva e Reattiva Gennaio
for i=1:96
    for k=1:31
        Ea_Gennaio=sum(sum(Anno_Attiva(1:k,1:i)));
        Er_Gennaio=sum(sum(Anno_Reattiva(1:k,1:i)));
        Ea_GennaioF1=sum(sum(EaF1(1:k,1:i)));
        Ea_GennaioF2=sum(sum(EaF2(1:k,1:i)));
        Er_GennaioF1=sum(sum(ErF1(1:k,1:i)));
        Er_GennaioF2=sum(sum(ErF2(1:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Febbraio
for i=1:96
    for k=32:59
        Ea_Febbraio=sum(sum(Anno_Attiva(32:k,1:i)));
        Er_Febbraio=sum(sum(Anno_Reattiva(32:k,1:i)));
        Ea_FebbraioF1=sum(sum(EaF1(32:k,1:i)));
        Ea_FebbraioF2=sum(sum(EaF2(32:k,1:i)));
        Er_FebbraioF1=sum(sum(ErF1(32:k,1:i)));
        Er_FebbraioF2=sum(sum(ErF2(32:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Marzo
for i=1:96
    for k=60:90
        Ea_Marzo=sum(sum(Anno_Attiva(60:k,1:i)));
        Er_Marzo=sum(sum(Anno_Reattiva(60:k,1:i)));
        Ea_MarzoF1=sum(sum(EaF1(60:k,1:i)));
        Ea_MarzoF2=sum(sum(EaF2(60:k,1:i)));
        Er_MarzoF1=sum(sum(ErF1(60:k,1:i)));
        Er_MarzoF2=sum(sum(ErF2(60:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Aprile
for i=1:96
    for k=91:120
        Ea_Aprile=sum(sum(Anno_Attiva(91:k,1:i)));
        Er_Aprile=sum(sum(Anno_Reattiva(91:k,1:i)));
        Ea_AprileF1=sum(sum(EaF1(91:k,1:i)));
        Ea_AprileF2=sum(sum(EaF2(91:k,1:i)));
        Er_AprileF1=sum(sum(ErF1(91:k,1:i)));
        Er_AprileF2=sum(sum(ErF2(91:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Maggio
for i=1:96
    for k=121:151
        Ea_Maggio=sum(sum(Anno_Attiva(121:k,1:i)));
        Er_Maggio=sum(sum(Anno_Reattiva(121:k,1:i)));
        Ea_MaggioF1=sum(sum(EaF1(121:k,1:i)));
        Ea_MaggioF2=sum(sum(EaF2(121:k,1:i)));
        Er_MaggioF1=sum(sum(ErF1(121:k,1:i)));
        Er_MaggioF2=sum(sum(ErF2(121:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Giugno

```

```

for i=1:96
    for k=152:181
        Ea_Giugno=sum(sum(Anno_Attiva(152:k,1:i)));
        Er_Giugno=sum(sum(Anno_Reattiva(152:k,1:i)));
        Ea_GiugnoF1=sum(sum(EaF1(152:k,1:i)));
        Ea_GiugnoF2=sum(sum(EaF2(152:k,1:i)));
        Er_GiugnoF1=sum(sum(ErF1(152:k,1:i)));
        Er_GiugnoF2=sum(sum(ErF2(152:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Luglio
for i=1:96
    for k=182:212
        Ea_Luglio=sum(sum(Anno_Attiva(182:k,1:i)));
        Er_Luglio=sum(sum(Anno_Reattiva(182:k,1:i)));
        Ea_LuglioF1=sum(sum(EaF1(182:k,1:i)));
        Ea_LuglioF2=sum(sum(EaF2(182:k,1:i)));
        Er_LuglioF1=sum(sum(ErF1(182:k,1:i)));
        Er_LuglioF2=sum(sum(ErF2(182:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Agosto
for i=1:96
    for k=213:243
        Ea_Agosto=sum(sum(Anno_Attiva(213:k,1:i)));
        Er_Agosto=sum(sum(Anno_Reattiva(213:k,1:i)));
        Ea_AgostoF1=sum(sum(EaF1(213:k,1:i)));
        Ea_AgostoF2=sum(sum(EaF2(213:k,1:i)));
        Er_AgostoF1=sum(sum(ErF1(213:k,1:i)));
        Er_AgostoF2=sum(sum(ErF2(213:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Settembre
for i=1:96
    for k=244:273
        Ea_Settembre=sum(sum(Anno_Attiva(244:k,1:i)));
        Er_Settembre=sum(sum(Anno_Reattiva(244:k,1:i)));
        Ea_SettembreF1=sum(sum(EaF1(244:k,1:i)));
        Ea_SettembreF2=sum(sum(EaF2(244:k,1:i)));
        Er_SettembreF1=sum(sum(ErF1(244:k,1:i)));
        Er_SettembreF2=sum(sum(ErF2(244:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Ottobre
for i=1:96
    for k=274:304
        Ea_Ottobre=sum(sum(Anno_Attiva(274:k,1:i)));
        Er_Ottobre=sum(sum(Anno_Reattiva(274:k,1:i)));
        Ea_OttobreF1=sum(sum(EaF1(274:k,1:i)));
        Ea_OttobreF2=sum(sum(EaF2(274:k,1:i)));
        Er_OttobreF1=sum(sum(ErF1(274:k,1:i)));
        Er_OttobreF2=sum(sum(ErF2(274:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Novembre
for i=1:96

```



```

    for k=305:334
        Ea_Novembre=sum(sum(Anno_Attiva(305:k,1:i)));
        Er_Novembre=sum(sum(Anno_Reattiva(305:k,1:i)));
        Ea_NovembreF1=sum(sum(EaF1(305:k,1:i)));
        Ea_NovembreF2=sum(sum(EaF2(305:k,1:i)));
        Er_NovembreF1=sum(sum(ErF1(305:k,1:i)));
        Er_NovembreF2=sum(sum(ErF2(305:k,1:i)));
    end
end

%Energia Attiva e Reattiva Dicembre
for i=1:96
    for k=335:365
        Ea_Dicembre=sum(sum(Anno_Attiva(335:k,1:i)));
        Er_Dicembre=sum(sum(Anno_Reattiva(335:k,1:i)));
        Ea_DicembreF1=sum(sum(EaF1(335:k,1:i)));
        Ea_DicembreF2=sum(sum(EaF2(335:k,1:i)));
        Er_DicembreF1=sum(sum(ErF1(335:k,1:i)));
        Er_DicembreF2=sum(sum(ErF2(335:k,1:i)));
    end
end

%Vettori Energia Attiva e Reattiva media mensile, F1 e F2
Ea_media_mensile=[Ea_Gennaio;Ea_Febbraio;Ea_Marzo;Ea_Aprile;Ea_Maggio;Ea_Giugno;Ea_Luglio;Ea_Agosto;Ea_Settembre;Ea_Ottobre;Ea_Novembre;Ea_Dicembre];
Er_media_mensile=[Er_Gennaio;Er_Febbraio;Er_Marzo;Er_Aprile;Er_Maggio;Er_Giugno;Er_Luglio;Er_Agosto;Er_Settembre;Er_Ottobre;Er_Novembre;Er_Dicembre];
EaF1_mensile=[Ea_GennaioF1;Ea_FebbraioF1;Ea_MarzoF1;Ea_AprileF1;Ea_MaggioF1;Ea_GiugnoF1;Ea_LuglioF1;Ea_AgostoF1;Ea_SettembreF1;Ea_OttobreF1;Ea_NovembreF1;Ea_DicembreF1];
EaF2_mensile=[Ea_GennaioF2;Ea_FebbraioF2;Ea_MarzoF2;Ea_AprileF2;Ea_MaggioF2;Ea_GiugnoF2;Ea_LuglioF2;Ea_AgostoF2;Ea_SettembreF2;Ea_OttobreF2;Ea_NovembreF2;Ea_DicembreF2];
ErF1_mensile=[Er_GennaioF1;Er_FebbraioF1;Er_MarzoF1;Er_AprileF1;Er_MaggioF1;Er_GiugnoF1;Er_LuglioF1;Er_AgostoF1;Er_SettembreF1;Er_OttobreF1;Er_NovembreF1;Er_DicembreF1];
ErF2_mensile=[Er_GennaioF2;Er_FebbraioF2;Er_MarzoF2;Er_AprileF2;Er_MaggioF2;Er_GiugnoF2;Er_LuglioF2;Er_AgostoF2;Er_SettembreF2;Er_OttobreF2;Er_NovembreF2;Er_DicembreF2];

%Calcolo cos(Fi)
for i=1:96
    for k=1:365

cosFi(k,i)=Anno_Attiva(k,i)/(sqrt(Anno_Attiva(k,i)^2+Anno_Reattiva(k,i)^2))
;
        if cosFi(k,i)>=0.95
            cosFi(k,i)=NaN;
        end
    end
end

Fi=acos(cosFi);
tanFi=tan(Fi);
cosFi(find(isnan(cosFi)))=0;

cosFi_medio_mensile=Ea_media_mensile./(sqrt(Ea_media_mensile.^2+Er_media_mensile.^2)); %vettore cosFi medio mensile
cosFi_medio=Tot_Attiva_Annua/(sqrt(Tot_Attiva_Annua^2+Tot_Reattiva_Annua^2));
%cosFi medio annuo
Fi_medio_mensile=acos(cosFi_medio_mensile); %medio mensile

```

```

tanFi_medio_mensile=tan(Fi_medio_mensile); %medio mensile
Fi_medio=acos(cosFi_medio); %medio anno
tanFi_medio=tan(Fi_medio); %medio anno

%Calcolo la Potenza rifasante
DeltaQ=Potenza_Media.*(tanFi-0.32); %Matrice della Potenza Rifasante [kvar]
DeltaQ(find(isnan(DeltaQ)))=0;

%Calcolo Penali
Ea1_mensile=round(EaF1_mensile,0);
Ea2_mensile=round(EaF2_mensile,0);
Er1_mensile=round(ErF1_mensile,0);
Er2_mensile=round(ErF2_mensile,0);

Cer1=0.00726; %[Euro/kvarh]
Cer2=0.00935; %[Euro/kvarh]

for k=1:12
    if Er1_mensile(k)>(0.75.*Ea1_mensile(k))
        Penale2F1(k)=(Er1_mensile(k)-(0.75.*Ea1_mensile(k))).*Cer2;
        Penale1F1(k)=(Er1_mensile(k)-(Er1_mensile(k)-
(0.75.*Ea1_mensile(k)))-0.33.*Ea1_mensile(k))*Cer1;

        elseif Er1_mensile(k)>(0.33.*Ea1_mensile(k))
            Penale2F1(k)=0;
            Penale1F1(k)=(Er1_mensile(k)-0.33.*Ea1_mensile(k))*Cer1;
        end
    end

for k=1:12
    if Er2_mensile(k)>(0.75.*Ea2_mensile(k))
        Penale2F2(k)=(Er2_mensile(k)-(0.75.*Ea2_mensile(k))).*Cer2;
        Penale1F2(k)=(Er2_mensile(k)-(Er2_mensile(k)-
(0.75.*Ea2_mensile(k)))-0.33.*Ea2_mensile(k))*Cer1;

        elseif Er2_mensile(k)>(0.33.*Ea2_mensile(k))
            Penale2F2(k)=0;
            Penale1F2(k)=(Er2_mensile(k)-0.33.*Ea2_mensile(k))*Cer1;
        end
    end

Penale1F1=Penale1F1';
Penale2F1=Penale2F1';
Penale1F2=Penale1F2';
Penale2F2=Penale2F2';

P1=round(Penale1F1,2);
P2=round(Penale2F1,2);
P3=round(Penale1F2,2);
P4=round(Penale2F2,2);

Penale_mensile=P1+P2+P3+P4; %Vettore Penali mensili [Euro]
Penale_anno=sum(Penale_mensile); %Penale annua [Euro]
disp(['Penale_anno [Euro] : ',num2str(Penale_anno)])

%%

Cbat=input('Inserire il costo della batteria di condensatori, Cbat= ');
%[Euro/kvar]

```

```

n=input('Qual'è il tempo di vita della batteria? n= '); %anni

Cer=Penale_anno/Tot_Reattiva_Annua; %costo di fatturazione dei kvarh per
ora [Euro/kvarh]
r=0.05; %tasso di sconto
FA=(1-((1+r)^(-n)))/r; %fattore di attualizzazione
h_calc=Cbat/(Cer*FA); %ore di rifasamento

cosFi_V=nonzeros(cosFi);
cosFi_V=sort(cosFi_V, 'descend');

DeltaQ_V=nonzeros(DeltaQ);
DeltaQ_V=sort(DeltaQ_V, 'descend');

h=[0.25:0.25:length(cosFi_V)*0.25];
Ore=h';

figure()
plot(h,cosFi_V)
title('cosFi-h')
xlabel('Ore')
ylabel('cosFi')

figure()
plot(h,DeltaQ_V)
title('DeltaQ-h')
xlabel('Ore')
ylabel('DeltaQ [kvar]')

index=round(h_calc/0.25);
disp(['CosFi : ',num2str(cosFi_V(index))])

figure()
plot(h,cosFi_V,'b',h(index),cosFi_V(index),'*r')
title('cosFi-h')
xlabel('Ore')
ylabel('cosFi')

disp(['DeltaQ ideale [kvar] : ',num2str(DeltaQ_V(index))])

figure()
plot(h,DeltaQ_V,'b',h(index),DeltaQ_V(index),'*r')
title('DeltaQ-h')
xlabel('Ore')
ylabel('DeltaQ [kvar]')

I0=Cbat*DeltaQ_V(index); %Investimento Iniziale
FC=Penale_anno; %Flusso di Cassa
VAN=FC*FA-I0; %Valore Attuale Netto
TR=I0/FC; %Tempo di ritorno dell'investimento [anni]
IP=VAN/I0; %Indice di profitto

```

## Appendice 2

---

In questa appendice viene riportato il codice di calcolo utilizzato per calcolare il valore della potenza rifasante sulla base dei dati annuali ricavati dalle bollette. Per il funzionamento del codice è stata creata una tabella (come la Tabella 4.49) in cui sono stati riportati tutti i dati necessari ricavati dalle bollette elettriche. Il codice apre il file Excel denominato “Tab.xlsx”, ed esegue tutti i passaggi necessari.

```
clear all
close all
clc
%%
Dati=xlsread('Tab.xlsx');
EaF1=Dati(1:12,1); % [kWh]
EaF2=Dati(1:12,2); % [kWh]
ErF1=Dati(1:12,3); % [kvarh]
ErF2=Dati(1:12,4); % [kvarh]
PF1=Dati(1:12,5); % [kW]
PF2=Dati(1:12,6); % [kW]

Ea=EaF1+EaF2; % [kWh]
Er=ErF1+ErF2; % [kvarh]

Eatot=sum(Ea); %totale energia attiva[kWh]
Ertot=sum(Er); %totale energia reattiva[kvarh]

cosFi=Eatot/(sqrt(Eatot^2+Ertot^2)); %calcolo cosFi medio annuo
cosFim=Ea./(sqrt(Ea.^2+Er.^2)); %calcolo cosFi medio mensile
Fi=acos(cosFi);
tanFi=tan(Fi);

h=Dati(1,13);
Pm=Eatot/h; %potenza attiva ritirata media [kW]

deltaQ=Pm*(tanFi-0.32); %potenza rifasante a cosFi=0,95 [kvar]

%Calcolo Penali
Cer1=0.00247; % [Euro/kvarh]
Cer2=0.00318; % [Euro/kvarh]

for k=1:12
    if ErF1(k,1)>(0.75*EaF1(k,1))
        penale2F1(k,1)=(ErF1(k,1)-0.75.*EaF1(k,1))*Cer2;
        penale1F1(k,1)=(0.75.*EaF1(k,1)-0.33.*EaF1(k,1))*Cer1;
    elseif ErF1(k,1)>(0.33*EaF1(k,1))
        penale2F1(k,1)=0;
        penale1F1(k,1)=(ErF1(k,1)-0.33.*EaF1(k,1))*Cer1;
    end
end
```

```

for k=1:12
    if ErF2(k,1)>(0.75*EaF2(k,1))
        penale2F2(k,1)=(ErF2(k,1)-0.75.*EaF2(k,1))*Cer2;
        penale1F2(k,1)=(0.75.*EaF2(k,1)-0.33.*EaF2(k,1))*Cer1;
    elseif ErF2(k,1)>(0.33*EaF2(k,1))
        penale2F2(k,1)=0;
        penale1F2(k,1)=(ErF2(k,1)-0.33.*EaF2(k,1))*Cer1;
    end
end

p1=round(penale1F1,2);
p2=round(penale2F1,2);
p3=round(penale1F2,2);
p4=round(penale2F2,2);

penale=p1+p2+p3+p4;
totpenale=sum(penale); %penale annua [Euro]

Cbat=input('Inserire il costo della batteria di condensatori, Cbat= ');
%[Euro/kvar]
n=input('Qual'è il tempo di vita della batteria? n= '); %anni

Cer=totpenale/Ertot; %[Euro/kvarh]
r=0.05; %tasso di sconto
FA=(1-((1+r)^(-n)))/r; %fattore di attualizzazione
h_calc=Cbat/(Cer*FA); %ore di rifasamento

VAN=(totpenale*FA)-(Cbat*deltaQ); %valore attuale netto
TR=totpenale/(Cbat*deltaQ); %tempo di ritorno semplice [anni]
IP=VAN/(Cbat*deltaQ); %indice di profitto

```

# Indice delle Figure

---

Figura 1.1: Schema di esecuzione di una Diagnosi Energetica.....	29
Figura 1.2: Ciclo Plan-Do-Check-Act.....	35
Figura 2.1: Suddivisione delle Materie Plastiche.....	45
Figura 2.2: Quantità di Materie Plastiche lavorate nel Mondo e in Europa (2015 – 2016).....	46
Figura 2.3: Energia utilizzata nell'industria plastica.....	47
Figura 2.4: Fasi del processo di Stampaggio a Iniezione.....	48
Figura 2.5: Schema semplificato di una macchina per Stampaggio a Iniezione.....	49
Figura 2.6: Tipico esempio del Consumo Energetico in un Impianto di Stampaggio a Iniezione.....	50
Figura 2.7: Fasi del Processo di Estrusione.....	51
Figura 2.8: Schema semplificato di un Estrusore.....	52
Figura 2.9: Fasi del processo di Soffiaggio.....	54
Figura 2.10: Schema semplificato di una macchina per Soffiaggio.....	54
Figura 2.11: Grafico a dispersione.....	60
Figura 2.12: Retta di regressione lineare.....	61
Figura 2.13: Indicatore di performance.....	62
Figura 2.14: Indicatore di performance, Valore Medio $\pm$ Deviazione Standard.....	63
Figura 2.15: Carico Base e Variabile per un'azienda di Stampaggio a Iniezione.....	64
Figura 2.16: Carico Base e Variabile per un'azienda di Estrusione.....	64
Figura 2.17: Carico Base e Variabile per processo misto.....	65
Figura 2.18: Carico di Base e di Processo con cambio team di gestione dell'energia.....	65
Figura 2.19: Grafico $\cos\phi$ -h.....	79
Figura 2.20: Grafico $\Delta Q$ -h.....	79
Figura 3.1: Consumo Energetico di un Macchinario per Stampaggio a Iniezione nel Tempo, con un Carico pari al 64% (a sinistra); Vista estesa dell'Assorbimento del Macchinario che mostra le Fasi del Ciclo nei Dettagli (a destra).....	90
Figura 3.2: Ciclo di Stampaggio a Iniezione per la Macchina Considerata.....	92
Figura 3.3: Stoccaggio a Pendolo.....	103
Figura 3.4: Suddivisione dei Servizi Ausiliari.....	110
Figura 4.1: Suddivisione in aree Funzionali.....	119
Figura 4.2: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014).....	121

Figura 4.3: Retta di Regressione Lineare (2014).....	122
Figura 4.4: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2015).....	126
Figura 4.5: Retta di Regressione Lineare (2015).....	127
Figura 4.6: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).....	128
Figura 4.7: Retta di Regressione Lineare (2016).....	129
Figura 4.8: Valor Medio $\pm$ Deviazione Standard (2016).....	131
Figura 4.9: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).....	132
Figura 4.10: Retta di Regressione Lineare (2017).....	133
Figura 4.11: Ripartizione dei Consumi in attività Principali, Servizi ausiliari e Generali (2018).....	133
Figura 4.12: Ripartizione dei Consumi nelle varie Attività (2018).....	134
Figura 4.13: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).....	135
Figura 4.14: Retta di Regressione Lineare (2018).....	136
Figura 4.15: Curve di carico dal 2014 al 2018.....	136
Figura 4.16: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014 – 2018).....	137
Figura 4.17: Indice di Prestazione Energetica (2012 – 2018).....	137
Figura 4.18: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per Attività Principale....	139
Figura 4.19: Retta di Regressione Lineare (2018) per Attività Principale.....	139
Figura 4.20: Suddivisione in aree Funzionali.....	145
Figura 4.21: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2014).....	146
Figura 4.22: Retta di Regressione Lineare (2014).....	146
Figura 4.23: Retta di Regressione Lineare (2014) evitando i punti peggiori.....	147
Figura 4.24: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).....	149
Figura 4.25: Retta di Regressione Lineare (2016).....	150
Figura 4.26: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).....	151
Figura 4.27: Retta di Regressione Lineare (2017).....	152
Figura 4.28: Ripartizione dei Consumi in attività Principali, Servizi ausiliari e Generali (2018).....	153
Figura 4.29: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).....	154
Figura 4.30: Retta di Regressione Lineare (2018).....	154
Figura 4.31: Curve di carico dal 2016 al 2018.....	156
Figura 4.32: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018).....	157
Figura 4.33: Indice di Prestazione Energetica (2014 – 2018).....	157
Figura 4.34: Suddivisione in aree Funzionali.....	161

Figura 4.35: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016) per le singole linee produttive.....	164
Figura 4.36: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016) per Attività Principale....	164
Figura 4.37: Retta di Regressione Lineare (2016) per Attività Principale.....	165
Figura 4.38: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).....	166
Figura 4.39: Retta di Regressione Lineare (2016).....	166
Figura 4.40: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017) per Attività Principale....	167
Figura 4.41: Retta di Regressione Lineare (2017) per Attività Principale.....	168
Figura 4.42: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017) per le singole linee produttive.....	168
Figura 4.43: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).....	169
Figura 4.44: Retta di Regressione Lineare (2017).....	170
Figura 4.45: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per Attività Principale....	171
Figura 4.46: Retta di Regressione Lineare (2018) per Attività Principale.....	172
Figura 4.47: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018) per le singole linee produttive.....	172
Figura 4.48: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2018).....	173
Figura 4.49: Retta di Regressione Lineare (2018).....	174
Figura 4.50: Curve di carico dal 2016 al 2018, per Sito e Attività Principale.....	175
Figura 4.51: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018), per Sito e Attività Principale.....	176
Figura 4.52: Indice di Prestazione Energetica (2014 – 2018), per Sito e Attività Principale.....	176
Figura 4.53: Suddivisione in aree Funzionali.....	178
Figura 4.54: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016).....	181
Figura 4.55: Retta di Regressione Lineare (2016).....	181
Figura 4.56: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).....	183
Figura 4.57: Retta di Regressione Lineare (2017).....	183
Figura 4.58: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2017).....	185
Figura 4.59: Retta di Regressione Lineare (2017).....	185
Figura 4.60: Curve di carico dal 2016 al 2018.....	186
Figura 4.61: Indicatori di Prestazione Energetica Mensili (2016 – 2018).....	186
Figura 4.62: Indice di Prestazione Energetica (2015 – 2018).....	187



# Indice delle Tabelle

---

Tabella 2.1: Consumo di Energia Specifico Medio.....	58
Tabella 2.2: Principali Operazioni di Lavorazione delle Materie Plastiche.....	67
Tabella 2.3: Indici di Prestazione Medio a livello di Sito e di Attività Produttiva.....	68
Tabella 2.4: Indici di Prestazione Medio a livello di Sito e di Attività Produttiva espressi in kWh/kg.....	69
Tabella 2.5: Tabella riassuntiva degli Indici di Prestazione Medi per Sito e per Attività Principale, per i Principali Processi Produttivi, Ricavati dagli Studi Analizzati.....	70
Tabella 2.6: Perdite di Aria Compressa secondo il diametro del foro di uscita.....	80
Tabella 3.1: Confronto tra un Cilindro Con e Senza Termocoperta.....	90
Tabella 3.2: Caratteristiche della Macchina.....	92
Tabella 3.3: Grandezze Misurate.....	93
Tabella 3.4: Analisi dei Costi e dei Risparmi.....	93
Tabella 3.5: Analisi dei Costi del Pezzo.....	93
Tabella 3.6: Confronto tra le diverse Fasi del Processo Produttivo.....	108
Tabella 4.1: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2014....	120
Tabella 4.2: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2015....	126
Tabella 4.3: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2014 e 2015.....	127
Tabella 4.4: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016....	128
Tabella 4.5: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2015 e 2016.....	129
Tabella 4.6: Differenza tra Indici di Prestazione Reali e Calcolati (2016).....	130
Tabella 4.7: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017....	131
Tabella 4.8: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.....	132
Tabella 4.9: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018....	134
Tabella 4.10: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.....	135
Tabella 4.11: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2012 e 2018.....	138

Tabella 4.12: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione 2018 per Attività Principale.....	138
Tabella 4.13: Dati Impianto Fotovoltaico.....	141
Tabella 4.14: Dati Impianto di Trigenerazione.....	142
Tabella 4.15: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2014...	145
Tabella 4.16: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016...	149
Tabella 4.17: Differenza tra Indici di Prestazione Reali e Calcolati (2016).....	150
Tabella 4.18: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017...	151
Tabella 4.19: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.....	152
Tabella 4.20: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018...	153
Tabella 4.21: Indici di Prestazione ricavati.....	155
Tabella 4.22: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.....	155
Tabella 4.23: Differenza di Costi, Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2014 e 2018.....	155
Tabella 4.24: Dati Impianto Fotovoltaico.....	158
Tabella 4.25: Dati Impianto di Trigenerazione.....	159
Tabella 4.26: Valutazione Perdite di Aria Compressa.....	160
Tabella 4.27: Dati Re-lamping Illuminazione.....	160
Tabella 4.28: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2016.....	162
Tabella 4.29: kWh consumati e kg di produzione per le tre linee.....	163
Tabella 4.30: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016...	165
Tabella 4.31: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2017.....	167
Tabella 4.32: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017 per Attività Principale.....	168
Tabella 4.33: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017...	169
Tabella 4.34: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017.....	170
Tabella 4.35: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione per Attività Principale relativi all'anno 2018.....	171

Tabella 4.36: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2016 e 2017 per Attività Principale.....	172
Tabella 4.37: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018...	173
Tabella 4.38: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.....	174
Tabella 4.39: Incidenza percentuale dei consumi relativi all'attività principale (2018).....	175
Tabella 4.40: Dati Impianto di Trigenerazione.....	177
Tabella 4.41: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2016...	180
Tabella 4.42: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2017...	182
Tabella 4.43: Dati di Consumo e Produzione, Indici di Prestazione relativi all'anno 2018...	184
Tabella 4.44: Differenza di Consumi, Materia Prima, e Indice di Prestazione tra 2017 e 2018.....	185
Tabella 4.45: Dati di targa Impianto di Trigenerazione.....	187
Tabella 4.46: PES e Certificati Bianchi dell'Impianto di Trigenerazione (2017).....	189
Tabella 4.47: Dati reali dell'Impianto di Trigenerazione (2018) e confronto coi dati di targa.....	189
Tabella 4.48: Tabella utilizzata dal codice Matlab dove sono riportati i dati ricavabili dalle fatture elettriche.....	191
Tabella 4.49: Valutazione Intervento di Rifasamento Elettrico a $\cos\varphi=0,95$ .....	191
Tabella 4.50: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 5.....	193
Tabella 4.51: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 6.....	195
Tabella 4.52: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 7.....	196
Tabella 4.53: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 8.....	197
Tabella 4.54: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 9.....	199
Tabella 4.55: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 10.....	200
Tabella 4.56: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 11.....	201

Tabella 4.57: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 12-1.....	202
Tabella 4.58: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 12-2.....	202
Tabella 4.59: kg di Materia Prima, kWh consumati e Indici di Prestazione Energetica del Caso 13.....	203
Tabella 5.1: Risultati Ottenuti per il processo di Stampaggio ad Iniezione.....	205
Tabella 5.2: Risultati Ottenuti per i vari processi di Estrusione.....	207
Tabella 5.3: Risultati Ottenuti per il processo di Termoformatura.....	208
Tabella 5.4: Risultati Ottenuti per il processo di Soffiaggio.....	209

# Allegato 1

## Questionario sul Benchmarking del consumo energetico e adozione delle Best Practice nel settore plastico.

### SEZIONE 1 Descrizione dell'azienda

Se possibile, sarebbe di grande aiuto compilare un questionario per ciascuno dei siti di produzione dell'azienda. I dati richiesti fanno riferimento agli anni solari 2016 e 2017.

#### 1.1 Fatturato annuale del sito considerato (milioni di euro):

ANNO 2016		ANNO 2017	
< Euro 2m	<input type="checkbox"/>	< Euro 2m	<input type="checkbox"/>
Euro 2m - Euro 9.9m	<input type="checkbox"/>	Euro 2m - Euro 9.9m	<input type="checkbox"/>
Euro 10m - Euro 49.9m	<input type="checkbox"/>	Euro 10m - Euro 49.9m	<input type="checkbox"/>
Euro 50m+	<input type="checkbox"/>	Euro 50m+	<input type="checkbox"/>

#### 1.2 La lavorazione delle materie plastiche costituisce l'attività principale del sito considerato?

SI  NO

In caso di risposta negativa, si prega di specificare:

#### 1.3 Quali sono gli ambiti di utilizzo finale/i mercati dei prodotti del sito considerato?

Selezionare fino a tre dei seguenti:

Automotive/Trasporti	<input type="checkbox"/>	Costruzioni	<input type="checkbox"/>	Imballaggio	<input type="checkbox"/>
Elettrico/Elettronico	<input type="checkbox"/>	Medico	<input type="checkbox"/>	Beni Familiari	<input type="checkbox"/>
Agricoltura/Orticoltura	<input type="checkbox"/>	Compounding	<input type="checkbox"/>	Giocattoli/Sport	<input type="checkbox"/>
Altro	<input type="checkbox"/>	Se Altro, specificare:			

## SEZIONE 2 Descrizione delle Operazioni

### 2.1 Data di costruzione del sito produttivo (anche approssimativa):

Il sito produttivo è stato costruito appositamente per la lavorazione delle materie plastiche?

SI  NO

### 2.2 Si prega di indicare quante macchine operano in ciascuna delle seguenti categorie, tra quelle presenti nel sito considerato (riferimento **2017**):

Stampaggio a Iniezione Numero di macchine	(Forza di Serraggio)	25 -100 t	151 - 999 t	1000+ t
Soffiaggio Numero di macchine	(Volume del Prodotto)	< 1 Litro	1 - 5 Litri	6+ Litri
Stampaggio a Rotazione Numero di macchine	(Peso di Stampaggio)	< 20 kg	21 - 100 kg	101+ kg
Estrusione di Film Numero di macchine	(Taglia Estrusore)	Laboratorio/ campionature	Produzione Intermittente	Produzione Continua
Estrusione di Profili/Tubi Numero di macchine	(Output)	< 20 kg/h	21 - 100 kg/h	101+ kg/h
Compounding Numero di macchine	(Output)	Singola Vite	Doppia Vite < 500 kg/h	Doppia Vite 501+ kg/h
Fibre e Monofilamenti Numero di macchine	(Taglia Estrusore)	Laboratorio/ campionature	Produzione Intermittente	Produzione Continua
Termoformatura e Formatura a Vuoto Numero di macchine	(Misure Foglio)	< 2000mm x 1000mm	> 2000mm x 1000mm	Rotolo di Materiale

Stampaggio per  
Compressione

(Taglia della Pressa)

10 - 50 t	51 - 200 t	201+ t

Numero di macchine

2.3 Si prega di comunicare l'età di queste macchine, indicando la porzione di macchine (in percentuale) che rientra in ciascuna delle categorie (riferimento 2017):

< 3 anni	3 - 10 anni	10 - 20 anni	> 20 anni
%	%	%	%

2.4 Si prega di indicare quali altri processi vengono svolti all'interno del sito considerato:

- Pultrusione       Lavorazione Composita       Assemblaggio
- Riciclaggio       Lavorazione Reattiva       Verniciatura/Finitura
- Calandratura       Lavorazione Schiuma
- Altro       Se Altro, specificare:

--

2.5 Quale dei seguenti materiali viene maggiormente utilizzato per la produzione? (Si prega di selezionarne non più di due)

- PVC       Altri Materiali       Plastiche Speciali/  
Termoplastici      Alta Temperatura
- Uretani
- Resine       Materie Plastiche       Plastica Riciclata   
Termoindurenti      di Ingegneria      (escluso processo di  
Generale      rimacinatura)

2.6 Qual è la quantità annuale totale di materiale plastico lavorato in questo sito?

Al fine di poter ricavare indici di prestazione più dettagliati, si richiede, se possibile, di fornire il dato mensile. *(all'interno della tesi non verrà indicato il nome dell'azienda e il seguente dato, ma solamente gli indici di prestazione ricavati)*

*Nota: questo dato è importante. Si prega di fornire la stima più accurata possibile. Se non è fattibile dettagliare le quantità mensili, indicare il totale annuo.*

ANNO 2016	
Mese	ton
Gennaio	
Febbraio	
Marzo	
Aprile	
Maggio	
Giugno	
Luglio	
Agosto	
Settembre	
Ottobre	
Novembre	
Dicembre	
<b>TOTALE</b>	

ANNO 2017	
Mese	ton
Gennaio	
Febbraio	
Marzo	
Aprile	
Maggio	
Giugno	
Luglio	
Agosto	
Settembre	
Ottobre	
Novembre	
Dicembre	
<b>TOTALE</b>	

**2.7** Quanto funziona il sito produttivo? (Si prega di indicare il numero di turni, i giorni e gli orari di inizio e fine settimana)

Numero Turni

Orario di Inizio

Giorno di Inizio

Orario di Fine

Giorno di Fine

Settimane di chiusura annue

### SEZIONE 3 Descrizione del consumo di energia

**3.1** Qual è stato il consumo energetico annuale? Si chiede di indicare i dati complessivi annui dei vari vettori indicati, e quelli mensili di consumo di elettricità. In alternativa di fornire una copia delle fatture.

**ANNO 2016**

**ANNO 2017**

Elettricità  kWh

Elettricità  kWh

Gas  Smc

Gas  Smc

Gasolio  Litri

Gasolio  Litri



GPL  Litri

GPL  Litri

Consumo elettrico:

ANNO 2016	
Mese	kWh
Gennaio	
Febbraio	
Marzo	
Aprile	
Maggio	
Giugno	
Luglio	
Agosto	
Settembre	
Ottobre	
Novembre	
Dicembre	

ANNO 2017	
Mese	kWh
Gennaio	
Febbraio	
Marzo	
Aprile	
Maggio	
Giugno	
Luglio	
Agosto	
Settembre	
Ottobre	
Novembre	
Dicembre	

**3.2** Se pertinente, stimare la percentuale del consumo di energia elettrica non attribuibile alle operazioni di trattamento della plastica e indicare brevemente la natura di tali attività aggiuntive.

%

**3.3** Sono presenti fonti di autoproduzione di energia elettrica all'interno del sito considerato?

Fotovoltaico

SI  NO

ANNO 2016	
Potenza di Picco	kWp
Energia Prodotta	kWh
Energia Autoconsumata	%

ANNO 2017	
Potenza di Picco	kWp
Energia Prodotta	kWh
Energia Autoconsumata	%

## Cogenerazione

SI

NO

ANNO 2016	
Potenza Elettrica	kW
Specificare se Cogenerazione o Trigenerazione	
Destinazione del Vettore Termico	

ANNO 2017	
Potenza Elettrica	kW
Specificare se Cogenerazione o Trigenerazione	
Destinazione del Vettore Termico	

Altro

## **SEZIONE 4 Buone pratiche**

In questa sezione vengono riportate alcune delle principali buone pratiche dal punto di vista energetico del settore plastico. Si prega di indicare quali di esse sono presenti all'interno del sito considerato e nel caso, di specificarne altre tra quelle non citate:

Monitoraggio ed esame del consumo delle singole macchine

Ottimizzazione del sistema di raffreddamento

Manutenzione e pulizia regolare di macchine e ausiliari

Free Cooling

Cogenerazione/Trigenerazione

Ottimizzazione parametri di ciclo e tempo di funzionamento

Presenza di Inverter

Riduzione della domanda e delle perdite di aria compressa

Adeguati rivestimenti/isolamenti termici

Riciclaggio scarti

Altro:

# Allegato 2

## Questionario sul Benchmarking del consumo energetico e adozione delle Best Practice nel settore plastico.

### SEZIONE 1 Descrizione dell'azienda

Se possibile, sarebbe di grande aiuto compilare un questionario per ciascuno dei siti di produzione dell'azienda. I dati richiesti fanno riferimento agli anni solari 2016 e 2017.

1.4 La lavorazione delle materie plastiche costituisce l'attività principale del sito considerato?

SI  NO

In caso di risposta negativa, si prega di specificare:

1.5 Quali sono gli ambiti di utilizzo finale/i mercati dei prodotti del sito considerato?

Selezionare fino a tre dei seguenti:

Automotive/Trasporti  Costruzioni  Imballaggio   
Elettrico/Elettronico  Medico  Beni Familiari   
Agricoltura/Orticoltura  Compounding  Giocattoli/Sport   
Altro  Se Altro, specificare:

### SEZIONE 2 Descrizione delle Operazioni

2.8 Si prega di indicare quali sono i principali processi del sito considerato, specificando il numero di macchine che svolgono ogni processo (riferimento 2017):

Processo	Numero di Macchine
Stampaggio a Iniezione	
Soffiaggio	
Stampaggio a Rotazione	
Estrusione di Film	
Estrusione di Tubi/Profili	

Processo	Numro di Macchine
Compounding	
Fibre e Monofilamenti	
Termoformatura/Formatura a Vuoto	
Stampaggio per Compressione	

**2.9** Si prega di indicare quali altri processi vengono svolti all'interno del sito considerato (se pertinente):

**2.10** Quale dei seguenti materiali viene maggiormente utilizzato per la produzione? (Si prega di selezionarne non più di due)

PVC	<input type="checkbox"/>	Altri Materiali Termoplastici	<input type="checkbox"/>	Plastiche Speciali/Alta Temperatura	<input type="checkbox"/>
Uretani	<input type="checkbox"/>	Materie Plastiche di Ingegneria Generale	<input type="checkbox"/>	Plastica Riciclata (escluso processo di rimacinatura)	<input type="checkbox"/>
Resine Termoidurenti	<input type="checkbox"/>				

**2.11** Qual è la quantità annuale totale di materiale plastico lavorato in questo sito?  
*(all'interno della tesi non verrà indicato il nome dell'azienda e il seguente dato, ma solamente gli indici di prestazione ricavati)*  
*Nota: questo dato è importante. Si prega di fornire la stima più accurata possibile.*


 ton

 ton

Sono eventualmente disponibili i dati mensili?

SI  NO

**2.12** Quanto funziona il sito produttivo? (Si prega di indicare il numero di turni, i giorni e gli orari di inizio e fine settimana)

Numero Turni

Orario di Inizio

Giorno di Inizio

Orario di Fine

Giorno di Fine

Settimane di chiusura annue

### SEZIONE 3 Descrizione del consumo di energia

3.4 Qual è stato il consumo energetico annuale? Si chiede di indicare i dati complessivi annui dei vari vettori indicati, e quelli mensili di consumo di elettricità. In alternativa di fornire una copia delle fatture.

ANNO 2016		ANNO 2017	
Elettricità	<input type="text"/> kWh	Elettricità	<input type="text"/> kWh
Gas	<input type="text"/> Smc	Gas	<input type="text"/> Smc
Gasolio	<input type="text"/> Litri	Gasolio	<input type="text"/> Litri
GPL	<input type="text"/> Litri	GPL	<input type="text"/> Litri

Sono eventualmente disponibili i dati mensili del consumo elettrico?

SI  NO

3.5 Se pertinente, stimare la percentuale del consumo di energia elettrica non attribuibile alle operazioni di trattamento della plastica e indicare brevemente la natura di tali attività aggiuntive.

<input type="text"/> %	<input type="text"/>
------------------------	----------------------

3.6 Sono presenti fonti di autoproduzione di energia elettrica all'interno del sito considerato?

#### Fotovoltaico

SI  NO

ANNO 2016		ANNO 2017	
Potenza di Picco	kWp	Potenza di Picco	kWp
Energia Prodotta	kWh	Energia Prodotta	kWh
Energia Autoconsumata	%	Energia Autoconsumata	%

## Cogenerazione

SI  NO

ANNO 2016	
Potenza Elettrica	kW
Specificare se Cogenerazione o Trigenerazione	
Destinazione del Vettore Termico	

ANNO 2017	
Potenza Elettrica	kW
Specificare se Cogenerazione o Trigenerazione	
Destinazione del Vettore Termico	

Altro

--

## **SEZIONE 4 Buone pratiche**

In questa sezione vengono riportate alcune delle principali buone pratiche dal punto di vista energetico del settore plastico. Si prega di indicare quali di esse sono presenti all'interno del sito considerato e nel caso, di specificarne altre tra quelle non citate:

Monitoraggio ed esame del consumo delle singole macchine

Ottimizzazione del sistema di raffreddamento

Manutenzione e pulizia regolare di macchine e ausiliari

Free Cooling

Cogenerazione/Trigenerazione

Ottimizzazione parametri di ciclo e tempo di funzionamento

Presenza di Inverter

Riduzione della domanda e delle perdite di aria compressa

Adeguati rivestimenti/isolamenti termici

Riciclaggio scarti

Altro:

--

# Bibliografia e Sitografia

---

1. Plastics - the Facts 2017. An analysis of Europea plastics production, demand and waste data. PlasticsEurope.
2. Consorzio Esperienza Energia. [cited 2019 febbraio] Available from: <https://www.conorzioesperienzaenergia.it/index.html>
3. X3Energy. [cited 2019 febbraio] Available from: <https://www.x3energy.it/>
4. Politica Energetica: Principi Generali. [cited 2018 dicembre] Available from: [http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/it/FTU\\_2.4.7.pdf](http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/it/FTU_2.4.7.pdf)
5. SEN 2017: Strategia Energetica Nazionale.
6. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio sull'efficienza energetica.
7. Proposta di Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio che modifica la Direttiva 2012/27 sull'efficienza energetica.
8. EUR – Lex Europa. [cited 2018 dicembre] Available from: <https://eur-lex.europa.eu>.
9. Polo Tecnico per l'Energia [cited 2019 marzo] Available from: <http://www.poloenergia.com/>
10. Agenzia Nazionale Efficienza Energetica. [cited 2018 dicembre] Available from: <http://www.agenziaefficienzaenergetica.it/>
11. UNI: Ente Italiano di Normazione. [cited 2018 dicembre] Available from: <http://www.uni.com/>
12. UNI CEI/TR 11428:2011.
13. UNI CEI EN 16247:2012.
14. UNI CEI EN 1612:2012.
15. UNI CEI EN 16231:2012.
16. UNI CEI 11352:2014.
17. UNI CEI EN 15900:2010.
18. UNI CEI EN ISO 50001:2018.
19. Elementi su come elaborare la documentazione necessaria al rispetto degli obblighi previsti nell'art. 8 del decreto legislativo 102/2014 in tema di diagnosi energetica (ENEA).
20. Good Practice Guide 292: Energy in Plastic Processing – a practical guide.

21. Guida settoriale per interventi di efficienza energetica nell'ambito del meccanismo dei certificati bianchi. Il settore industriale della produzione di articoli in materiale plastico. Attuazione dell'art. 15 del D.M. 11/01/2017.
22. Ansa. [cited 2018 dicembre] Available from: <http://www.ansa.it/>
23. Low Energy Plastic Processing: European Best Practice Guide (2006).
24. Energy efficiency in plastics processing. Pratical worksheets for industry (Tangram Technology Ltd.).
25. Analisi dei dati relativi alle diagnosi energetiche e individuazione preliminare degli indici di prestazione nei settori della lavorazione della gomma e della trasformazione delle materie plastiche, a cura di: Luigi Casorelli | Marcello Salvio (ENEA).
26. ENEA. [cited 2018 dicembre] Available from: <http://www.enea.it/>
27. 2005 European Benchmarking Survey of Energy Consumption and adoption of Best Practice.
28. Energy Management in Plastics Processing: a framework for measurement, assessment and prediction, Dr. Robin Kent (Tangram Technology Ltd).
29. L'Evoluzione del Fotovoltaico in Italia, Analisi critica e prospettive alla luce del regime di incentivazione con il "conto energia", a cura di Stefano Fabiani, INEA 2013.
30. GSE. [cited 2019 gennaio] Available from: <https://www.gse.it/>
31. Guida alla Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR), GSE, marzo 2018.
32. Energy management. Fondamenti per la valutazione, la pianificazione e il controllo dell'efficienza energetica. Con esempi ed esercizi, Ing. Nino di Franco, FrancoAngeli 2017.
33. Introduzione all'Analisi Economica degli Investimenti, Ing. Nino Di Franco, ENEA, Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente.
34. Una guida al risparmio energetico per il settore dello stampaggio a iniezione, a cura di Mobil.
35. Edilizia Energetica. [cited 2019 gennaio] Available from: <https://www.ediliziaenergetica.it/>
36. Hipercast. [cited 2019 febbraio] Available from: <http://www.hipercast.at/it/>
37. Demezzi. [cited 2019 febbraio] Available from: <http://www.demezzi.it/>



# Ringraziamenti

---

*Desidero ringraziare anzitutto il Professor Arturo Lorenzoni, per la presenza e la disponibilità accordatami, per la sua cortesia e per i preziosi consigli.*

*Ringrazio inoltre RXENERGY per avermi dato la possibilità di svolgere lo stage per la stesura della tesi su di un argomento interessante e stimolante.*

*In particolare, la mia gratitudine va all'Ing. Francesco Visentin, per la professionalità, la disponibilità ed il supporto datomi nel corso di questa esperienza.*

*Ringrazio infinitamente i miei genitori e mio fratello, per avermi sostenuto sia economicamente che moralmente in questi anni, per avermi sempre incoraggiato durante questo percorso di studi e per essermi stati vicini rispettando le mie scelte.*

*Vi ringrazio per tutto quello che avete fatto per me e per quello che continuerete a fare, perché sono sicuro che su di voi potrò sempre contare.*

*Grazie per aver creduto in me.*

*Desidero ringraziare la mia ragazza Ilia che mi ha sempre sostenuto con amore e pazienza, incoraggiandomi e spronandomi a dare sempre il massimo, sia in ambito universitario che nella vita.*

*Ringrazio gli amici ed i colleghi dell'Università con cui ho condiviso le fatiche e le gioie di questi anni accademici.*

*Infine, desidero ringraziare tutte le persone, familiari ed amici, comprese quelle appena citate, che in un modo o nell'altro sono entrate a far parte della mia vita, rendendomi la persona che sono oggi.*

*Marco*