

**POLITECNICO DI TORINO**  
**Facoltà di Ingegneria**  
**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria**  
**Energetica e Nucleare**

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

Integrazione di aspetti riguardanti l'efficienza energetica all'interno dei  
software di gestione della produzione industriale



**Relatore**

Prof. Marco Badami

**Candidato**

Riccardo Penco

Dicembre 2022

# Indice

FIGURE.....	3
TABELLE .....	4
ELENCO ACRONIMI .....	5
SOMMARIO .....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUZIONE .....	8
2. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM.....	10
2.1 Introduzione al MES.....	10
2.2 Funzionamento MES nelle industrie manifatturiere.....	12
2.2.1 Industria alimentare .....	15
2.2.2 Industria farmaceutica .....	18
2.3 Total Productive Maintenance.....	21
2.3.1 Definizione dell'OEE .....	24
2.3.2 Caso applicativo industria manifatturiera.....	30
2.3.3 Caso applicativo industria di semiconduttori .....	31
2.3.4 Caso applicativo industria dell'automotive .....	34
2.4 MES AVEVA.....	36
2.4.1 Utilizzo dei sistema MES .....	37
2.4.2 System Platform di AVEVA .....	42
2.4.3 InTouch interface.....	44
3. UTILIZZO DEL MES PER IL MONITORAGGIO DEI CONSUMI ENERGETICI.....	46
3.1 Definizione EOEE e implementazione nella gestione dell'energia (ISO50001).....	47
3.2 Cenni del utilizzo del MES nell'ambito della sostenibilità .....	54
4 CASO STUDIO 1: AZIENDA VITIVINICOLA.....	57
4.1 Presentazione del processo produttivo .....	57
4.2 Analisi dati.....	58
4.3 Fattibilità del monitoraggio .....	59
5 CASO STUDIO 2: AZIENDA PRODUTTRICE DI ACETO .....	61
5.1 Presentazione del processo produttivo .....	61
5.2 Anno 2021 .....	62
5.2.1 Analisi dati.....	62
5.2.2 Risultati.....	66
5.3 Anno 2022 .....	72
5.3.1 Analisi dati.....	72
5.3.2 Risultati.....	74
5.4 Confronto dei due anni .....	76

6	CASO STUDIO 3: AZIENDA TESSILE .....	81
6.1	Presentazione del processo produttivo .....	81
6.2	Anno 2021 .....	83
6.2.1	Analisi dati.....	83
6.2.2	Risultati.....	94
6.3	Anno 2022 .....	102
6.3.1	Analisi dati.....	102
6.3.2	Risultati.....	104
6.4	Confronto dei due anni .....	107
7	CONCLUSIONI .....	111
8	BIBLIOGRAFIA .....	114

## FIGURE

Figura 1 - Ruolo del MES nella gestione aziendale [2].....	10
Figura 2 - Struttura e funzionalità del MES [3].....	11
Figura 3 - Struttura di monitoraggio statica.....	19
Figura 4 - Struttura del TPM e rappresentazione dei suoi 8 pilastri fondamentali [8] .....	22
Figura 5 - Intervalli di tempo per la valutazione del OEE [14] .....	25
Figura 6 - Le sei grandi perdite [16].....	28
Figura 7 - Linea produttiva dell'industria automobilistica.....	34
Figura 8 - Sistema MES nel suo complesso .....	37
Figura 9 - MES Client [3].....	38
Figura 10 - MES Operator [3] .....	40
Figura 11 - Interfaccia MES Performance.....	41
Figura 12 - Struttura dei componenti della System Platform [3].....	43
Figura 13 – Esempio di interfaccia InTouch [3].....	44
Figura 14 - Inesimento del KPI energetico in relazione agli altri parametri dell'OEE.....	50
Figura 15 - Ruota di Deming [26] .....	52
Figura 16 – “The triple bottom line” adottata dalla valutazione della sostenibilità dell'Università del Michigan nel 2002.....	54
Figura 17 – Un approccio integrato per l’ottenimento di sostenibilità .....	56
Figura 18 - Linea vini .....	57
Figura 19 - Produzione oraria della macchina formatrice .....	59
Figura 20 - Diagramma di flusso sugli step metodologici per l'applicazione del monitoraggio .....	60
Figura 21 - Schema del processo di produzione dell'aceto .....	61
Figura 22 – Soffiatrice.....	62
Figura 23 - Produzione bottiglie di aceto per l'intero anno 2021 .....	63
Figura 24 - Carpet plot dei livelli produttivi orari nel 2021 .....	63
Figura 25 - Consumo elettrico in relazione alla produzione.....	64
Figura 26 - Rappresentazione dell'andamento dei parametri caratterizzanti l'OEE e l'EOEE per il 2021.....	67
Figura 27 - Andamento giornaliero dell'OEE e dell'EOEE .....	68
Figura 28 - Andamento mensile dell'OEE e dell'EOEE in confronto con la produzione per l’anno 2021 .....	69
Figura 29 - Andamento della A, P e del KPI in funzione della produzione a frequenza mensile per il 2021 .....	70
Figura 30 - Produzione giornaliera di bottiglie per il 2022 .....	72
Figura 31 - Carpet plot per la produzione dell'anno 2022 .....	73
Figura 32 - Andamento giornalieri dei parametri influenzanti l'OEE e l'EOEE.....	74
Figura 33 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE in relazione alla produzione nel 2022 .....	75
Figura 34 - Andamento della A,P e del KPI in relazione alla produzione per il 2022 .....	76
Figura 35 - Confronto valori OEE tra il 2021 ed il 2022.....	77
Figura 36 - Confronto dei valori EOEE tra il 2021 ed il 2022 .....	77
Figura 37 - Confronto valori di Availability tra il 2021 ed il 2022 .....	78
Figura 38 - Confronto valori di Performance tra il 2021 ed il 2022.....	79
Figura 39 - Confronto dei valori del KPI energetico tra il 2021 ed il 2022.....	80
Figura 40 - Processo produttivo azienda tessile .....	82
Figura 41 - Esempio di macchina rameuse.....	82
Figura 42 - Produzione oraria nel 2021 previa pulizia dati .....	83
Figura 43 - Produzione giornaliera per l'anno 2021 post pulizia dei dati .....	84
Figura 44 – Carpet plot per la produzione oraria di tessuto 2021 post pulizia dei dati .....	85
Figura 45 - Consumo di energia elettrica oraria 2021 in previa pulizia dati .....	86

Figura 46 - Consumo di gas naturale orario 2021 previa pulizia dei dati.....	86
Figura 47 - Andamento del consumo di energia elettrica in funzione della produzione .....	87
Figura 48 - Andamento consumo Gas Naturale in funzione della produzione.....	88
Figura 49 - Andamento dell'EnPI relativo all'energia elettrica in funzione della produzione .....	89
Figura 50 - Andamento dell'EnPI relativo all'energia termica in funzione della produzione.....	90
Figura 51 - Consumo energetico in TEP in funzione della produzione.....	91
Figura 52 - Produzione media giornaliera 2021 .....	93
Figura 53 - Rappresentazione degli andamenti degli elementi caratterizzanti L'EOEE.....	95
Figura 54 - Andamento dei parametri caratterizzanti dell'EOEE post correzione dei dati.....	97
Figura 55 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE giornaliero .....	98
Figura 56 - Andamento OEE e EOEE in relazione alla produzione.....	99
Figura 57 - Andamento OEE e EOEE in relazione al consumo energetico in TEP .....	99
Figura 58 - Andamento dei parametri influenzanti l'EOEE durante il 2021 a frequenza mensile.....	101
Figura 59 - Produzione di tessuto giornaliera nell'anno 2022 .....	102
Figura 60 - Carpet plot della produzione nel 2022 .....	103
Figura 61 - Andamento giornaliero dei parametri influenzanti l'OEE e l'EOEE nel 2022.....	104
Figura 62 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE per l'anno 2022.....	105
Figura 63 - Andamento OEE A, P e del KPI in relazione della produzione per il 2022 .....	106
Figura 64 - Confronto valori OEE tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile.....	107
Figura 65 - Confronto valori EOEE tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile .....	108
Figura 66 - Confronto valori Availability tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile.....	109
Figura 67 - Confronto valori Performance tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile.....	109
Figura 68 - Confronto valori KPI tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile.....	110

## TABELLE

Tabella 1 - Miglioramenti ottenuti con l'applicazione del MES.....	13
Tabella 2 - Miglioramenti medi ottenuti con l'applicazione del MES.....	14
Tabella 3 - Valori economici per l'investimento del MES in un'azienda farmaceutica [7] .....	20
Tabella 4 - Valori limiti dei parametri dell'OEE .....	28
Tabella 5 - Dati storici reali prima dell'applicazione della TPM.....	30
Tabella 6 - Valori dei dati di prestazione dell'impianto dopo l'ausilio della strategia TPM.....	31
Tabella 7 - Valori parametri iniziali dell'OEE industria semiconduttori.....	32
Tabella 8 - Azioni intraprese per il miglioramento dell'efficacia dell'azienda.....	33
Tabella 9 - Valori dei parametri dell'OEE dopo le correzioni .....	34
Tabella 10 - Vantaggi e svantaggi delle diverse scale temporali applicabili al KPI energetico .....	51
Tabella 11 - Valori dei parametri caratterizzanti la macchina soffritrice per l'intero anno 2021 a frequenze mensile.....	70
Tabella 12 - Valore dei parametri influenzanti, della produzione e del consumo energetico .....	75
Tabella 13 - Fattori di conversione in TEP.....	91
Tabella 14 - Dati relativi al 2021 .....	100
Tabella 15 - Valore dei parametri influenzanti l'EOEE, la produzione e il consumo energetico per il 2022	106

## ELENCO ACRONIMI

- **MES:** Manufacturing Execution System
- **KPI:** Key Performance Indicators
- **OEE:** Overall Equipment Effectiveness
- **IIoT:** Industrial Internet of Thing
- **SQL:** Structured Query Language
- **SCADA:** Supervisory Control And Data Acquisition
- **SP:** System Platform
- **HMI:** Human Machine Interface
- **BOM:** Bill Of Material
- **MESA:** Manufacturing Enterprise Solutions Association International
- **WIP:** Work In Progress
- **PIM:** Piccole medie imprese
- **MTS:** Make-to-Stock
- **MTO:** Make-to-Order
- **TPM:** Total Productive Maintenance
- **IEA:** International Energy Agency
- **EOEE:** Energy Overall Equipment Effectiveness
- **TEP:** Tonnellate di Petrolio Equivalente
- **N.A.:** Not Available

## SOMMARIO

La ricerca di un monitoraggio sempre più capillare dei vari processi produttivi, ha portato con sé anche la necessità di una comunicazione più efficace di come i vari componenti, all'interno di una realtà industriale, lavorano ed un'evoluzione nella raccolta ed immagazzinamento dei dati. Lo scopo di tale elaborato è quello di studiare e verificare la possibilità di introdurre tra le variabili incluse nel monitoraggio, come il numero di beni prodotti ed i tempi di produzione per citarne alcuni, anche dati e parametri inerenti all'efficienza energetica. Con questo si intende la volontà di introdurre e definire delle correlazioni tra i dati relativi all'assorbimento di energia elettrica, e non solo, direttamente alla produzione dello stabilimento o anche della singola macchina. Lo scopo è quello di definire così relazioni non banali in grado di fornire una rappresentazione più ampia della realtà in cui tali metriche vengono applicate. Lo studio si è strutturato dapprima in una ricerca sui vari casi studio mediante metriche di valutazione dei processi produttivi già presenti in letteratura, come l'OEE (Overall Equipment Effectiveness), in seguito, mediante l'elaborazione del KPI (Key Performance Indicators) rappresentativo, si sono caratterizzati i vari processi produttivi da un punto di vista energetico. Con questo si intende la possibilità di caratterizzare l'andamento dei consumi in funzione della produzione nel tempo. Tutto ciò risulterebbe efficace in ottica di conoscenza dello stato dei vari componenti, garantendo di agire tempestivamente in caso di aumento dei consumi, che potrebbero essere causati da un deterioramento dei macchinari stessi, o da una loro gestione non adeguata da parte degli operatori. L'ausilio di tale metodologia, come anticipato, non prevederebbe nessuna limitazione riguardo la fonte energetica, che questa sia di tipo elettrico oppure sorgente fossile, come il gas naturale. La possibilità di andare ad utilizzare questo tipo di approccio, inoltre, permetterebbe la definizione di una baseline per i consumi, in grado quindi di definire un modello che risulti utile non solo all'interno di una stessa realtà, mediante un'analisi di benchmarking, ma anche per realtà diverse. Tale funzionalità è applicabile a condizione che le diverse realtà industriali, messe a paragone, risultino simili per struttura e processi produttivi, permettendo la definizione di parametri standard di lavoro e utilizzo dell'energia, con lo scopo ultimo, di ridurre i consumi mantenendo invariati i livelli di produzione. Lo studio fatto prevede, inoltre, l'integrazione di tale metrica di monitoraggio, dei consumi energetici, in architetture software già ben consolidate all'interno delle realtà industriali. Tale integrazione quindi consentirebbe di andare a sfruttare l'infrastruttura hardware e software necessaria, già presenti per il monitoraggio della produzione, necessaria per il collazionamento e elaborazione dei dati.

## ABSTRACT

The quest for increasingly widespread monitoring of various production processes has also brought with it the need for more effective communication of how the various components, within an industrial reality, work and an evolution in data collection and storage. The purpose of this paper is to study and verify the possibility of introducing among the variables included in monitoring, such as the number of goods produced and production times to name a few, also data and parameters inherent to energy efficiency. By this is meant the desire to introduce and define correlations between data related to the absorption of electrical energy, and not only that, directly to the production of the plant or even of the individual machine. The purpose is to thus define nontrivial relationships that can provide a broader representation of the reality in which these metrics are applied. The study was first structured in a research on the various case studies by means of metrics for evaluating production processes already present in the literature, such as OEE (Overall Equipment Effectiveness), then, through the elaboration of the representative KPI (Key Performance Indicators), the various production processes were characterized from an energy point of view. By this is meant the possibility of characterizing consumption trends as a function of production over time. All this would be effective from the perspective of knowing the state of the various components, ensuring timely action in the event of increased consumption, which could be caused by a deterioration of the machinery itself, or its inadequate management by operators. The aid of this methodology, as anticipated, would not include any limitation regarding the energy source, whether this is electric or fossil source, such as natural gas. The possibility of going to use this type of approach, moreover, would allow the definition of a baseline for consumption, thus able to define a model that is useful not only within the same reality, through a benchmarking analysis, but also for different realities. This functionality is applicable provided that the different industrial realities, compared, are similar in structure and production processes, allowing the definition of standard parameters of work and energy use, with the ultimate goal, to reduce consumption while keeping production levels unchanged. The study done also envisions the integration of such monitoring metrics, of energy consumption, into software architectures already well established within industrial realities. Such integration would then allow the necessary hardware and software infrastructure, already in place for production monitoring, needed for data collation and processing, to go to work.

# 1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato analizza le potenzialità del Manufacturing Execution System, una tipologia di software industriali che ha l'obiettivo di monitorare e gestire i processi produttivi aziendali. Questo tipo di applicativo software, ha trovato un'ampia applicazione nelle realtà industriali, soprattutto quelle di tipo manifatturiero. Vi sono vari modelli di questo tipo di software in commercio attualmente. Quello scelto per lo svolgimento di questa tesi di laurea è stato quello della società AVEVA. Il vantaggio di questo sistema risiede nel fatto che la società è a capo di un gruppo di diverse realtà nel settore dei software ingegneristici per applicazioni industriali. Durante il lavoro svolto si è sfruttato, infatti, un altro applicativo: la System Platform di Wonderware, società facente parte del gruppo AVEVA. Il coordinamento delle due piattaforme permette un alto livello di personalizzazione e adattabilità, in base alle specifiche della realtà industriale in cui vengono applicati.

Oggigiorno disporre di un sistema di controllo dati che fornisca dati sull'andamento della produzione e sullo stato delle macchine risulta essere fondamentale per un ottimale monitoraggio industriale. Limitandosi solo a quello detto finora, però, risulta evidente come ciò non sia rivoluzionario, di fatto vi sono anche altre società che possono fornire servizi di monitoraggio a livello di singola macchina con sistemi SCADA.

L'introduzione del MES è l'elemento innovativo, che cambia la gerarchia di controllo tradizionale, garantendo un monitoraggio di più alto livello. Tale sistema lavora con dati provenienti da più macchine facenti parte della stessa linea produttiva o anche da catene produttive differenti. Tramite un'aggregazione ed elaborazione di questi dati i sistemi MES forniscono come output KPI, come il overall equipment effectiveness (OEE), di cui verrà spiegato il significato in seguito, caratterizzanti il sistema. Ciò permette quindi di avere informazioni sulle performance riguardanti l'intera linea produttiva, evidenziando anche quale macchina, oppure reparto, possa aver causato una riduzione dei parametri di produttività, individuando il così detto *collo di bottiglia* all'interno della catena produttiva.

Lo scopo ultimo di questa tesi di laurea è quello di verificare e valutare le potenzialità di un'integrazione, all'interno del sistema MES, di una metrica finalizzata alla valutazione ed al monitoraggio dei consumi energetici. Attualmente, il MES è programmato per monitorare unicamente aspetti produttivi delle macchine e dei processi ad esse legate. Questa implementazione potrebbe portare anche avanti delle strategie di manutenzione predittiva basate sull'andamento dei consumi legati alle performance e come variano nel tempo,

segnalando una necessità di intervento, in caso di calo delle performance.

Il seguente elaborato va a comporsi in più capitoli, partendo inizialmente delle funzioni attuali dell'infrastruttura per il corretto funzionamento del MES, si finirà ad esaminare e commentare le possibili implementazioni per valutazioni sull'efficienza energetica.

- Inizialmente viene fornita una descrizione teorica del Manufacturing Execution System, verranno analizzate le caratteristiche, gli obiettivi principali, gli standard da rispettare, descrivendo anche qualche caso applicativo trovato in letteratura. In particolare sarà presentata la struttura software dello specifico sistema MES studiato;
- In seguito saranno anche definite le integrazioni possibili, all'interno delle funzionalità del MES, per il monitoraggio dell'efficienza energetica. Questo sarà fatto sia andando a definire, da un punto di vista matematico, i parametri introdotti, ma anche come queste debbano essere applicate per garantire i risultati sperati;
- Si valuteranno, infine, le possibili integrazioni del MES con alcuni casi applicativi, per verificare la validità e le potenzialità di tali modifiche. I casi studio sono stati tre, ciascuno ha visto l'analisi di aziende operanti in settori differenti;
- Come ultimo capitolo, invece, verranno indicate le conclusioni dell'intero lavoro svolto, con l'obiettivo di definire e riassumere i risultati ottenuti ed il loro potenziale per possibili applicazioni future.

Il lavoro svolto quindi in questo elaborato sarà strutturato in tre fasi principali, una iniziale ricerca bibliografica e studio del software MES, mediante manuali che permettono di comprendere il funzionamento e la logica con cui questo lavora. Inoltre ci si concentrerà anche sui risultati misurati e registrati da vari casi reali di applicazione di tale sistema. Questo sarà fatto con l'obiettivo di evidenziare sia le potenzialità che le criticità dei sistemi MES.

La seconda parte si baserà sempre su ricerche bibliografiche, per verificare l'applicabilità del MES in un sistema di gestione dell'energia. Quindi si passerà alla definizioni delle formule che definiranno la nuova metrica di valutazione del consumo energetico. Questo sarà fatto con l'obiettivo ultimo di andare a sfruttare i dati energetici nella definizione di un nuovo KPI atto alla classificazione del corretto funzionamento dei singoli macchinari.

Infine la terza parte prevede proprio lo studio applicativo del lavoro di ricerca svolto. Verranno presi in considerazione diversi casi studio che prevedono realtà diverse, così da inquadrare le possibili applicazioni a seconda dei casi e delle esigenze. Verranno messi in luce sia le potenzialità, che i vincoli da rispettare per questa particolare implementazione.

## 2. MANUFACTURING EXECUTION SYSTEM

### 2.1 Introduzione al MES

L'uso di programmi software, finalizzati alla gestione delle varie fasi della catena produttiva, assistiti da computer, ha suscitato l'interesse dei produttori già negli anni Settanta. Il Manufacturing Execution System (MES) è stato creato a partire dalla metà degli anni novanta per aumentare la competitività delle aziende, l'efficienza delle linee di produzione e per conformarsi ai requisiti delle amministrazioni locali e delle organizzazioni internazionali (al di fuori del Paese). Sono sistemi focalizzati sui processi, più che sulle singole operazioni, e le loro funzioni principali sono la raccolta e la gestione di dati provenienti direttamente dalle macchine che compongono la catena produttiva.

Da un lato, il MES traduce i piani di produzione dei sistemi aziendali in un piano operativo completo per le aree di produzione, dall'altro, offre all'azienda indicatori chiave di prestazione (KPI) fondamentali per prendere decisioni aziendali e migliorare la qualità della produzione.

Nella piramide classica dell'automazione industriale, il livello MES si trova tra il livello SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e il livello ERP (Enterprise Resource Planning), che gestisce le informazioni provenienti dal processo di produzione, fornisce report al livello superiore di gestione e reagisce a cambiamenti e disturbi in tempo reale [1].

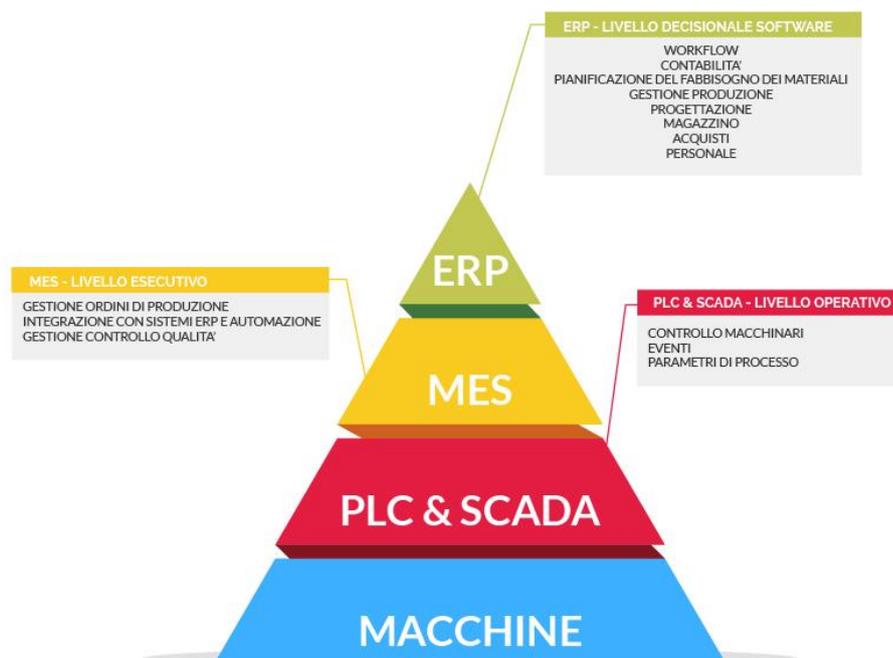


Figura 1 - Ruolo del MES nella gestione aziendale [2]

Il MES riesce quindi a trovare il suo spazio, all'interno della gestione aziendale, andando a sfruttare i dati e parametri disaggregati delle singole macchine, con lo scopo ultimo valutare, o verificare, la riuscita degli obiettivi dell'azienda decisi ed impostati a livello dirigenziale. Ciò permette di andare a definire strategie sempre più efficienti, dal punto di vista della produttività permettendo agli operatori, non solo, di comprendere quando ci si allontana dagli standard di produzione, unicamente per motivi tecnici (sintomatici di un problema ai macchinari), ma anche di comprendere come migliorare, se necessario, la gestione dei tempi di produzione.

Come verrà mostrato in seguito, infatti, il MES riesce ad aver una visione e gestione dei parametri influenzanti del sistema produttivo su più livelli. Il sistema MES non considera solo caratteristiche tecniche delle macchine e dei componenti, per anticipare qualche concetto si parla di: tempo di approvvigionamento delle materie prime, logistica delle risorse e tempi di funzionamento dei processi stessi.

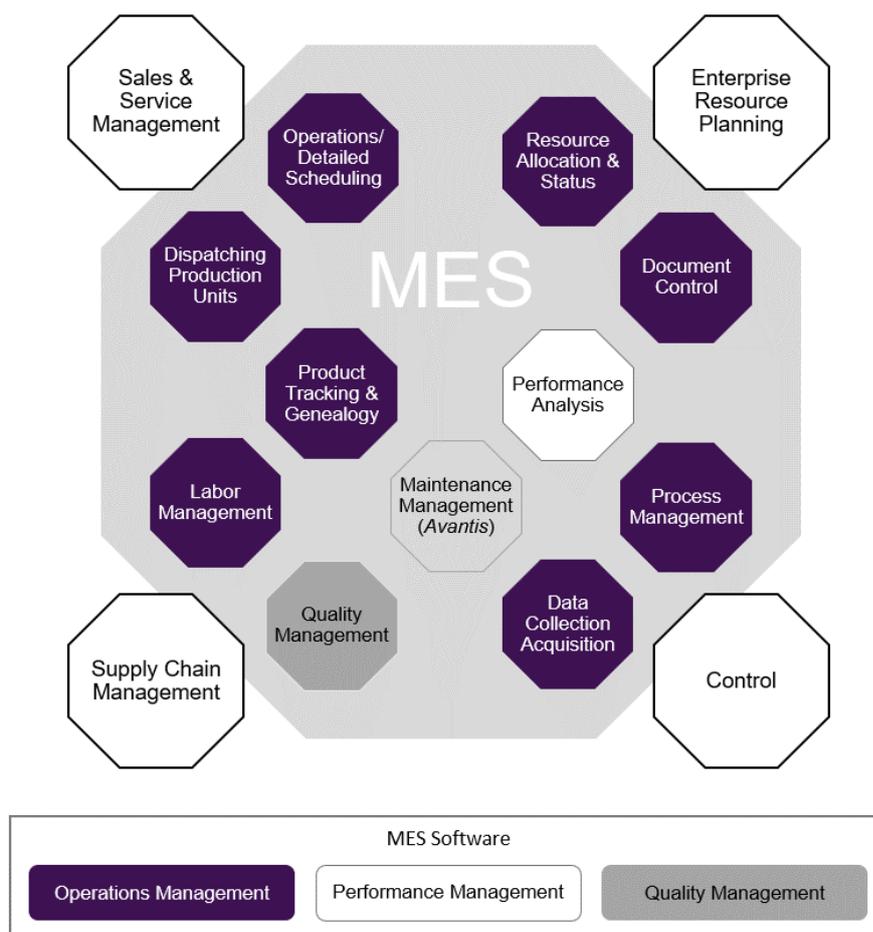


Figura 2 - Struttura e funzionalità del MES [3]

Nella Figura 2 sono rappresentati i compiti che può andare ad eseguire il MES all'interno della gestione aziendale, raggruppati nei macro gruppi (mediante una scala cromatica) di gestione delle operazioni, delle prestazioni e della qualità.

Per una descrizione più dettagliata, bisogna dire che le possibilità di un'applicazione del MES, all'interno di una realtà industriale sono molteplici come, in primo luogo, in un forte aiuto nella raccolta dati, con il loro immagazzinamento in server dedicati, locali od in cloud. Può andare a rilevare e tenere conto dello stato delle varie risorse (allocazione) della fabbrica, gestire la pianificazione e la schedulazione di processi o trasporto di materie prime e anche semilavorati. In relazione a questo fornisce un registro che garantisce l'accesso alla genealogia dei vari prodotti e non solo. Rende possibile anche, di conseguenza, l'esecuzione degli ordini in maniera efficiente ed ottimale, garantendo anche un controllo sulla qualità finale dei prodotti ottenuti.

I macchinari stessi, non solo i prodotti, sono monitorati dal MES, aiutando così nella gestione e programmazione della manutenzione. In conclusione, come già detto, tutto ciò si conclude in una visione generale e controllo di processo, permettendo così analisi sulle prestazioni a livello più macroscopico e non solo di singolo componente.

## 2.2 Funzionamento MES nelle industrie manifatturiere

Come detto nei capitoli precedenti, l'utilizzo di software dedicati alla gestione aziendale sono una realtà non dell'ultimo periodo. A dimostrazione di ciò vi sono vari studi e applicazioni del suo utilizzo, in vari ambiti dall'industria manifatturiera, a quella alimentare per arrivare fino a quelle farmaceutiche. Da citare è lo studio portato avanti dalla MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association International) [4], la quale è un'associazione senza scopo di lucro, con l'obiettivo di aiutare le aziende associate a migliorare i risultati aziendali e le operazioni di produzione attraverso l'applicazione e l'implementazione delle tecnologie informatiche e delle migliori pratiche di gestione.

In questo paragrafo si vuole andare a definire gli eventuali benefici derivanti dall'utilizzo di tali software nel monitoraggio dei processi produttivi. Nello specifico vuole porre l'attenzione sui miglioramenti nelle operazioni produttive, nella pianificazione aziendale e anche miglioramenti dal punto di vista finanziario.

Lo studio ha riscontrato vari miglioramenti ottenuti, per le aziende che hanno preso parte

all'iniziativa, tuttavia i risultati non sono stati totalmente omogenei tra loro, evidenziando un diverso livello e risultati che si possono ottenere a secondo dell'ambito in cui il sistema MES viene utilizzato. Un aspetto, tuttavia, che era ricorrente all'interno dei risultati ottenuti dalle varie aziende era una notevole riduzione nei tempi dei vari cicli di produzione manifatturiera. Di fatto circa il 92% dei soggetti partecipanti ha riscontrato una miglioria in questo campo, il valore medio di tale miglioramento è stato in una riduzione dei tempi di circa il 45% [4]. Già di per sé questo rappresenta un ottimo risultato, ma non è l'unico rilevato durante il periodo di verifica. La possibilità di una raccolta dati in tempo reale, infatti, ha rappresentato un grande miglioramento per la gestione aziendale e la consapevolezza riguardo non solo i processi produttivi, ma anche da un punto di vista più ampio. L'accesso a dati come il tempo di fermo di una macchina, oppure il suo funzionamento ma con livello di produzione nulla, o ancora una corretta misurazione per quanto riguarda la quantità di prodotti finiti che rispettano gli standard di produzione in relazione ai prodotti che invece devono essere scartati. Tutti i dati precedentemente elencati, sono tutti parametri molto importanti per la determinazione del corretto funzionamento dell'intero impianto, e come vedremo in seguito nella definizione dell'OEE.

Sempre dai risultati ottenuti dallo studio della MESA si è ottenuta quindi, in valore numerico, una riduzione nei tempi di acquisizione dati in un range che andava dal 25-100%, un risultato che mostra, come detto in precedenza, come si possano ottenere risultati diversi a seconda dei casi applicativi in base, principalmente, alle caratteristiche dello stabilimento. Il 60% dei partecipanti al caso studio, tuttavia, hanno rilevato un miglioramento nei tempi di gestione dati di circa il 75%. Questi miglioramenti si sono ottenuti in diverse voci, che influiscono il funzionamento ottimale dell'azienda.

Per una rappresentazione più chiara e rapida sono sintetizzati nella Tabella 1 e Tabella 2:

*Tabella 1 - Miglioramenti ottenuti con l'applicazione del MES*

<b><i>Campo del miglioramento</i></b>	<b>Percentuale aziende interessate</b>	<b>Percentuale del miglioramento</b>
<i>WIP</i>	57%	25%
<i>Riduzione/eliminazione delle pratiche tra un turno e l'altro</i>	63%	50%
<i>Riduzione di tempi di consegna</i>	50%	30%

Tabella 2 - Miglioramenti medi ottenuti con l'applicazione del MES

<b><i>Campo del miglioramento</i></b>	<b>Percentuale del miglioramento medio</b>	<b>Percentuale del range di miglioramento</b>
<i>Miglioramento della qualità dei prodotti</i>	15%	5-25%
<i>Riduzione delle pratiche totali</i>	57%	10-100%

Di fatto i vantaggi sono molteplici, e quelli sopra elencati sono solo una parte, si potrebbe ancora parlare di come si siano ottenuti risultati ottimi nella flessibilità e nella reattività dell'impianto al rispondere alle richieste dei clienti. Una più accurata conoscenza de processi, dovuta all'accessibilità di dati in tempo reale ed al loro facile immagazzinamento, tramite dei veri e propri registri digitali, ha permesso alle imprese di essere notevolmente più attive e rapide nella gestione e uscita dei vari ordini, questo secondo quanto riportato dal 66% degli intervistati.

Per citare direttamente uno dei partecipanti al test di valutazione dell'effettiva applicabilità del MES, nello specifico un produttore di elementi di fissaggio per l'industria automobilistica [4], il risultato da loro ottenuto è stato quello di poter soddisfare un maggior numero di volumi di vendita andando, però, ad evitare un conseguente aumento dei costi di produzione.

Questa macro analisi, su più settori si conclude andando a mettere in luce gli aspetti economici, infatti l'investimento dell'infrastruttura di monitoraggio, e gestione dei dati, può essere un costo non indifferente per le aziende. Nonostante ciò i risultati ottenuti sono stati incoraggianti, di fatto il periodo del Payback (il ritorno dell'investimento) si aggirava tra i sei mesi ed i 2 anni, con una media di quattordici mesi [4], un orizzonte temporale accettabile, visto i vantaggi offerti nel lungo periodo.

Come conclusione da questa analisi si può trarre che il vantaggio di adoperare il software MES sta sia nella sua flessibilità, adattandosi al monitoraggio aziendale in più settori, sia nella gestione di dati in tempo reale. Di fatto ha visto la sua iniziale introduzione per le industrie manifatturiere ma esistono studi di applicazione anche in altri settori come quello alimentare per esempio. Dopo aver visto lo studio del MESA ora si affronteranno casi più specifici e un'analisi dei risultati riguardanti singole compagnie e stabilimenti.

## 2.2.1 Industria alimentare

Le industrie alimentari, ancora più che quelle manifatturiere, potrebbero trovare notevole vantaggio dall'ausilio di software MES nella gestione. Queste, infatti, presentano grandi flussi di materiale i quali saranno la materia prima di processi e lavorazioni che prevedono alti standard da rispettare, questo perché soggetti a normative e decreti stringenti finalizzati alla tutela del consumatore finale.

Nonostante le criticità che l'industria alimentare si trova ad affrontare, la diffusione dei software MES non ha mai raggiunto livelli simili a quelli presenti nelle industrie manifatturiere, presentando sempre una barriera alla sua diffusione soprattutto per motivi economici dovuti all'infrastruttura di monitoraggio che richiede un capitale d'investimento notevole, che spesso, le medie imprese alimentari difficilmente riescono a giustificare.

Lo studio della *Technical University of Munich* tuttavia ha voluto portare avanti delle ricerche atte proprio alla valutazione dei benefici di software MES all'interno del settore alimentare [5].

Il settore alimentare e delle bevande, rappresenta il più grande settore manifatturiero dell'Unione Europea (UE), ricoprendo il 15,2% del settore stesso. Anche da un punto di vista economico questo campo ha un peso non trascurabile rappresentando il 15,2% del fatturato totale dell'industria, il 15% dell'occupazione nell'industria manifatturiera dell'UE, e il 13,8% della spesa per i consumi delle famiglie dell'UE [6]. Anche per questo lo studio fatto può essere un indicatore di come ancora oggi ci possano essere grandi margini nei processi produttivi in settori che hanno comunque un peso consistente sul bilancio nazionale e non solo e che inoltre non hanno un inserimento nel mercato così recente e che anzi sono ben consolidate al suo interno. Lo studio svolto anche in questo caso prevedeva la verifica dei punti fondamentali che il MES può apportare ad un'azienda, come:

- L'aumento nella qualità produttiva
- Aumento nella produttività del personale
- Riduzione dei tempi di produzione
- Riduzione nei consumi energetici

Di fatto l'inserimento di tale gestione software, anticipiamo già i risultati, ha portato ottimi risultati, lasciando ben sperare per una penetrazione nel settore che possa garantire una sua

rapida diffusione e fungere come esempio per gli altri settori che storicamente presentano più difficoltà ad introdurre nuove tecnologie, o metodi di supervisione.

Le caratteristiche che definiscono il settore alimentare sono varie, alcune sono già state citate in questo capitolo, ma per una più chiara classificazione si può andare a categorizzare tale industrie in tre macro gruppi [5]:

- Processo in serie: produzione di quantità finite di materiale, sottoponendo a quantità di materiali in ingresso, ad esempio il processo di cottura dall'impasto al pane finale;
- Processo continuo: flusso continuo di materiale attraverso attrezzature di lavorazione, ad esempio, il funzionamento di latte crudo in latte scremato e panna;
- Processo discretizzato: quantità specificata di parti si muove come unità tra workstation, ad esempio, il riempimento di bevande sulla linea di riempimento.

Questo tipo di categorizzazione rende così anche difficile che ci possa essere una strategia di gestione dei macchinari, dei processi e in generale dell'intera filiera produttiva comune nel settore. Proprio la difficoltà di una gestione, basata sull'utilizzo di software e computer, è stata la ricerca dello studio citato, per poter comprendere se effettivamente vi erano limiti tecnici oppure solamente una inerzia naturale del settore al cambiamento. La struttura top-down del MES, questo perché esegue e controlla gli ordini provenienti dai sistemi ERP, è di difficile integrazione con differenti forme di produzione, che caratterizzano l'industria alimentare, che quindi è più facilmente integrabile con sistemi bottom-up (come la produzione just-in-time). Le grandi aziende, pur avendo la liquidità per poter completare un progetto di tipo MES, trovano gli ostacoli maggiori nella organizzazione e nel coordinamento di tutti i reparti soggetti alla corretta implementazione. Questo porta a ritardi dei progetti, o ad un loro diretto abbandono da parte dei dirigenti dell'impresa. Al contrario le piccole e medie imprese pur avendo la flessibilità, sia da un punto di vista del tempo e dell'organizzazione dei vari reparti e personale, non sempre dispongono delle possibilità economiche per poter completare l'introduzione dei sistemi MES. Questo punto, per quanto riguarda il mercato europeo è il limite maggiore, dato che circa il 99% delle aziende del settore alimentare ha meno di 250 dipendenti, queste sono per l'appunto classificate come PMI. Inoltre, a causa delle dimensioni dell'azienda, del basso margine dei prodotti e della scarsa flessibilità finanziaria che ne deriva, le PMI spesso non possono permettersi di investire in competenze nel settore della produzione e dell'efficienza delle risorse, nonché nell'integrazione delle risorse e nell'integrazione delle

energie rinnovabili. Per questi motivi ancora oggi nel settore alimentare, al posto di sistemi MES centralizzati, si preferiscono soluzioni più economiche che però sono meno affidabili.

Nonostante le problematiche sopra citate le migliorie apportate alla produzione sono le medesime che si possono ritrovare nel resto del settore manifatturiero: miglioramento della qualità dei prodotti, riduzione delle pratiche cartacee, riduzione dei tempi di produzione e aumento del volume produttivo a parità di costo e miglioramento dell'efficienza energetica. Le uniche criticità riguardano quindi, una più ampia e facile implementazione del sistema MES stesso, più che nella sua effettiva applicabilità o contributo che possa fornire ad un'azienda. Questi punti potrebbero essere raggiunti con un modello informatico sempre più standardizzato, per poter facilitare l'integrazione con impianti e stabilimenti differenti.

Il vantaggio reale, dell'implementazione che potrebbe portare l'introduzione di tale tecnologia nel settore alimentare è nella tracciabilità, infatti oggi gli standard per i prodotti alimentari sono sia alti che severamente puniti se non mantenuti. Poiché il MES è collegato al livello di controllo di processo, può contribuire a colmare la lacuna informativa della tracciabilità nel processo, garantendo non solo, quindi, di tenere un registro dei prodotti non adeguati, ma anche servire come strumento di ricerca per le sue possibili cause, che siano umane o guasti alle macchine.

Si possono, quindi, integrare le informazioni di processo nella tracciabilità di produzione alimentare, è possibile identificare rapidamente i problemi legati a una lavorazione inadeguata per limitare il ritiro dei lotti interessati, il che richiede un monitoraggio e un'elaborazione dei dati in tempo reale supportata dal MES.

Questa gestione dei dati in tempo reale potrebbe, inoltre, portare ottimi miglioramenti proprio nel modello di gestione della produzione, ad un livello proprio di organizzazione. Nelle industrie manifatturiere esistono due strategie di produzione differenti: Make-to-Stock (MTS) e il Make-to-Order (MTO).

L'approccio MTS è stato usato per ridurre i costi di produzione e per limitare il numero di set-up, tuttavia le normative sulla produzione e i suoi controlli sempre più stringenti hanno obbligato i produttori a passare ad una strategia di tipo MTO. Le ragioni principali sono due: la richiesta sempre maggiore dei clienti di nuovi prodotti, un'evoluzione nella catena di approvvigionamento da parte dei rivenditori, per ottenere una riduzione delle scorte, più veloce rifornimento, accorciamento dei tempi.

La MTO è una strategia affidabile per la produzione di prodotti con alto livello di

personalizzazione, portando così le industrie a spingere sempre di più sulla flessibilità e avere quindi una grande risposta alle variazioni del mercato e della domanda stessa.

Il declino degli alimenti ad alto volume con domanda prevedibile, l'aumento degli alimenti a basso volume con domanda imprevedibile, la concorrenza internazionale più agguerrita e la crescente domanda di marchi privati, da parte dei rivenditori, sono tutti fattori che hanno permesso di identificare i bisogni emergenti per l'industria alimentare, vale a dire la personalizzazione di massa, l'alta flessibilità e la rapidità di risposta. Tutti questi aspetti sono proprio il vantaggio competitivo che il MES può offrire.

### 2.2.2 Industria farmaceutica

Si vuole portare come esempio aggiuntivo, per riportare i benefici del MES, anche un'applicazione in un'industria lontana, da un punto di vista dei macchinari e dei processi, da quelle del settore alimentare, per questo si è scelta un'azienda farmaceutica.

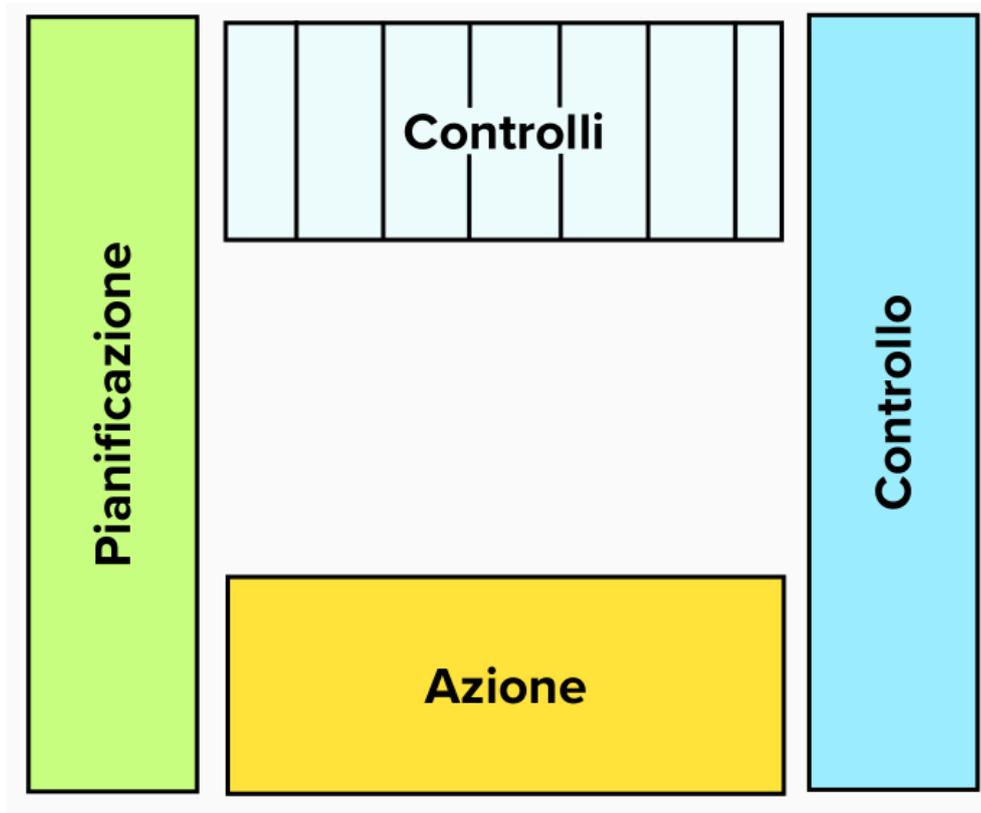
Un aspetto che rende le industrie farmaceutiche eccezionali è l'elevato livello di controllo e di requisiti normativi. Anche i prodotti realizzati hanno spesso un valore elevato. L'elevato livello di controllo e di conformità normativa delle industrie farmaceutiche rende ancora più vantaggiosa l'implementazione del MES. Si ottiene lo stesso tipo di vantaggio già visto per le industrie alimentari e delle bevande. In queste aziende il controllo e la sicurezza sono un aspetto importante, di fatto, la conformità alle normative impone anche dei requisiti al sistema e all'organizzazione, causando un aumento dei costi. Ad esempio, sono necessarie procedure speciali per la manutenzione del sistema e hardware speciale per garantire l'archiviazione sicura dei dati. Si tratta di costi che le industrie non conformi possono evitare se introducono il MES. L'alto valore della materia prima e del prodotto finale nelle industrie farmaceutiche rende la riduzione dei difetti più vantaggiosa rispetto alle industrie a basso valore del prodotto.

Di fatto i miglioramenti sono dello stesso tipo visti per le classiche industrie manifatturiere:

- Miglioramento del flusso di informazioni
- Riduzione dei problemi di documentazione
- Flusso di materiale più sicuro
- Miglioramento della soddisfazione del cliente
- Migliore pianificazione, esecuzione e controllo

- Tempi di consegna ridotti
- Tempo di ciclo ridotto
- Migliore conformità normativa
- Informazioni migliorate sulla posizione dei componenti

Come si è visto, l'elenco dei benefici individuati in questo studio è ampio. Non è detto, quindi, che questi benefici vengano raggiunti in tutti i reparti e in tutte le aziende. L'ausilio del MES, tuttavia, garantisce una scelta maggiore nella possibilità di controllo e monitoraggio dei processi. In un piano di monitoraggio e implementazione di migliorie o correzioni all'interno della realtà industriali, la struttura classica è di tipo statica, come mostrato in Figura 3, in cui dapprima vi è una fase di pianificazione e in seguito durante la fase esecutiva vengono monitorati i processi tenendo conto delle varie deviazioni dal progetto originale, ed infine si effettua un controllo globale per verificare i risultati.



*Figura 3 - Struttura di monitoraggio statica*

Con il MES questi confini si assottigliano e gli elementi diventano più dinamici [7]. La pianificazione viene costantemente aggiornata, o corretta, in base alla situazione riscontrata. Il controllo viene effettuato costantemente, con un impatto immediato sull'esecuzione. In questo modo le dimensioni delle deviazioni possono essere ridotte e quasi eliminate. La funzione di controllo non è più solo un confronto tra la situazione attuale e quella pianificata, ma guida l'esecuzione in modo continuo, garantendo una migliore regolazione del processo. Attraverso il controllo continuo, quello finale perde parte del suo scopo. Il piano aggiornato alla fine dell'esecuzione, è uguale alla situazione esistente. Naturalmente è possibile fare un confronto con il piano originale.

Da un punto di vista economico ci sono anche dimostrazioni pratiche dell'efficacia di tale sistema all'interno di realtà farmaceutiche. Nello studio considerato [7], di fatto si è vista l'efficacia dell'applicazione di un sistema MES per il monitoraggio ed i parametri in gioco erano i seguenti, presenti in Tabella 3:

*Tabella 3 - Valori economici per l'investimento del MES in un'azienda farmaceutica [7]*

<b><i>Elemento</i></b>	<b>Valore</b>
<i>Inflazione</i>	3 %
<i>Ritorno dell'investimento</i>	10 %
<i>Costo dell'investimento</i>	750.000 €
<i>Costo di mantenimento</i>	40.000 €
<i>Beneficio economico</i>	370400 €/anno
<i>Payback time (Massimo)</i>	5 anni

Come si può vedere il rientro massimo risulta pari a cinque anni, al limite con i tempi di ritorno classici dei settori industriali. Nello studio riportato, tuttavia è importante sottolineare che non tutti i benefici sono di facile valutazione da un punto di vista economico. Esiste anche un guadagno di immagine e di fiducia da parte dei clienti e degli investitori che potrebbe essere dovuto non solo ad una costanza maggiore nella qualità dei prodotti finali, ma proprio nella trasparenza dei processi e nella tracciabilità dei semilavorati.

Si capisce come sia difficile valutare tali guadagni dal punto di vista economico, con la

semplice valutazione dei vari flussi di cassa, ma senz'altro sono fattori che non devono né essere sottovalutati né tanto meno ignorati. Il MES è anche un sistema piuttosto nuovo ed è probabile che i costi del sistema diminuiranno nei prossimi anni. Il calo dei costi potrebbe rendere interessante, così, una sua possibile diffusione nel settore sempre maggiore.

## 2.3 Total Productive Maintenance

Nei precedenti capitoli si sono definite le potenzialità dell'uso dell'infrastruttura software del MES, mostrando anche in quali ambiti questo possa portare le migliori maggiori, non solo da un punto di vista teorico, ma andando a studiare proprio i casi applicativi di applicazioni reali di questa infrastruttura.

Ora è arrivato il momento di introdurre il funzionamento e la logica dietro la valutazione di tali migliorie, sfruttando indicatori di performance, primo fra tutti l'Overall Equipment Effectiveness.

Il concetto della gestione aziendale, o comunque di come dovrebbe essere inteso lo sviluppo di qualunque attività, dovrebbe affondare le sue fondamenta sulla continua ricerca sulla costante evoluzione ed il suo persistente miglioramento. Sulla base di ciò, è concepita la *Total Productive Maintenance* (TPM), che è una strategia di manutenzione, e gestione delle infrastrutture industriale, basata sull'idea che chiunque all'interno di un impianto o struttura debba partecipare alla sua gestione, controllo e sviluppo [8]. Il TPM si prefigge lo scopo di andare a eliminare tutti i problemi correlati ad un calo della qualità di funzionamento dei macchinari. Sarebbe però riduttivo andare a correlare il TPM ad uno scopo unicamente di tipo manutentivo, di fatto la sua ampia capacità di monitoraggio, e la logica del suo funzionamento permettono di raggiungere risultati anche in ambiti che esulano dalla pura, e più limitata gestione delle apparecchiature, ma anche di coinvolgere ambiti legati alla conduzione aziendale [8].

Questa definizione, che definisce quindi lo scopo ultimo del TPM può essere più facilmente compreso con un'analisi sintattica del *Total Productivity Maintenance*, infatti, esso racchiude al suo interno tre concetti fondamentali [9]:

- *Total* → aspetto che va ad indicare il coinvolgimento, non solo di una parte del personale dell'azienda (normalmente suddivisi per reparti come oneri e responsabilità di gestione);
- *Productivity* → indica come l'attività del TPM non vada ad incidere in alcun modo le

attività svolte dall'azienda stessa;

- *Maintenance* → solo in ultimo, ma non per importanza viene fuori l'aspetto manutentivo, indicando come un corretto mantenimento dei macchinari sia fondamentale.

Oltre ai tre concetti fondamentali, che creano l'idea alla base su cui si fonda la strategia di gestione aziendale, il sistema TPM va a comporsi di ben otto pilastri che lo caratterizzano da un punto di vista applicativo, e anche a livello di ordine di come procedere per una più efficace gestione aziendale [10].

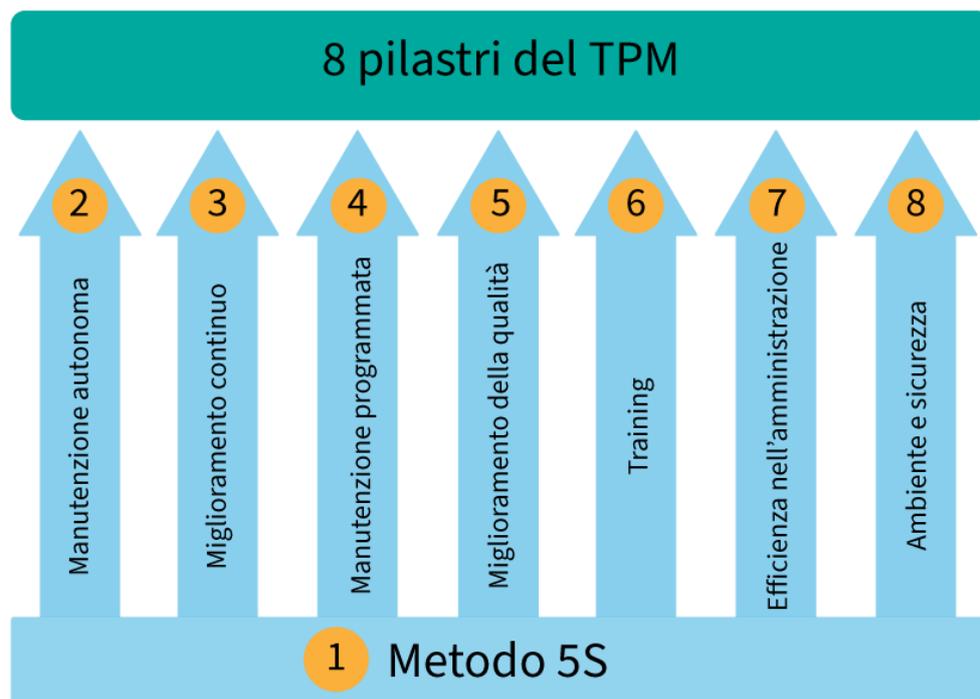


Figura 4 - Struttura del TPM e rappresentazione dei suoi 8 pilastri fondamentali [8]

Come si può vedere dalla Figura 4 gli otto pilastri sono definiti in modo tale da poter chiarire i passaggi fondamentali, e gli step metodologici per poter operare in modo tale da garantire un costante monitoraggio e aumento delle prestazioni generale dell'impianto o stabilimento. Ogni singolo pilastro può essere descritto in maniera specifica ed inoltre, nei vari studi presenti in letteratura, sono già evidenziati i vantaggi che ciascuno può apportare [9].

Il *Metodo 5S* è una metodologia di gestione aziendale nata in Giappone come conseguenza dell'applicazione della cultura *kaizen*<sup>1</sup>. Questa metodologia è stata definita con lo scopo ultimo di garantire il mantenimento di alti livelli di qualità ed efficienza nell'ambiente

<sup>1</sup> *Kaisen*, rappresenta l'unione di due componenti della lingua giapponese, *KAI* (miglioramento) e *ZEN* (buono, migliore), infatti nella cultura giapponese rappresenta il continuo miglioramento da un punto di vista personale, familiare, sociale e anche professionale.

lavorativo [11].

Per la *Manutenzione Autonoma* si intende che ci deve essere un coinvolgimento, garantito anche da uno sforzo personale, da parte degli operatori dei singoli macchinari ed equipaggiamenti, per una manutenzione di primo livello concentrata su interventi base e poco invasivi.

La *Manutenzione Programmata*, invece, prevede una schedulazione degli interventi, garantendo così, non solo la presenza di scorte per i pezzi di ricambio in magazzino, ma anche di andare ad inserire i lavori di manutenzione nei periodi di minore attività, riducendo così al minimo le conseguenze, dovute ad un fermo impianto durante le ispezioni programmate.

*Miglioramento della Qualità* raggiungibile con l'ausilio di ispezioni a campione sui prodotti finiti e sui macchinari da questi prodotti. Tutto ciò permette di tenere sotto controllo l'andamento dello stato della filiera produttiva, ciò va a finalizzarsi in una riduzione dei prodotti difettosi con un conseguente aumento del fatturato, proprio in questo ambito entrano in gioco metriche di valutazione, come l'OEE.

Il *Miglioramento Continuo* è probabilmente uno dei pilastri più importanti del TPM. In effetti, piccoli miglioramenti di processo possono ottenere risultati molto più semplici in termini di efficacia di impianti e macchine rispetto a complesse strategie di manutenzione.

Un *Training* finalizzato a colmare il divario di competenze e conoscenze attraverso la formazione di tutti gli impiegati. I lavoratori, così, acquisiscono le conoscenze necessarie per poter essere coinvolti in maniera attiva, e non più passiva, nell'individuazione e successiva soluzione nei problemi presenti nella relativa azienda.

L'*Efficienza nell'Amministrazione* è ottenuta con una diffusione di consapevolezza aziendale ai piani dirigenziali, dato che è impossibile implementare piani di gestione aziendale atti al miglioramento se non vi è un volontà da parte della classe dirigente stessa.

In conclusione negli otto pilastri del TPM rientra anche un'attenzione particolare e dedicata all'*ambiente e Sicurezza*, garantendo così, tra le varie implementazioni citate, la ricerca di un'ambiente di lavoro sicuro che garantisca il rateo minore possibile per gli incidenti ed infortuni, con l'eliminazione di possibili condizioni pericolose e la creazione di posti di lavoro sicuri.

### 2.3.1 Definizione dell'OEE

Si è concluso ora l'inquadramento e la spiegazione della strategia aziendale su cui si poggiano oggi giorno molte aziende manifatturiere, e non solo, nel paragrafo 2.3. Ora si andranno a discutere i fattori, e le metriche con i quali si possono avere dei riscontri sull'effettivo andamento dell'azienda. L'Overall Equipment Effectiveness è uno strumento per le misurazioni di prestazioni di un impianto industriale (può essere applicato sia ad un intero stabilimento che sia ad una singola linea o addirittura su singola macchina), ha trovato la sua prima definizione da Seiichi Nakajima durante il suo studio sulla stesura del concetto di *Total Productive Maintenance* (1988) [12].

L'OEE è classificato come una misura dell'efficacia generale dell'equipaggiamento di un'attività. Esiste una certa confusione sul fatto che l'OEE sia una misura di efficacia o di efficienza. La visione tradizionale della TMP si riferiva all'efficienza complessiva dell'apparecchiatura. Ora tuttavia è generalmente riconosciuta come efficacia complessiva delle apparecchiature.

La differenza tra i due termini risiede nel fatto che l'efficacia è l'output effettivo rispetto all'output di riferimento, indica, in sostanza, la capacità di raggiungere un obiettivo che si è definito ed impostato.

L'efficienza, invece, è l'input effettivo rispetto all'output di riferimento. L'efficienza è l'input effettivo rispetto all'input di riferimento [13], valuta la riuscita di un dato obiettivo in considerazione delle risorse sfruttate per il suo raggiungimento .

Questo parametro, in maniera sintetica, rappresenta il tempo di effettiva produttività di un componente, o linea produttiva. L'OEE è calcolato come valore percentuale, di conseguenza un valore pari a 100% significa che si sta sfruttando pienamente l'apparecchiatura monitorata [14]. Per capire cosa si intende per sfruttare pienamente un'apparecchiatura, bisogna comprendere dapprima come l'OEE è definito, in pratica questo parametro prende in considerazione tre parametri caratterizzanti della produzione: Availability (Disponibilità), Performance (prestazioni) e Quality (Qualità).

Overall Equipment Effectiveness, infatti, è un indice che misura l'efficienza della produzione in un periodo temporale stabilito, determinando quindi un allontanamento dagli prefissati convertito in tempo perso di produzione. La Figura 5, qui di seguito esplicita questo concetto in maniera grafica:

Planned time for production		
TT (Total time (365 days × 24 hrs))		
POT (Plant Operating Time)		Not scheduled
PPT (Planned Production Time)		Planned Shutdown
OT (Operating Time)	Down Time Loss	
NRT (Net Run Time)	Speed Loss	
FPT (Fully Productive Time)	Quality Loss	

Figura 5 - Intervalli di tempo per la valutazione del OEE [14]

Come si può notare, il ragionamento è il seguente, in linea teorica le ore possibili, il *Total Time*, di funzionamento sono 8760 ore all'anno. È ovvio, tuttavia, che nella maggior parte dei casi tale limite, non solo è irraggiungibile, ma inoltre non è neanche richiesto.

Una volta che si sono andati a sottrarre dalla valutazione i tempi di fermo dello stabilimento, cioè il tempo *Not Scheduled*, per mancanza proprio di attività e personale, ed anche tutti i fermi programmati, *Planned Shutdown*, che possono essere causati o da manutenzione oppure anche da periodi di pausa dovuti a ferie o fasi di rinnovamento dello stabilimento.

Quello che rimane è il tempo teorico di funzionamento reale, il così definito *Planned Production Time*. Questo tempo teorico è l'effettivo limite asintotico a cui si mira per poter ottenere il relativo punteggio di 100% di OEE, ma esso è soggetto ad una riduzione, causata da varie perdite. Queste perdite sono definite in letteratura "Six Big Losses" (le sei grandi perdite).

1. Queste trovano una rappresentazione grafica in Figura 6, e ognuna di esse rappresenta una perdita che nelle realtà industriali, anche quelle manifatturiere. Nakajima nuovamente nel suo lavoro del 1998, aveva identificato le già citate perdite a catalogato nel seguente modo [15]: 1. Poca produzione e perdita di resa, per una riduzione nella qualità del prodotto finito;
2. variazioni e aggiustamenti nelle configurazioni dell'impianto o nella macchina;
3. Malfunzionamenti che per forza di cose riducono drasticamente la produzione;
4. Un disallineamento tra la velocità di progetto della catena produttiva e quella reale durante il funzionamento;

5. Difetti di produzione dovuti a malfunzionamenti dei macchinari e dell'equipaggiamento in generale;
6. Perdite durante le fasi di azionamento nella fase iniziale della produzione che inficiano anche il rendimento dei processi.

Queste sei perdite possono essere a loro volta raggruppate nei tre parametri caratterizzanti l'OEE, citati in precedenza Availability (Disponibilità), Performance (prestazioni) e Quality (Qualità). Questi, di fatto, costituiscono i parametri che definiscono l'OEE:

$$OEE = (A \cdot P \cdot Q) \cdot 100 \quad (1.1)$$

Nell'Equazione (1. 1) viene fornita la definizione del Overall Equipment Effectiveness, dove  $A$  è la disponibilità,  $P$  il fattore relativo alle prestazioni e  $Q$  quello relativo alla qualità dei prodotti. A loro volta questi parametri sono calcolati e definiti in maniera specifica, tali definizioni sono riportate nel seguito dell'elaborato.

#### *Availability*

Rappresenta la frazione del tempo totale in cui i macchinari e l'equipaggiamento sono effettivamente disponibili alla produzione:

$$A = \frac{OT}{PPT} \quad (1.2)$$

Dove:

- OT è il tempo operativo, *Operative Time*
- PPT è il tempo di produzione teorico pianificato, *Planned Production Time*

## Performance

È una frazione di tempo in cui la macchina o componente riesce ad operare a pieno regime, cioè rispettando la velocità di produzione di progetto, senza rallentamenti non previsti o pianificati.

$$P = \frac{(t_{cycle} \cdot Total\ Count)}{OT}$$

(1. 3)

Dove:

- $t_{cycle}$  è il tempo di produzione del singolo elemento o pezzo;
- Total Count è il numero totale di pezzi o componenti prodotti;
- OT è l'*Operative Time*

## Quality

È un rateo di qualità di produzione, definito sempre da Nakajima [14], che altro non è che il rapporto tra la produzione che rispetta gli standard aziendali e che quindi può essere considerata di buona fattura ed il volume totale di produzione. L'OEE si basa, tuttavia, su dati di natura temporale, come già visto in Figura 5, perciò è necessario una riscrittura, come rappresentato nell'equazione (1. 4).

$$Q = \frac{t_{good\ parts}}{NRT} = \frac{NRT - t_{defective}}{NRT} = 1 - \frac{t_{defective}}{NRT}$$

(1. 4)

Dove:

- $t_{good\ parts}$  è il tempo necessario alla produzione di prodotti ben realizzati;
- $t_{defective}$  è il tempo necessario alla produzione di prodotti difettosi;
- NRT è il valore che indica il volume di produzione, comprensivo sia dei prodotti ben realizzati che quelli difettosi.

Si può capire dai vari componenti dell'OEE come questi siano una rappresentazione di tutti gli aspetti che possono essere coinvolti in un impianto o ad una macchina singola, che siano relativi ad un suo guasto, mal funzionamento oppure anche esterni. L'aspetto comune risiede nel fatto che tutti questi fattori, in qualche maniera, possono andare a causare un ritardo nella catena di approvvigionamento, lasciando così la macchina in stallo, cioè in funzionamento ma con un produzione nulla.

Prima di proseguire è il momento di introdurre i valori standard per cui un elemento o struttura monitorata è considerata adeguata, oppure in caso contrario necessita di miglioramenti. In letteratura, infatti, esistono dei valori limite che caratterizzano il corretto funzionamento dei processi produttivi, all'interno di realtà industriali manifatturiere. Questi valori sono riportati qui di seguito:

Tabella 4 - Valori limiti dei parametri dell'OEE

<i><b>Avaiability</b></i>	<i><b>Performance</b></i>	<i><b>Quality</b></i>
90%	95%	98%

In aggiunta, nella Figura 6, viene mostrato uno schema logico di come l'OEE è generato e come le perdite di produttività vengono raggruppate e vadano ad influire sui tre parametri fondamentali dell'OEE.

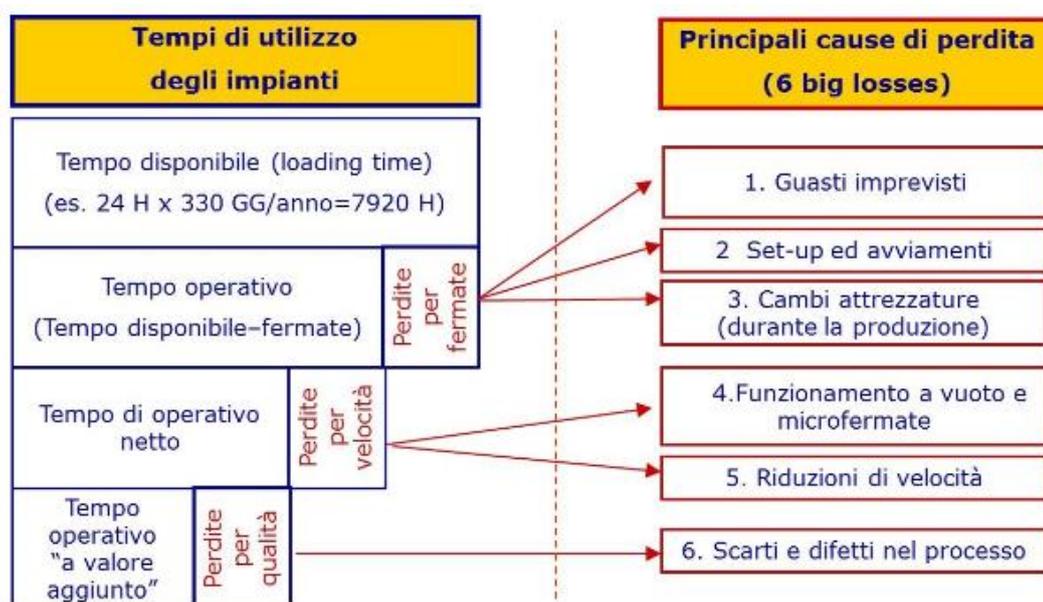


Figura 6 - Le sei grandi perdite [16]

La scelta da parte delle aziende di andare ad implementare un monitoraggio basato su questo tipo di parametro, come indicatore di prestazioni, può apportare all'azienda notevoli vantaggi e migliorie in più settori della stessa.

Di casi applicativi in letteratura ve ne sono innumerevoli, con applicazioni in diversi campi e settori, dal chimico all'industria manifatturiera. Uno dei problemi principali alla sua applicazione, non solo in ogni settore, ma proprio in ogni stabilimento, risiede nella naturale inerzia dell'industria. Di fatto gli ostacoli principali sono due, la prima è una lacuna di conoscenza nel settore, che impedisce alle classi dirigenti ad investire in un monitoraggio più capillare, questo trova conferma anche da quanto emerso da vari studi, come quello svolto su un gruppo di industrie manifatturiere in India [17].

Durante lo studio è emerso non solo che circa il 70% dei partecipanti hanno riscontrato di utilizzare le loro apparecchiature al di sotto del 60% del loro stesso potenziale, ma che non avessero dimestichezza con il concetto di overall equipment effectiveness. Lo studio rileva, tuttavia, che una volta superato questo ostacolo, ben il 58% delle aziende ha effettivamente preso in considerazione l'implementazione di strategie aziendali basate proprio sull'ausilio del parametro OEE.

Per le realtà più piccole, il problema maggiore, è la totale mancanza di un sistema di controllo a livello macchina, anche rudimentale. Il costo di investimento, di fatto costituisce un reale impedimento a tale implementazione, infatti per il corretto calcolo dell'OEE a carico del MES, richiede una raccolta di dati con alta frequenza di campionamento. Per ovviare a questa difficoltà, si potrebbe pensare all'introduzione di sistemi di acquisizione dati più capillari e distribuiti. Un'architettura di basati quindi su IoT (internet of things), per esempio, potrebbe essere efficace.

Il concetto della IoT, consiste proprio nel creare una infrastruttura digitale e anche hardware che permetta la trasmissione di dati [18], di qualunque natura, che garantiscano quindi una comprensione più profonda del sistema che si vuole andare ad operare. Questo, però, richiede una infrastruttura di apparecchiature per il monitoraggio con un relativo costo che, nella maggior parte dei casi documentati, hanno un tempo di ritorno dell'investimento del tutto accettabile al di sotto dei tre anni. Le realtà industriali, però, che non hanno per nulla un sistema di monitoraggio sono comunque restie ad investire in questo tipo di realtà.

Per poter comprendere appieno il potenziale di questo tipo di KPI unito all'infrastruttura digitale del MES vengono qui proposti vari casi applicativi trovati in letteratura per illustrare i reali vantaggi e benefici.

### 2.3.2 Caso applicativo industria manifatturiera

Il primo caso applicativo, trovato in letteratura, è di una industria manifatturiera in Etiopia [19], a questa realtà si è deciso di valutare l'implementazione di una gestione manageriale basata sulla TPM e con le valutazioni mediante OEE. Nei processi industriali è fondamentale massimizzare l'efficacia dei vari processi ed operazioni. Per forza di cose l'efficacia di lavoro di un impianto sarà legata in maniera indissolubile all'efficacia delle apparecchiature presenti nello stabilimento stesso.

I dati raccolti sul campo, prima dell'implementazione della strategia di gestione aziendale basata sulla TPM, proponevano una realtà però lontana da quella ideale.

*Tabella 5 - Dati storici reali prima dell'applicazione della TPM*

<b><i>Avaiability</i></b>	<b><i>Performance</i></b>	<b><i>Quality</i></b>
90,99%	83,97%	92,07%

Da un confronto tra la Tabella 4 e la Tabella 5, si evincono subito le criticità presenti all'interno della realtà industriale, riguardanti proprio le prestazioni e la qualità dei prodotti. Questo già rappresenta un grande vantaggio nella ricerca dei problemi all'interno della struttura. Di fatto sapendo su quale parametro è necessario agire per rientrare negli standard, e sfruttando anche la ramificazione delle varie perdite, da un punto di vista di tempo di produzione, illustrata anche nella Figura 6 si possono più agilmente identificare le cause dell'inefficienza dell'impianto.

A distanza di sei mesi, dall'ultima valutazione, e dall'implementazione di una gestione aziendale più accorta, guidata sempre dall'ausilio dell'OEE, si sono ottenuti dei risultati, riportati in Tabella 6, in alquanto incoraggianti.

Tabella 6 - Valori dei dati di prestazione dell'impianto dopo l'ausilio della strategia TPM

<i><b>Avaiability</b></i>	<i><b>Performance</b></i>	<i><b>Quality</b></i>
96,67%	84,91%	97,74%

I miglioramenti sono evidenti e globali, garantendo il raggiungimento di un valore dell'OEE pari a 80,23%.

Questo ultimo risultato risulta ancora non del tutto adeguato, di fatto il valore standard per una valutazione positiva (che quindi indica la non necessità di applicare alcun intervento di efficientamento), che si attesta al 85% [19]. Tuttavia tale risultato è incoraggiante per via della crescita in breve tempo di tutti gli aspetti dell'impianto. Infatti le proiezioni dello studio affermano che il valore ultimo dell'OEE che ci si potrebbe attendere oscilla tra l'85-90%.

Ovviamente tutti questi risultati si traducono nel bilancio aziendale come un risparmio generale nell'azione, per via nella forte riduzione dei costi dovuti alla minor percentuale di prodotti scartati, o al cambio macchine a altri aspetti, che corrispondono proprio ai benefici generali dell'OEE usato come metro di valutazione della TPM.

### 2.3.3 Caso applicativo industria di semiconduttori

Il caso studio che ha preso in considerazione una fabbrica di semiconduttori [20], è particolare dato che va a focalizzarsi nella ricerca di un lavoro di efficientamento sul così detto processo *bottleneck* (collo di bottiglia, strozzatura). In linguaggio industriale tale termine sta ad indicare la fase del processo, una macchina, in cui si ha il rallentamento maggiore, o la probabilità più alta in cui vi si possano verificare dei rallentamenti o arresti della produzione. Le prestazioni di una linea di produzione, infatti, sono strettamente legate a quelle del componente *bottleneck* [21].

In questo studio, quindi, si sono valutati nuovamente i valori di performance, e i parametri influenzanti l'OEE, e nuovamente si sono effettuate delle indagini atte all'aumento generale delle prestazioni.

Il target da soddisfare rimane anche in questo caso 85% di OEE, valore caratteristico per le industrie manifatturiere, ma una prima verifica dei dati di operativi di processo questi risultati risultano ben lontani.

Tabella 7 - Valori parametri iniziali dell'OEE industria semiconduttori

<i>Avaiability</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality</i>
97%	74%	95%

L'indagine poi in seguito è progredita in modo tale da poter cogliere le cause dei discostamenti dalla condizione ottimale.

Di fatto lo studio si è concentrato sulla ricerca delle cause di questi valori bassi, in modo tale da poterli correggere. Le indagini hanno mostrato che c'è un tempo di inattività non registrato, pari in media a 30 minuti o al 2,1% del tempo totale disponibile, porta alla riduzione della misura di disponibilità effettiva dal 97% al 95%.

I risultati mostrano che per il 6,7% del tempo non ci sono lotti da processare, per il 2,4% del tempo non ci sono operatori disponibili ad assistere la macchina, per l'1,1% del tempo si tratta di rilavorazioni, per lo 0,6% del tempo il processo è in attesa dei materiali e per l'8,6% del tempo si tratta di diverse voci, come la risoluzione degli errori riscontrati, l'attesa del tecnico e il cambio delle lastre.

Il divario del 19% per la componente Performance dell'OEE di processo è dovuto ad un maggiore tempo di inattività tra i carichi, pari a 2,8 ore rispetto a quello consentito di 1 ora.

Lo scostamento del 3% per la componente Qualità dell'OEE è dovuto ad un'inefficacia nei processi di produzione, probabilmente da riscontrarsi, in una non corretta lavorazione della materia prima. In alternativa anche un inadeguato parco di attrezzatura, non più aggiornate ed adeguate a svolgere il lavoro ad alti standard

Qui di seguito è presentata la tabella con i resoconto delle azioni principali che sono state implementate:

Tabella 8 - Azioni intraprese per il miglioramento dell'efficacia dell'azienda

<i>Elemeto</i>	<b>Fattore</b>	<b>Azione</b>	<b>Guadagno OEE [%]</b>
<i>Availability</i>	Manutezione programmata causa molto fermi macchina	Effettuare una distinzione tra i fermi programmati e non	Guadagno immediato
	Fermi non programmati causati da errore macchina	Monitoraggio per anticipare errori macchina	
	Bassa durata delle componenti	Aumentarla a 200	1.0%
<i>Performance</i>	Tempi di lavorazioni variabili	Aggiornamento dei macchinari più costanti	1.0%
	Tempi lunghi per le riparazioni	Riposizionare i mezzi di riparazione in maniera strategica	1.5%
	Nessun lotto prodotto per via di approvvigionamento	Migliorare l'approvvigionamento	5.0%
		Gestire il personale in più squadre	
Uso di strumenti non necessari	Implementazione di modelli per la valutazione dello strumento ottimo	4.0%	
<i>Quality</i>	Alto rapporto tra scarti e produzione totale	Ottimizzazione della lavorazione	1.0%

Dalla tabella precedente si riescono quindi a capire le singole azioni che possono essere identificate e svolte per il miglioramento dell'azienda. Le azioni riportate in Tabella 8 sono solo una parte di quelle totale intraprese.

Di seguito sono riportati i risultati finali dei valori dei parametri dell'OEE:

Tabella 9 - Valori dei parametri dell'OEE dopo le correzioni

<i>Avaiability</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality</i>
97%	92%	94%

Con un valore finale di OEE di 87%. Lo studio si conclude quindi con un ottimo risultato per quanto riguarda il miglioramento dell'efficacia dei macchinari, rispettando i valori di target prefissati.

### 2.3.4 Caso applicativo industria dell'automotive

Il caso studio che viene affrontato in questo paragrafo riguarda un'industria automobilistica [14]. Lo stabilimento preso in considerazione prende in carico un'unica linea produttiva durante la quale sono previsti sei differenti operazioni al fine di ottenere il prodotto finito. Come entità costituenti la linea vi sono ben otto robot automatizzati che prevedono una serie di azioni definite da eseguire per la corretta processazione dell'ordine. Al fine della verifica dei consumi energetici la linea, nello studio citato, è stata considerata come un'unica macchina, prendendo i consumi aggregati dei diversi robot. La rappresentazione schematica dell'impianto è mostrata nella Figura 7.

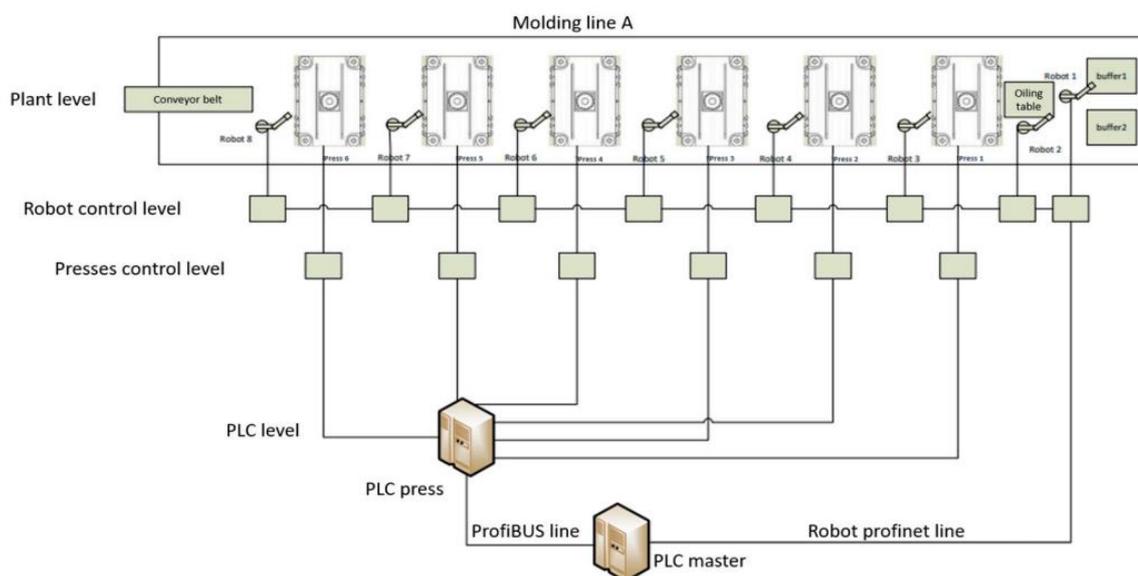


Figura 7 - Linea produttiva dell'industria automobilistica

È importante considerare che lo standard definito per una valutazione positiva degli impianti era stato definito da Nakajima, nel suo lavoro sulla TPM, nel quale aveva definito dei valori di riferimento per poter valutare una macchina.

- *Availability* dovrebbe essere maggiore del 90%
- *Performance* dovrebbe essere maggiore del 95%
- *Quality* dovrebbe essere maggiore del 98%

Questi sono i valori di riferimento per poter avere un buon risultato per l'OEE sintomo di un'adeguata gestione della filiera produttiva.

Il caso studio qui riportato ha presentato dei valori discostanti dal caso ideale:

$$OEE = (A \cdot P \cdot Q) = 54,4\% \cdot 90\% \cdot 98\%$$

(1. 5)

Come si può intuire il risultato finale sulla valutazione dell'OEE non rispetta lo standard presentato nella TPM, infatti il risultato finale corrisponde ad un valore pari a 48%, ben lontano dal valore di riferimento pari a 85%.

Il vantaggio dell'ausilio di questo parametro risiede proprio in una rapida individuazione del ambito in cui è necessario operare per ottenere un aumento generale dell'efficacia dell'impianto.

Fino ad ora l'uso fatto dei dati e dei risultati forniti dall'OEE è stato analogo a quello già visto nei precedenti casi studio, tuttavia in questo caso particolare si è andati anche a valutare, e pesare, le prestazioni dell'impianto da un punto di vista della sostenibilità. Servendosi di database internazionali, come quello della International Energy Agency (IEA), è possibile risalire al fattore di emissione relativo al consumo di energia elettrica, espresso come il rateo di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) prodotta su kWh di energia consumata. Effettuando un monitoraggio guidato dalla valutazione dell'OEE, è possibile andare a definire anche la perdita di energia per unità di tempo, che moltiplicata per l'effettivo asse temporale, coincidente con una delle possibili perdite di produzione, definite in precedenza, è possibile non solo ricavarne il consumo di energia andato sprecato, ma la relativa emissione di CO<sub>2</sub>. Questo tipo di studio porta alla luce le potenzialità ancora inesprese di una metrica che tenga conto dell'efficacia globale di un impianto. Il risultato che ne consegue, quindi, è che, non

solo, è possibile ottenere dei risultati di miglioramento per quanto riguarda l'aspetto produttivo ed economico. I campi di applicazione possono estendersi anche al controllo dell'impatto ambientale che i processi, e la mal gestione delle macchine possono generare. Questa è pur sempre una conseguenza di come un utilizzo ottimale delle apparecchiature, evitando i tempi morti di produzione, possa portare benefici a tutto tondo.

Nei prossimi capitoli vedremo proprio come questa metrica, affiancata all'infrastruttura di monitoraggio MES possa anche essere implementata per fini gestione energetica ed non solo.

## 2.4 MES AVEVA

In commercio sono presenti varie tipologie e modelli di tali applicativi software, nello specifico, in questo studio, verrà utilizzato il modello appartenente alla società AVEVA, società specializzata nella realizzazione di software per applicazioni industriali ed ingegneristiche, di sistemi per la connessione, controllo ed ottimizzazione nell'integrazione tra persone, tecnologie e processi. Tale società ha inoltre, nel tempo assorbito varie società dando vita ad un gruppo finanziario al cui interno sono presenti diverse realtà che possono offrire competenze diverse e di alto livello. All'interno di questo gruppo è presente anche la società Wonderware, che da anni si occupa di fornire gli strumenti atti alla creazione di un catena/struttura di monitoraggio dei macchinari di processo. Wonderware è specializzata nella creazione di sistemi con architettura SCADA e di fornire anche le conoscenze, mediante corsi di formazione, sulla gestione ed utilizzo di queste macchine. L'obiettivo quindi è di avere a disposizione macchinari monitorati per permettere la valutazione sulle loro performance. Nel proseguo di questa tesi di laurea si vedranno i prodotti di entrambe le realtà, AVEVA e Wonderware, la prima con il MES e la seconda, con la System Platform, generano l'infrastruttura digitale che rende possibile il monitoraggio ed efficientamento dei processi produttivi.

Come detto in precedenza, AVEVA è una società specializzata in software industriali per il monitoraggio e ottimizzazioni di problemi di natura ingegneristica. La società nasce nel 1967 come un istituto di ricerca dell'università di Cambridge, vedrà poi il suo coinvolgimento in una così detta fusione inversa con la società Schneider Electric, la quale possedeva già la società Wonderware. Dopo questa fusione l'intera attività software della multinazionale Schneider Electric è passata in gestione alla stessa AVEVA [22].

Quando si parla di software MES, si parla in realtà di vere e proprie infrastrutture digitali, e

non solo, che partecipano e comunicano per un monitoraggio efficace ed in tempo reale, anche la soluzione presentata da AVEVA non fa eccezione, di seguito verranno descritti i vari componenti e applicativi software per poter andare a sviluppare appieno un piano di monitoraggio industriale.

#### 2.4.1 Utilizzo dei sistema MES

Il MES trova possibilità di applicazione se affiancato a sistemi di monitoraggio di sistemi SCADA come la SystemPlatform, e di sistemi HMI che permettano un uso intuitivo e semplice per l'utente finale. Il tutto va a quindi a formare un ecosistema informatico che funziona con l'interazione di più componenti, che svolgono azioni diverse, ma che possono concludere il lavoro di monitoraggio ed ottimizzazione dei processi produttivi solo se gestiti in parallelo visto che uno è indispensabile per il corretto funzionamento dell'altro.

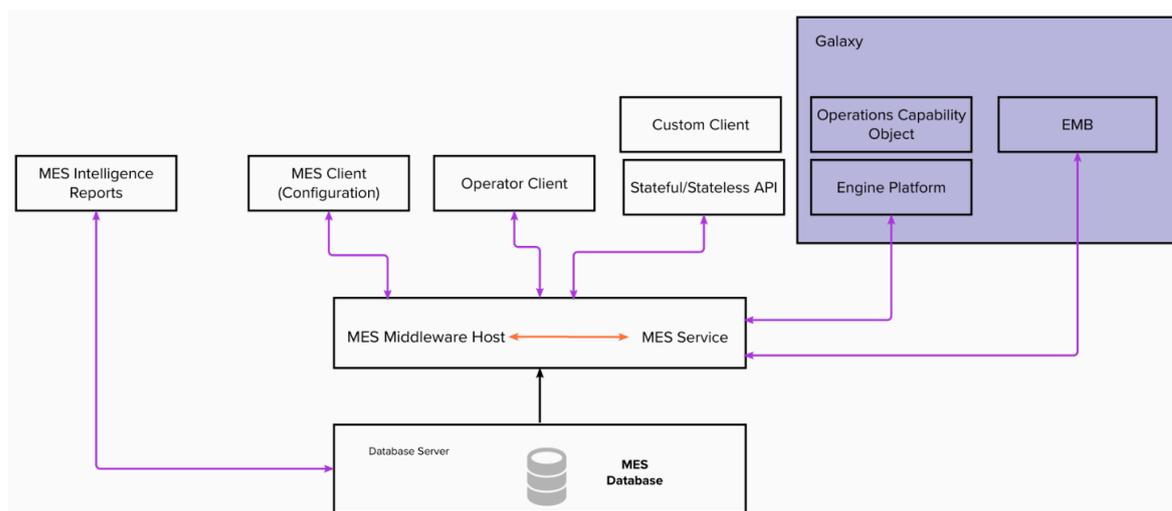


Figura 8 - Sistema MES nel suo complesso

Come mostrato in Figura 8 la struttura vera e propria del sistema MES è alquanto articolata, finalizzata ad avere la più possibile flessibilità e potersi adattare a varie realtà industriali.

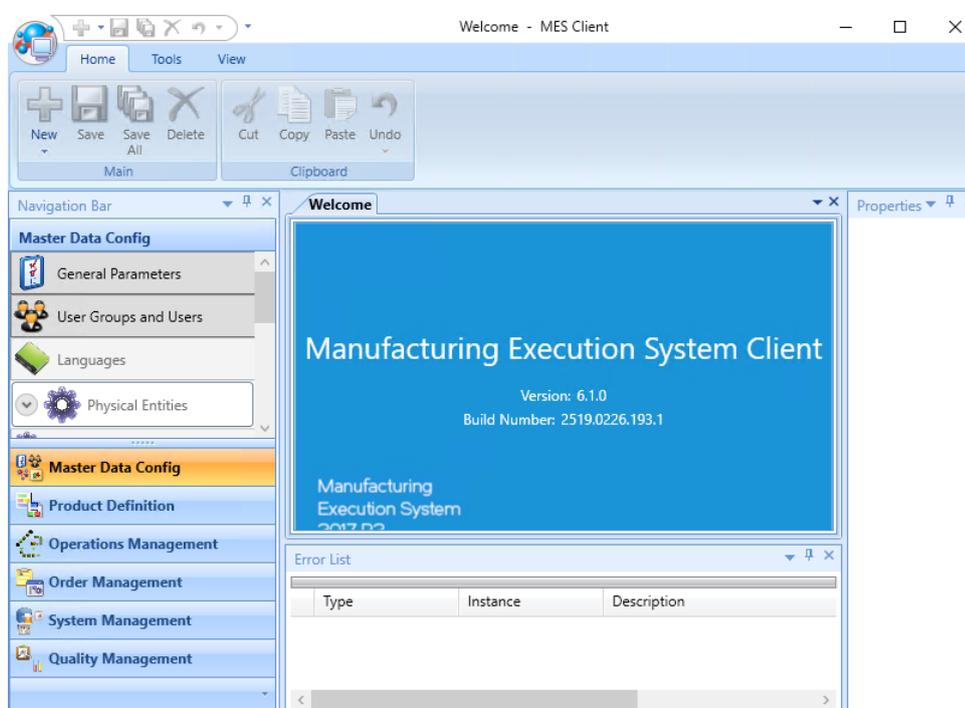
Prima di passare all'analisi degli altri software, bisogna ancora chiarire la struttura su cui si erge il MES. Infatti vi sono diversi moduli che permettono con la loro sinergia di eseguire tutti i compiti prefissati. In sintesi possiamo andare a suddividere il MES in:

- MES Client
- MES Operator
- MES Performance

Questi tre diversi moduli hanno scopi specifici, ma a volte potrebbero essere considerati come interscambiabili, la differenza sta a che livello si opera, e i diritti di accesso dei vengono forniti ai vari utenti.

### *MES Client*

Il MES Client di fatto è il nucleo dell'intero sistema, da lì si possono definire tutti i fattori caratterizzanti, come gli utenti che possono accedere al sistema MES stesso, garantendo anche un elevato, e flessibile, livello di sicurezza. Da qui è anche possibile definire le entità che rientrano nella catena produttiva, possono anche essere definiti i vari processi all'interno dell'azienda, con le loro relative operazioni. Si possono anche impostare i vari turni lavorativi, calendarizzando gli orari di produttività tenendo conto anche di giorni ed ora di pausa. Degna di nota è la possibilità di andare a generare e definire le così dette BOM (bill of material), con le quali è possibile andare a generare una genealogia dettagliata dei vari prodotti, sotto prodotti e anche prodotti di scarto che vengono generati lungo tutta la filiera produttiva.



*Figura 9 - MES Client [3]*

La Figura 9 - MES Client illustra come si presenta all'utente il MES Client. Le potenzialità e le funzioni di questo modulo, citate precedentemente, sono solo una parte delle

effettive potenzialità di utilizzo della piattaforma. Tuttavia sono già sufficienti per poter comprendere la libertà di personalizzazione e di effettivo utilizzo di tale piattaforma. Una volta aver completato tutta la fase di definizione dei vari processi, operazioni e prodotti (finiti, non idonei, semilavorati, materie prime, ecc.), si possono proprio definire gli ordini di lavoro che prenderanno a carico una richiesta ed il MES seguirà l'intero processo in modo tale da poter registrare e catalogare ogni passaggio: dalla corretta erogazione del lavoro, al tracciamento del personale responsabile durante l'esecuzione del lavoro e altri parametri che possano essere utili alla dirigenza in ottica di una ottimale gestione aziendale.

### *MES Operator*

Per il MES Operator invece un'applicazione dedicata maggiormente ad un livello di fabbrica. Questo modulo ha diversi scopi, tra cui:

- Eseguire i processi;
- Dichiarare i quantitativi prodotti e il consumo;
- Inserire i dati nel sistema utilizzando passaggi, specifiche e registro dati;
- Acquisizione di dati sull'utilizzo della macchina e sul lavoro

È il modulo dedicato maggiormente all'aspetto operativo dello stabilimento, perciò l'utente finale che andrà ad utilizzarlo sarà un operatore di livello macchina o comunque un addetto al processo produttivo.



Figura 10 - MES Operator [3]

Anche per il MES Operator viene fornita una rappresentazione della sua interfaccia grafica.

Sono anche evidenziati i vari tool presenti:

1. *Title bar* - Visualizza il nome dell'entità attualmente selezionata per il lavoro. La barra del titolo consente anche di passare ad altre entità e di lavorare con esse;
2. *Job Summary area* - Visualizza le informazioni di base per i lavori attualmente in esecuzione su quell'entità. Determina inoltre quale lavoro è attivo, in modo che i suoi dati possano essere visualizzati e lavorati nell'area a schede. Le informazioni di riepilogo del lavoro si aggiornano automaticamente quando condizioni del lavoro cambiano;
3. *Tabbed area* - Fornisce l'accesso alle informazioni dettagliate e alle attività dell'entità attiva e dei lavori in corso, raggruppati per schede funzionali. Le schede sono descritte in modo più dettagliato nella nella sezione successiva;
4. *Toolbar* - Fornisce i pulsanti per l'esecuzione delle attività disponibili con la scheda attualmente visualizzata.

### *MES Performance*

In conclusione è necessario andare a descrivere il ruolo ed il funzionamento del MES Performance fornisce soluzioni per tracciare, analizzare e migliorare i tempi di fermo delle

apparecchiature, delle linee o degli impianti e l'efficienza complessiva delle apparecchiature, tramite la valutazione di KPI (OEE). Ottimizza l'utilizzo complessivo degli asset all'interno di un'azienda manifatturiera, raccogliendo e fornendo dati accurati e coerenti, ricavati da qualsiasi evento di fermo macchina configurato dall'utente. L'interfaccia utente che permette l'interazione con questo modulo è il MES Web Portal, che altro non è che una pagina web, tale impostazione permette l'accesso da remoto di tutti gli utenti autorizzati capaci quindi di poter avere una visualizzazione e rappresentazione dell'andamento della produttività in tempo reale e non. Gli obiettivi ultimi dell'utilizzo del MES Performance sono:

- Ridurre le spese identificando le attività più produttive da mantenere in funzione;
- Aumentare la capacità di utilizzo degli asset esistenti identificando le cause dei tempi di inattività non pianificati e migliorando il coinvolgimento degli operatori;
- Riduzione dei costi di produzione grazie alla riduzione dei costi di manodopera (straordinari, nuove assunzioni e riduzione dei turni), degli scarti e delle rilavorazioni;
- Riduzione del time-to-market (tempo di commercializzazione) per l'avvio di impianti o linee di produzione.

Come fatto in precedente, tramite la Figura 11, viene fornita una rappresentazione dell'interfaccia del MES performance, questa in particolare mostra l'andamento dei vari parametri, (Avialability, Performance e Quality). Questi sono aggiornati in tempo reale, e anche l'output finale dell'OEE varierà di conseguenza.



Figura 11 - Interfaccia MES Performance

## 2.4.2 System Platform di AVEVA

System Platform con Operations Management Interface (OMI) è l'unico software al mondo, basato su una logica ad oggetti, reattivo, standardizzato e scalabile per l'implementazione di SCADA, MES e IIoT avanzati che contestualizzano i processi operativi in tutta l'organizzazione. System Platform fornisce una base collaborativa e basata su standard che unifica persone, processi e asset in tutte le strutture per un miglioramento operativo continuo e un supporto decisionale in tempo reale [23].

La System Platform si basa su architettura ArchestrA (realizzata dalla società AVEVA) che ormai ha trovato grande spazio nel settore industriale garantendo la possibilità di ottenere sistemi atti alla supervisione, controllo e informazione dei processi manifatturieri. È una tecnologia basata su una logica orientata ad oggetti, permettendo anche un certo livello di accessibilità, da parte dell'utente, per una sua continua espansione ed adattamento alle varie esigenze. L'architettura ArchestrA riesce a fornire diversi servizi come: gestione oggetti per la creazione di applicazioni orientate agli oggetti (come appunto la System Platform), servizi di sicurezza centralizzati con supporto per ambienti multi-utente per lo sviluppo e fase di esecuzione, comunicazioni avanzate tra processi con manutenzione e diagnostica del sistema informazione e molti altri.

La System Platform, inoltre, si basa, anche, sulla tecnologia *Microsoft .NET* che è una piattaforma open source di sviluppo *general purpose*, ideata e realizzata da Microsoft, per la creazione di molti tipi diversi di applicazioni, con utilizzi in vari campi dalla Iot, creazione di archivi digitali e molto altro. Per la gestione dei dati ed anche del loro immagazzinamento, la System Platform, invece, si basa su altre tecnologie già consolidate come gli SQL Server, sempre di paternità di Microsoft.

La System Platform può gestire sia impianti di controllo oppure che esercitano solo un lavoro informativo, inoltre riesce a garantire sia un supporto di livello supervisionale sia uno esecutivo che un supporto di livello macchina. La System Platform necessita l'accesso di dati direttamente dai controllori di componenti e di processo, potendo anche accedere a dati esterni, provenienti da database.

Una rappresentazione grafica della struttura della System Platform è fornita nella figura seguente:

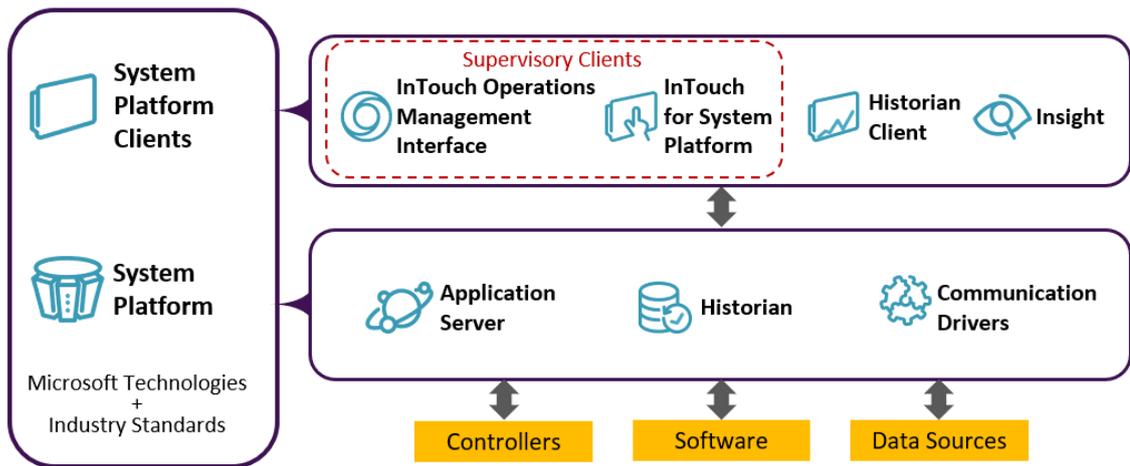


Figura 12 - Struttura dei componenti della System Platform [3]

La struttura della System Platform può essere riassunta come segue:

- **Application Server**, è il componente principale della piattaforma, fornisce un framework orientato agli oggetti con strumenti per lo sviluppo e l'implementazione di applicazioni.
- **Historian**, fornisce la storicizzazione dei dati di processo, allarmi, errori ed anche collegamenti da parte degli utenti per l'Application Server. I dati sono raggruppati ed immagazzinati in server basati su tecnologia SQL.
- **Comunication Drivers**, fungono come mezzo di comunicazione come controllori di terze parti.

Grazie alla System Platform all'interno dell'elaborato, andremo di fatto a realizzare una serie di entità ed oggetti i quali andranno a formare la struttura stessa della catena produttiva. Potremmo, infatti, definire vari componenti e macchinari, attivi nel processo produttivo, come un forno per la tostatura e macchinari dediti all'imbottigliamento, ma anche componenti dedicati, non necessariamente al processo in sé, ma necessari per il corretto funzionamento dell'impianto, come silos o altri ambienti di stoccaggio.

Una volta creata così la *galassia* (così viene identificato l'insieme di componenti definiti all'interno della SP), si potrà accedere al MES Client per poter effettivamente eseguire i veri ordini di lavoro e parametri operativi e di performance dello stabilimento in esame. Il tutto però poi all'utente finale sarà mostrato tramite una interfaccia utente chiamata InTouch.

### 2.4.3 InTouch interface

Si parla dell'interfaccia utente che andrà ad essere usata direttamente dall'utente finale, che quindi come ruolo principale ha quello di rendere le sue potenzialità il più semplici ed intuitive possibili, mantenendo allo stesso tempo un alto livello di dettaglio nella esposizione nei dati e nei KPI che caratterizzano il sistema.

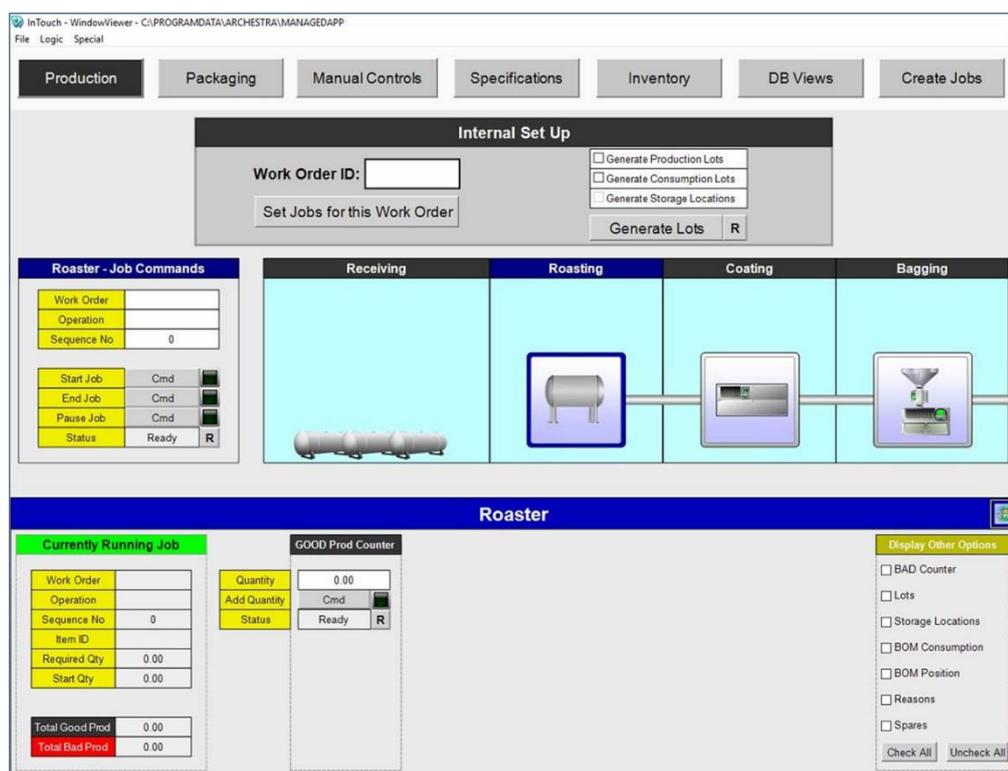


Figura 13 – Esempio di interfaccia InTouch [3]

Come mostrato in figura la piattaforma InTouch è alquanto minimale, per evitare di andare ad rendere più difficoltosa la comprensione e l'utilizzo all'utente. Sono rappresentati a schermo i vari componenti che partecipano al processo di produzione e vi è anche la possibilità di richiamare un ordine di lavoro, che però può essere creato anche tramite il MES, e andare a valutare come è stato eseguito.

I dati che vengono riportati sono relativi alla quantità di prodotto effettivamente realizzato, al netto dei prodotti che non corrispondono agli standard di lavoro. Sono fornite anche informazioni inerenti ai sotto prodotti e semilavorati, i quali sono indispensabili per la produzione del prodotto finale.

Inoltre da questa interfaccia grafica è possibile anche andare a gestire direttamente la creazione di nuovi ordini di lavoro, verificare lo stato dei magazzini con l'andamento delle

materie prime e semilavorati che entrano ed escono dallo stabilimento stesso.

Inoltre l'utente che si interfaccia con questa piattaforma riesce in maniera semplice e chiara ad accedere al registro storico di tutti i vari ordini di lavoro (oppure registro ordinato per produzioni), in modo da avere uno storico chiaro e accessibile, agli utenti abilitati, che tenga conto quindi di tutta la produzione.

Mediante un'interazione tra la System Platform, in conclusione, è possibile riorganizzare e modificare la InTouch nel modo più consono e desiderato. Adeguandolo per le singole necessità o proprio struttura aziendale, in base alle macchine presenti e alla conformazione della linea di produzione.

### **3. UTILIZZO DEL MES PER IL MONITORAGGIO DEI CONSUMI ENERGETICI**

Il MES è un software dedicato all'ottimizzazione ed il monitoraggio dei processi, come già detto in precedenza. Le potenzialità dovute alla sua capacità di sfruttare, ed aggregare i dati di livello macchina, comunicando con il piano aziendale sono le caratteristiche che hanno motivato questo studio alla ricerca per applicazione di più ampio orizzonte. Di fatto l'obiettivo che ci si è posti con questo lavoro è l'implementazione di una metrica atta, non tanto al controllo sull'efficacia di un sistema (come l'OEE), ma che valuti anche l'efficienza di questo.

Di fatto le possibilità sono molteplici e limitate dalla natura, dalla qualità dei dati raccolti e sfruttati, perché attraverso la definizione, ed il calcolo, di diversi KPI, è possibile monitorare e controllare non solo aspetti produttivi ma anche quelli energetici. Questa implementazione aiuta ad identificare le cause ed i problemi relativi ai consumi anomali ed anche, come anticipato nel Capitolo 2.3.4, aspetti ambientali e di sostenibilità.

Nei paragrafi che seguono si esamineranno le metriche e le strategie di implementazione usate per ampliare le funzionalità del MES all'interno di una realtà industriale.

Si è discusso molto di come i sistemi MES, con anche l'ausilio di metriche diverse, come l'OEE, possano garantire una rappresentazione pressoché globale dello stato di funzionamento dell'impianto, o anche singola, macchina monitorata. Si sono potuti apprezzare i contributi per quanto riguarda l'efficacia dei processi, che poi di fatto determinano un vantaggio economico per l'azienda. Tramite gli studi trovati in letteratura, inoltre, si è constatato come tale monitoraggio possa anche essere adoperato per valutazioni per quanto riguarda lo stress ecologico e sociale che un'azienda causa, portando così la ricerca di un approccio sempre più sostenibile. Da un punto di vista strettamente energetico tuttavia, non si è ancora approfondito il discorso; si è già detto, nei capitoli precedenti, come la riduzione dei consumi sia una conseguenza dei miglioramenti ottenibili a livello di processo e di risparmio nelle materie prime.

Tuttavia è questo il punto, l'idea originaria dell'infrastruttura MES non ha come finalità ultima quella di fungere come una struttura di monitoraggio energetico, bensì di processo. Tutt'al più come sistema di diagnostica in caso di malfunzionamenti dei macchinari. Anche negli studi precedentemente citati venivano considerate le riduzioni sui consumi energetici, ma erano

sempre considerati come appunto conseguenza di un processo più efficace. Non si avevano metriche o parametri che mostrassero in maniera diretta l'andamento riguardo le prestazioni di efficienza energetica. Ciò è limitante, infatti, per quanto riguarda i processi, si è visto come le metriche che ne definiscono la qualità sono anche il primo indizio per la determinazione di azioni mirate al miglioramento.

Quello che si vuole definire con questa tesi di laurea è proprio la fattibilità di introdurre un parametro che funga come indicatore dell'efficienza energetica che quindi dia le prime indicazioni su come agire in caso di non soddisfacimento dei risultati ottenuti.

Nonostante abbiamo chiarito come non sia il focus centrale di tali sistemi, alcuni studi in letteratura, comunque, si trovano su possibili implementazioni e metriche di valutazione, che integrino l'architettura MES e l'OEE nell'analisi dei consumi energetici, da questo deriva di conseguenza la definizione di nuovi parametri come EOEE (Energy Overall Equipment Effectiveness) [24].

### 3.1 Definizione EOEE e implementazione nella gestione dell'energia (ISO50001)

Le aziende utilizzano vari strumenti e strategie al fine di poter tenere traccia dei vari consumi energetici all'interno dei confini aziendali, tra le tecniche più utilizzate troviamo: analisi di benchmarking, diagrammi di flusso e anche il monitoraggio classico. Secondo uno studio [24] circa il 52% delle aziende, che hanno preso parte al sondaggio, dichiara tenere un resoconto scritto dei vari consumi energetici, ben il 65%, inoltre dichiara la volontà di intraprendere obiettivi di efficientamento energetico, ma non sempre tenendo uno storico scritto dei progressi. Una buona parte, infine, gestisce le comunicazioni sull'andamento dei consumi coinvolgendo direttamente i dipendenti con riunioni o anche email. Buona parte delle aziende, coinvolte nello studio, hanno espresso la loro volontà di andare ad istruire i propri impiegati sull'uso razionale dell'energia. Altre realtà invece prediligono un approccio più gerarchico, in cui vi è una figura predisposta al monitoraggio e gestione dei consumi. Il problema risiede che tale figura non sempre è ricoperta da un energy manager<sup>2</sup>, lasciando quindi il ruolo di gestore dell'energia a figure professionali non propriamente formate.

Si comprende come vi sia ancora molto da fare nelle varie strategie e sistemi di monitoraggio

---

<sup>2</sup> Un energy manager è un soggetto che ha il compito di gestire ciò che riguarda l'energia all'interno di un'azienda, un ente pubblico, o più in generale una struttura, verificando i consumi, ottimizzandoli e promuovendo interventi mirati all'efficienza energetica e all'uso di fonti rinnovabili.

per poter garantire un controllo continuo, capillare e soprattutto efficace.

Lo studio quindi propone di trovare un'implementazione dei sistemi di monitoraggio MES che permettano di avere una maggior consapevolezza riguardo l'effettivo consumo di energia consumata, per cui poter trarre tutte le possibili strategie di risparmio energetico.

Inizialmente si è andati a definire un EnPI che garantisca la rappresentabilità del consumo specifico di energia in funzione alla produzione:

$$EnPI = \frac{\text{Consumo energetico}}{\text{Produzione}}$$

(1. 6)

Una volta legato il consumo energetico alla produzione quindi si è valutato, come anche riproposto dalle analisi bibliografiche, come sfruttare tale parametro come metrica di monitoraggio. La definizione ultima del KPI analizzato nel corso di questo elaborato è quella proposta qui di seguito:

$$KPI = \frac{EnPI_{minimo}}{EnPI}$$

(1. 7)

Dove:

- EnPI è il parametro definito nella equazione (1. 6)
- Per  $EnPI_{minimo}$  si intendo il valore minimo relativo al consumo energetico specifico registrato.

Il KPI appena definito prende in considerazione il rapporto tra il consumo specifico per unità di prodotto generato minimo ed il consumo energetico specifico in un dato momento. Ovviamente se durante il periodo di monitoraggio, si dovesse registrare in valore minore di quello storico iniziale allora il valore di consumo specifico minimo verrà aggiornato. Questo indice verrà successivamente applicato nella definizione dell'EOEE, come mostrato nell'equazione (1. 8).

$$EOEE = OEE \cdot Average(KPI)$$

(1. 8)

La scelta di tale definizione nel KPI risiede nel fatto che se per caso si volesse definire un parametro che tenga conto solo del rapporto tra il consumo energetico di processo e quello totale (processo più il setting delle macchine), staremmo sovrastimando le perdite. In questo modo, di fatto, conteremo due volte la perdita dovuta alla riduzione nella velocità delle macchine, fattore già tenuto in conto nel parametro *performance*. L'obiettivo infatti è quello di riuscire a definire un parametro che garantisca informazioni nuove che possano ampliare la conoscenza e la consapevolezza delle macchine e della linea produttiva.

Tale implementazione non è però così semplice, infatti come per gli altri parametri, che influiscono sul più tradizionale OEE, la loro qualità è strettamente correlata alla qualità dei dati raccolti. Di fatto se vi è anche qualche danneggiamento nei dati o problemi nel loro rilevamento, i risultati possono essere influenzati anche in maniera drastica, riportando degli andamenti non rappresentativi, anzi fuorvianti. Nonostante la necessità di garantire una forte validità dei dati le potenzialità di tale metrica sono molteplici, ribadendo il concetto di poter seguire l'andamento dei vari trend energetici nel tempo, generando così di riferimento per poter effettuare analisi di benchmarking, finalizzate a mantenere alto il livello di efficienza energetica dei vari macchinari nel tempo. Inoltre con analisi di natura statistica si potrebbe identificare la causalità del consumo energetico garantendo così la determinazione delle aree dell'impianto che incidono in maniera preponderante nel bilancio energetico. Esempio di quello appena detto potrebbe essere una sua applicazione al fine di comprendere i consumi energetici derivanti dalla produzione e quelli invece legati ad altri scopi (come il riscaldamento).

Le potenzialità di questa metrica, inoltre, troverebbero proprio la loro massima applicabilità se combinati in infrastrutture di monitoraggio già installate e con già uno storico effettivo di risultati ottenuti. In questo modo si frutterebbe una struttura, già installata e funzionante, che potrebbe fornire informazioni aggiuntive e rilevanti. Le realtà in cui i sistemi MES di fatto sono già presenti, rappresentano ambienti ideali per la valutazione di questo tipo di analisi energetiche, visto che presentano sia l'infrastruttura hardware che software. Il vantaggio competitivo di queste realtà risiede nel fatto di non dover più sostenere i costi di installazione che sono quasi sempre l'ostacolo principale, soprattutto per le piccole e medie industrie. Da un altro punto di vista potrebbe anche essere uno stimolo in più per tutte le aziende che ancora non hanno installato un sistema di monitoraggio adeguato, quello di poter accingere ad un

ulteriore parametro che possa garantire una possibilità di risparmio ulteriore nel lungo periodo, da così ridurre i tempi di ritorno dell'investimento.

Nel seguito di questa tesi di laurea verrà approfondito l'efficacia e la fattibilità di questo tipo di implementazione, sfruttando vari casi studio si comprenderanno i limiti e gli effettivi vantaggi. Fattore importante da esplicitare è come si inserisce il KPI energetico tra gli altri parametri dell'OEE. Infatti tramite i capitoli precedenti si è descritto come i vari parametri di *Availability*, *Performance* e *Quality* sono ottenuti, in maniera intuitiva si richiama anche la Figura 5. In questo contesto il KPI prevederebbe la valutazione del consumo energetico durante tutte le ore di effettivo funzionamento della macchina, o impianto.

Questa condizione, tuttavia, porta con sé alcune criticità, che devono essere risolte con valutazione caso per caso per essere ovviate. Se si considerassero anche i momenti di azionamento macchina, ma con produzione nulla, si otterrebbero dei consumi specifici tendenti ad infinito e ciò inficerebbe l'analisi. Per tale motivo, si è valutato come fosse necessario andare ad effettuare un lavoro di aggregazione dati per ovviare a tale problematica. Nei casi studio trattati, infatti, i dati erano disponibili con un campionamento orario, permettendo di cogliere l'andamento della produzione e del consumo energetico nella giornata. La strada intrapresa è stata quella di raggruppare i dati su scala giornaliera, così da avere i dati relativi ai singoli parametri dell'OEE rappresentativi dell'efficacia produttiva della giornata. Per l'aspetto energetico, inoltre, con questa elaborazione dei dati, non si andavano a perdere informazioni sul consumo energetico della macchina, riguardanti per l'appunto i periodi di mancata produzione.

Viene fornita un rappresentazione grafica, di dove si inserirebbe il KPI, da un punto di vista temporale, a confronto con gli altri parametri dell'OEE.

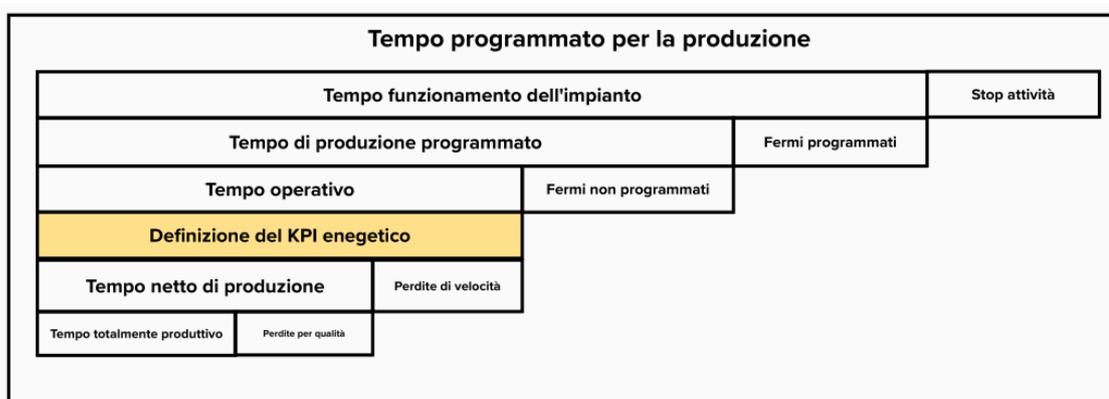


Figura 14 - Inserimento del KPI energetico in relazione agli altri parametri dell'OEE

Vi è da dire, tuttavia che le possibilità di monitoraggio energetico non sono solo vincolate ad una aggregazione su scala giornaliera. Questo è stato il caso utilizzato nei casi studio per via delle loro caratteristiche ma la scala temporale può essere modificata a seconda dei casi e dell'obiettivo finale preposto. A chiarimento di ciò vengono messi a confronto i vari vantaggi e svantaggi di possibili diverse scale temporali.

*Tabella 10 - Vantaggi e svantaggi delle diverse scale temporali applicabili al KPI energetico*

<i>Scala temporale</i>	<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
<i>Oraria</i>	Fornisce informazioni sui consumi esclusivamente relativi ai tempi produttivi	Si perdono informazioni riguardanti in i tempi in cui le macchine non producono
<i>Giornaliera</i>	Si riescono ad includere i consumi anche in assenza di produzione	Tramite l'aggregazione si perdono informazioni sull'andamento stesso delle giornate
<i>Mensile</i>	Si apprezzano meglio gli andamenti macroscopici garantendo l'individuazione di variazioni di andamenti nel consumo energetico	Un'aggregazione maggiore rischia di causare una perdita di informazioni

Per quanto riguarda l'inserimento di questo tipo di infrastruttura software nella gestione energetica, questo deve essere introdotto in un contesto ben definito, infatti esistono già standard per quanto riguarda l'energy management a livello globale, prima fra tutte le ISO50001. Questo tipo di certificazioni richiede un programma di collazionamento dei dati capillare ed affidabile, che corrisponde proprio anche alle condizioni di applicabilità del MES. In un contesto del genere il MES non solo troverebbe spazio di installazione ma sarebbe anche un promotore di tale certificazione, garantendone una più rapida ed affidabile veridicità.

La norma ISO 50001 è uno standard diffuso a livello globale per la gestione dell'energia, le direttive fornite dallo standard consentono alle aziende di ottimizzare le prestazioni energetiche e di apportare miglioramenti mirati su base continuativa [25]. La norma presenta

anche una struttura a step ben definita che definisce l'approccio da seguire, nel monitoraggio dei consumi energetici, al fine dell'ottenimento della certificazione. La ISO 500001 si basa sulla logica della ruota di Deming<sup>3</sup>, basata a suo volta sul metodo *Kaizen* di Nakajima. Questa ruota identifica un processo, o anche un tipo di approccio, dedito alla continua innovazione e miglioramento. Essa si costituisce di quattro fasi principali come mostrato in Figura 15.

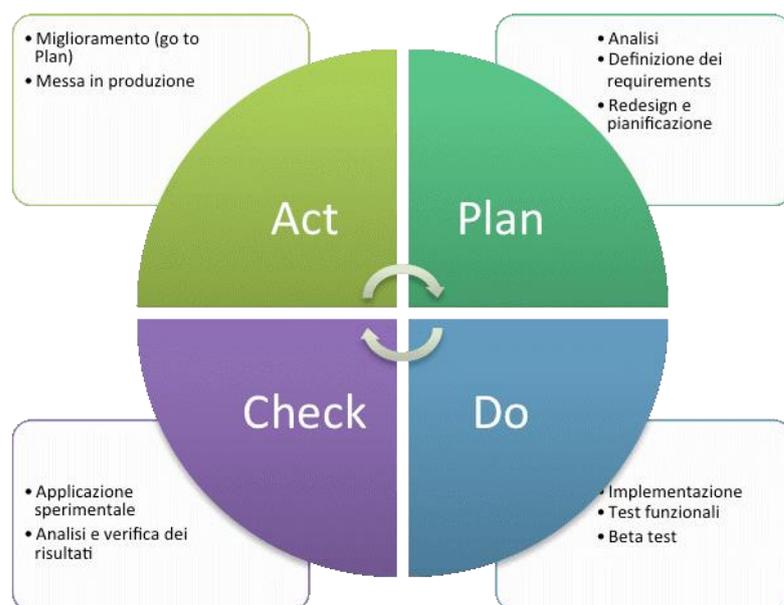


Figura 15 - Ruota di Deming [26]

Come si può constatare la struttura del rispetto della norma ISO 500001 si basa 4 fasi di un ciclo continuo di monitoraggio e miglioramento. Infatti:

- *Plan* → In questa fase l'organizzazione dirigente deve avviare un processo di pianificazione, con tanto di documentazione allegata. Questo processo deve essere congruente con la politica energetica e deve prevedere l'avvia di attività che migliorino continuamente le prestazioni energetiche. Tutto il processo deve anche essere pianificato secondo le prescrizioni legali applicabili. La classe dirigenziale inoltre deve prevedere un piano di energy review allo scopo di monitorare i progressi nel tempo, e lo stato attuale di partenza. Inoltre a tutto ciò deve rendere chiari gli obiettivi da raggiungere e definire le metriche di valutazione di queste ultime con specifici EnPI.

<sup>3</sup> La ruota di Deming è così chiamata in riferimento a William Edwards Deming, un noto studioso, docente e manager statunitense del '900, che nei suoi studi per il miglioramento produttivo fu in grado di trarre spunto dalla sua esperienza in Giappone e dal metodo Kaizen per realizzare il ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Act)

- *Do* → In questa fase l'organizzazione, deve attuare le strategie pianificate nella fase precedente. Questo si svolge non solo definendo e attuando le varie attività, ma stabilendo anche una catena di responsabilità, atta allo svolgimento corretto del piano di gestione dell'energia. Il processo è fatto coinvolgendo anche il personale a più livelli, non solo quelli dirigenziali, ma anche gli operatori macchina, per esempio. In questo modo si coinvolgono più figure professionali, che possono apportare un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi preposti. In questa fase sono fondamentali la comunicazione degli obiettivi e dei progressi con la successiva stesura della documentazione, per tenere traccia dell'avanzamento.
- *Check* → In questa fase l'organizzazione deve assicurare il monitoraggio delle caratteristiche chiave, che determinano le prestazioni energetiche. Bisogna assicurarsi di definire: gli usi significativi di energia, le variabili rilevanti, gli EnPI e l'efficacia del piano di azione nel raggiungimento degli obiettivi preposti. Questa azione di monitoraggio è da intendersi come un'attività periodica e ripetuta nel tempo, per poter agire con tempestività in caso di deviazioni dal piano originale. Ovviamente oltre alla conformità degli obiettivi le verifiche vengono fatte anche per controlli alle conformità legislative e normative. In caso di riscontro di deviazioni, o non rispetto degli obiettivi, la fase di check diventa anche uno step di correzione del piano di gestione dell'energia. Queste correzioni possono essere molteplici durante la fase di monitoraggio.
- *Act* → Infine, l'ultima fase, prevede una disamina dei risultati raccolti da parte della dirigenza aziendale. Questo è fatto per definire la buona riuscita o meno della strategia di gestione dell'energia. Questa azione, a differenza del check, avviene ad intervalli pianificati, prevedendo la partecipazione solo della classe dirigente. All'interno di queste disamine sono contenuti tutti i parametri influenzanti il consumo energetico, dai EnPI definiti, alla valutazione dei nuovi macchinari e, in sostanza, ogni aspetto che interessa il consumo di energia. Come output di tali disamine, invece troviamo: i cambiamenti nelle prestazioni energetiche, variazioni nella politica energetica, allocazione delle risorse e anche variazione negli EnPI ed o variazioni negli obiettivi prefissati.

### 3.2 Cenni del utilizzo del MES nell'ambito della sostenibilità

Con sviluppo sostenibile si intende, secondo quanto riportato dal documento ufficiale delle Nazioni Unite [27], uno sviluppo tale che permetta di soddisfare i bisogni ed esigenze attuali, senza però compromettere quelle delle generazioni future, garantendo così uno sviluppo intergenerazionale. Il concetto di sostenibilità non è qualcosa di irraggiungibile, tuttavia è un traguardo arduo da ottenere, soprattutto in realtà industriali, specialmente se appartengono a determinati settori. È necessario comprendere come le realtà industriali spesso si trovino a dover affrontare problemi di bilancio, dovendo garantire degli standard nei prodotti e servizi forniti ai clienti, ciò ovviamente prende il sopravvento, andando ad influenzare in maniera diretta la contabilità aziendale. Tuttavia, negli ultimi anni si è avuto un cambio di impegno, dovuti sia ad una maggior realizzazione da parte delle classi dirigenti che anche da politiche che indirizzano le aziende a prendere maggiori responsabilità sul loro impatto sociale ed ambientale, si è assistito ad un passaggio di tendenza che ha visto la formazione di nuove strategie come la *“triple bottom line”*. Questa prevede di mettere sullo stesso piano la responsabilità sociale, ambientale ed anche economica al fine di trovare un punto di incontro in cui si crea un assetto tale da trovare la strategia ottima per la produzione al fine di lavorare seguendo quindi il principio di sostenibilità.



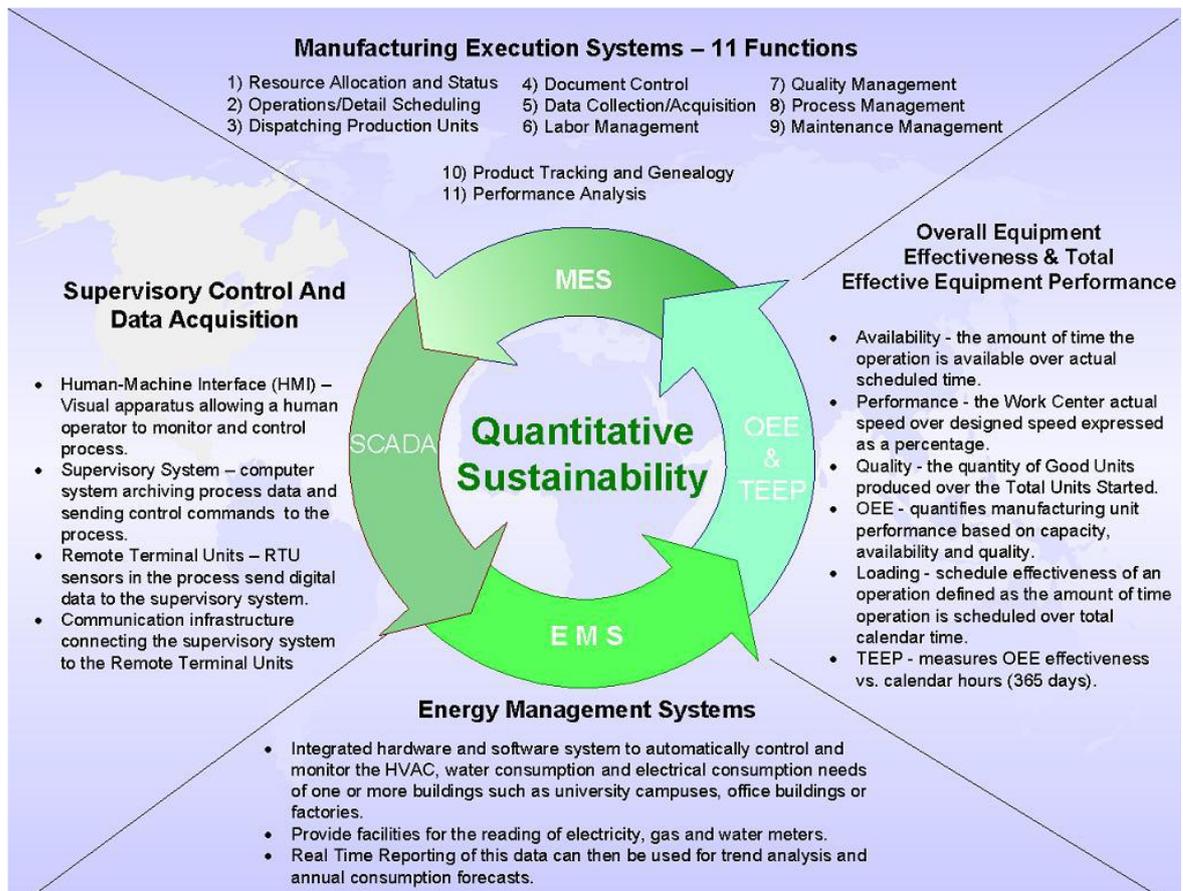
Figura 16 – *“The triple bottom line”* adottata dalla valutazione della sostenibilità dell'Università del Michigan nel 2002

Andando a pensare ad un utilizzo del MES, al fine di una gestione industriale improntata sulla sostenibilità, si arriva già subito a cogliere le forti potenzialità del mezzo a disposizione [28], tramite la tracciabilità dei prodotti e delle materie prime si possono ridurre gli sprechi, e aumentando in generale l'efficacia di processo si riescono anche a ridurre i consumi energetici.

Tuttavia, i casi in cui sono stati studiati i risultati di un implementazione della tecnologia MES, non erano finalizzati ad un miglioramento riguardo la sostenibilità. Di fatto la strategia *triple bottom line* è perseguibile mediante l'infrastruttura MES, ma deve risultare come obiettivo ultimo, bisogna quindi andare a modificare i vari obiettivi che si vogliono ottenere. Ad esempio, la riduzione dei costi di produzione si traduce in una riduzione degli scarti; l'ottimizzazione dell'agilità produttiva si traduce in una programmazione dinamica e, in ultima analisi, in una maggiore efficienza energetica; l'aggiunta di funzionalità di tracciabilità e conformità alle normative si traduce in prodotti di qualità superiore. Tutte queste considerazioni rientrano nelle categorie più ampie della sostenibilità: gestione dell'ambiente, prosperità economica e responsabilità sociale.

I casi applicativi infatti hanno dimostrato come una volta che si è implementata l'infrastruttura MES, la sua gestione dei dati in tempo reale, che garantiscano un monitoraggio pressoché costante, sia ai prodotti che alle strutture/facilities, garantisce non solo una riduzione dei materiali scartati, ma anche una riduzione dei rifornimenti dei pezzi di ricambio grazie ad interventi programmati che garantiscono un miglior rateo di guasto.

Anche per quanto riguarda il livello dei consumi energetici, si possono avere dei vantaggi, come conseguenza dell'efficientamento dei processi ed la riduzione dei tempo morti di produzione e , anche in questo caso, ad un miglior monitoraggio delle macchine che, così, possono mantenere i loro livelli di efficienza.



*Figura 17 – Un approccio integrato per l’ottenimento di sostenibilità*

La Figura 17 mostra un esempio di come un sistema integrato, di EMS, MES, valutazione con l’OEE e un sistema di monitoraggio (SCADA per esempio) possa essere sufficiente al soddisfacimento di strategie atte all’implementazione di piani di sostenibilità di produzione all’interno delle realtà industriali.

Per soddisfare queste richieste a lungo termine sarà necessario che gli obiettivi di sostenibilità vengano inseriti nella strutturata esistente per lo sviluppo dei requisiti MES. Fino ad allora, è chiaro che i software MES hanno la capacità di essere utilizzati per perseguire gli obiettivi di sostenibilità con poche o nessuna modifica. Per utilizzare meglio questa capacità, le aziende manifatturiere devono cambiare prospettiva e inserire gli obiettivi di sostenibilità nei loro requisiti funzionali MES.

## 4 CASO STUDIO 1: AZIENDA VITIVINICOLA

Come casi studio, era necessario, prendere una serie di aziende che in qualche modo necessitassero, dapprima, l'ausilio nel MES e di valutazione del classico OEE. Questo evidenzia come la ricerca di un calzante soggetto per lo studio doveva soddisfare certe caratteristiche, tipiche delle industrie manifatturiere:

- Alta produttività
- Alti standard richiesti
- Necessità di tracciabilità dei prodotti

Con queste condizioni, da quello che abbiamo potuto apprendere dai capitoli precedenti, l'utilizzo del MES presenta i massimi vantaggi.

Per questo motivo si sono scelte aziende del settore manifatturiero, del settore alimentare e delle bevande. Proprio di quest'ultimo settore fa parte l'azienda presa come primo caso studio.

### 4.1 Presentazione del processo produttivo

Il caso dell'azienda vitivinicola rappresentava un'ottima opportunità per sfruttare e verificare l'applicabilità sia di metriche di tipo produttivo (OEE), sia di tipo energetico. Lo stabilimento preso in esame presenta ben due linee produttive, una per la produzione di vino, l'altra per lo spumante. In questa prima fase ci concentreremo unicamente sulla linea produttiva dedicata alla produzione di vino. Questa si organizza in varie macchine, come illustrato in Figura 18, per la corretta produzione del prodotto finito. Nella linea in esame viene prodotto vino in due formati differenti, in bottiglia oppure in cartone, i dati a disposizione erano attinenti alla produzione in cartone.

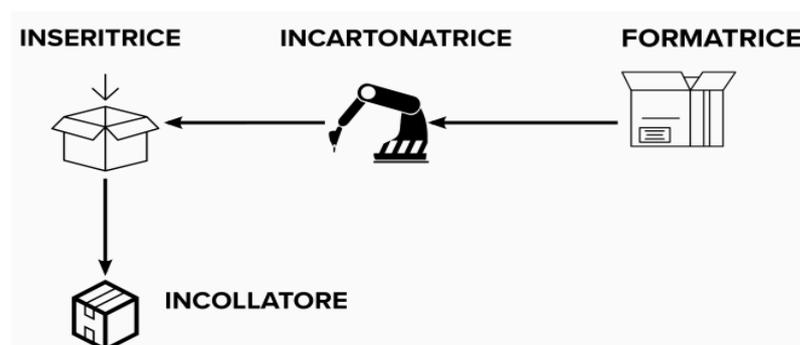


Figura 18 - Linea vini

La linea è così costituita:

- 1- Formatrice, macchina che prende il cartone schiacciato, e lo manovra per renderlo di forma cubica;
- 2- Incartonatrice, inserisce il prodotto nelle scatole per il suo trasporto e successiva vendita;
- 3- Inseritrice, inserisce gli elementi di protezione dei vari prodotti all'interno delle scatole per il trasporto;
- 4- Incollatore, si occupa della chiusura delle scatole.

Prima di continuare l'analisi è necessario anticipare come questo caso studio sia anomalo rispetto agli altri. Infatti questo caso studio si è rilevato essere inadatto ad un'analisi mediante MES o le metriche definite. Tuttavia è stato inserito nell'elaborato finale con lo scopo di fungere come riferimento per applicazioni future. Saranno definite quindi gli step e le condizioni per una corretta esecuzione del monitoraggio di questo tipo.

## 4.2 Analisi dati

I dati a disposizione erano inerenti alla produzione di ciascuna macchina con frequenza oraria. L'orizzonte temporale a disposizione era di circa dieci mesi, dal primo gennaio 2022 al tredici ottobre 2022. La prima fase è stata quella di pulire dei dati, infatti, erano presenti valori mancanti (N.A. not available) all'interno del set di dati.

Durante la procedura si è dovuto anche tenere conto di certi errori presenti nel dataset, dovuti probabilmente ad un problema con il sistema di acquisizione dei dati, che ha portato ad avere dei valori mancanti. Tenuto conto di tutto ciò si è potuto andare ad effettuare una seconda fase di pulizia ed analisi dei dati, aiutata da rappresentazioni grafiche per facilitare l'individuazione di valori anomali e non coerenti all'interno del dataset, i così detti outliers<sup>4</sup>.

Dopo queste procedure, il risultato è stato quello di avere un dataset di dati da analizzare e da valutare mediante le metriche mostrate in questo elaborato. In Figura 19 - Produzione oraria della macchina formatrice Figura 19 viene mostrato l'andamento del volume produttivo per la sola macchina formatrice, per l'intero periodo disponibile.

---

<sup>4</sup> Outliers, si definisce tale, un valore estremo che si allontana in modo singolare e anomalo dalla media dei restanti dati, la loro considerazione all'interno di un'analisi dati può essere nociva per una corretta classificazione e caratterizzazione di un sistema studiato [30].

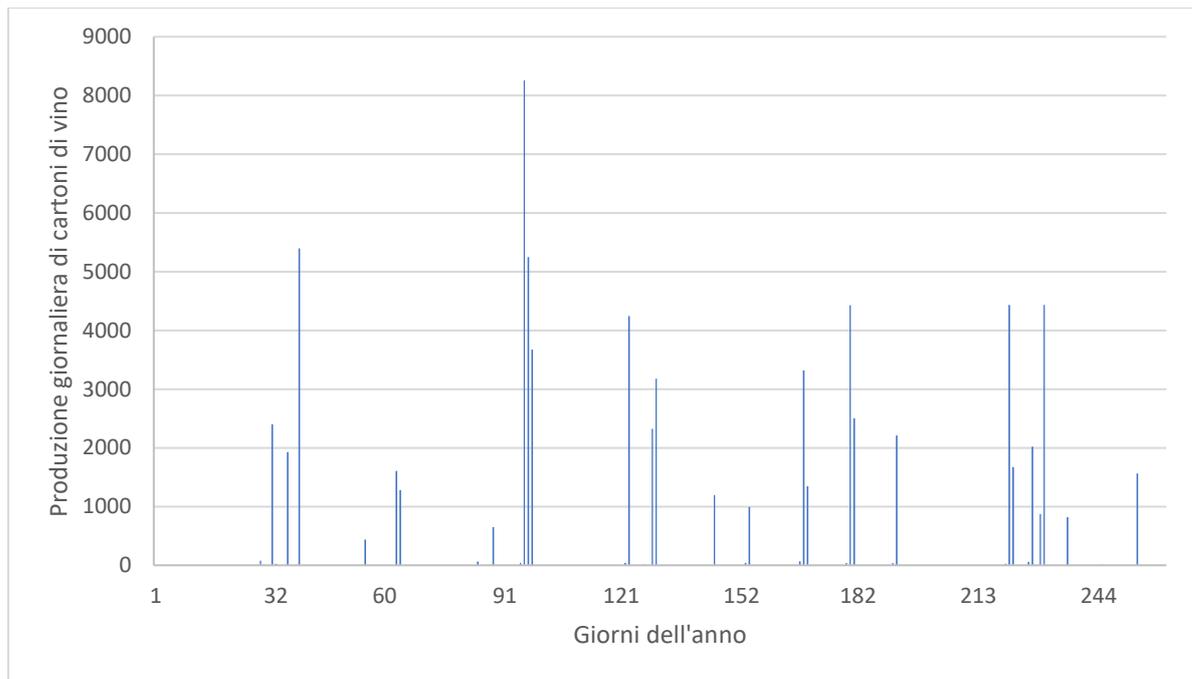


Figura 19 - Produzione oraria della macchina formatrice

Come si può cogliere dalla rappresentazione grafica l'andamento della produzione, questa è tutt'altro che continua. Un'indagine più approfondita ha mostrato come tale andamento fosse presente anche nei livelli di produzione delle altre macchine. Questo andamento di fatto è caratteristico dell'intera linea produttiva che non rende disponibili, quindi, dati continuativi per l'analisi dell'efficacia della produzione.

#### 4.3 Fattibilità del monitoraggio

In considerazione dell'analisi dei dati raccolti non risulta perciò applicabile il tipo di studio che questa tesi di laurea si prefigge. Per riuscire ad individuare un trend significativo sulla produttività, e in seguito sull'efficienza energetica, infatti, risulta indispensabile disporre di un grande volume di dati continuativi. Questo è necessario per poter definire le caratteristiche, il comportamento normale ed anomalo del modello studiato. Lo scopo finale quindi sarebbe l'individuazione di variazioni dal modello consono, o standard, tramite l'output delle metriche definite (OEE ed EOEE) con la successiva individuazione della causa e sua correzione.

Volendo anche fare un'indagine più concentrata a livello mensile il problema rimane per questo caso studio, infatti, il massimo orizzonte temporale che si riesce ad ottenere di dati continuativi risulta essere di una settimana lavorativa.

È evidente come tale volume di informazioni sia insufficiente per poter apprezzare variazioni

nella linea produttiva, o meglio, è insufficiente per determinare quando queste variazioni avvengono e come queste possano essere causate.

In conclusione si può affermare come tale caso studio, pur non permettendo un applicabilità delle metriche di monitoraggio, garantisce un ottimo spunto per chiarire i vincoli necessari da rispettare. Viene qui mostrato un diagramma di flusso che non solo mostra gli step da controllare prima di un possibile monitoraggio mediante software MES ma anche possibili soluzioni per le specifiche problematiche.

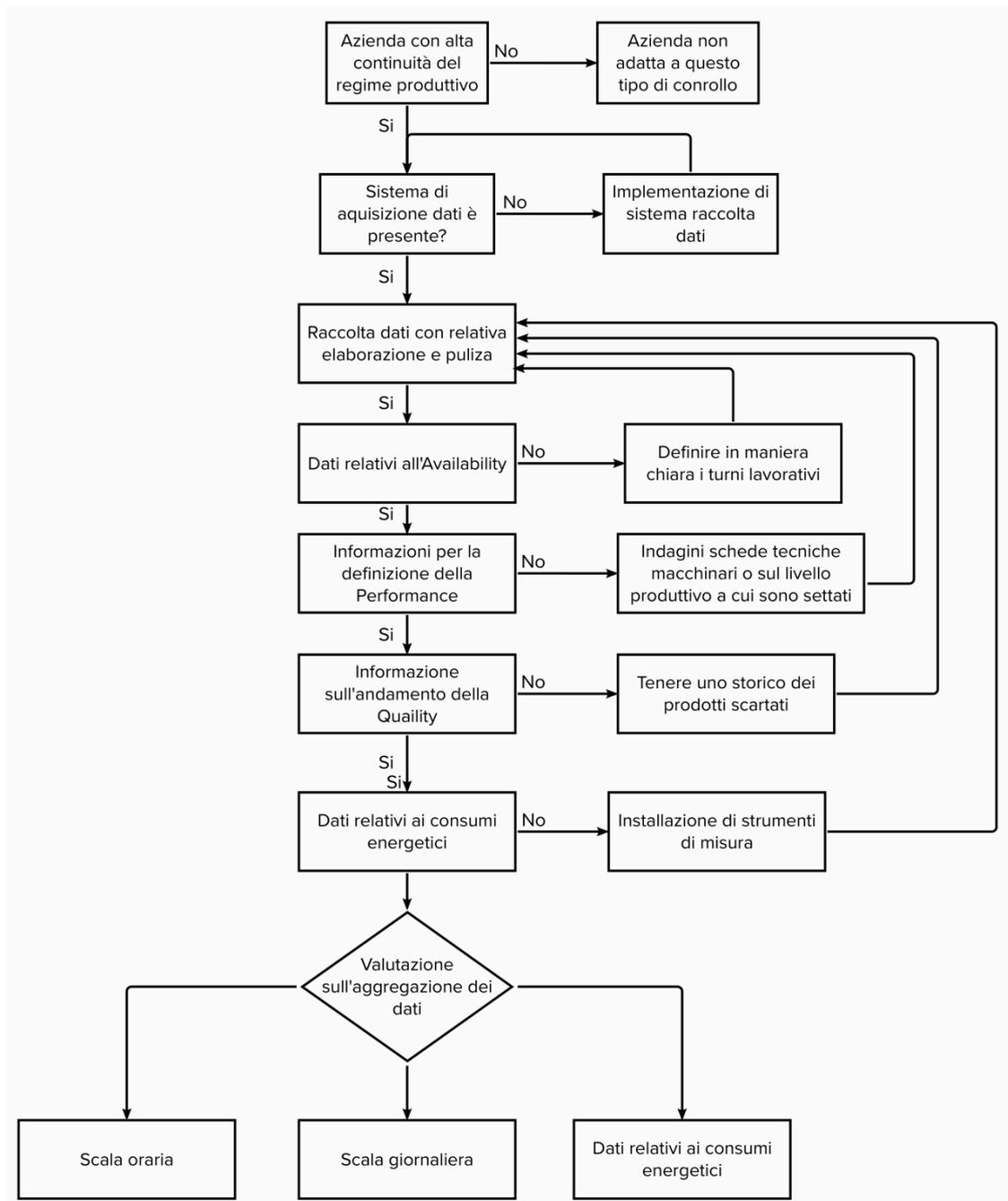


Figura 20 - Diagramma di flusso sugli step metodologici per l'applicazione del monitoraggio

## 5 CASO STUDIO 2: AZIENDA PRODUTTRICE DI ACETO

### 5.1 Presentazione del processo produttivo

L'azienda presa in esame come caso studio è produttrice da anni nell'ambito della produzione di aceto. I dati a disposizione prendevano un ampio orizzonte temporale, partendo dal 2020 fino a settembre 2022.

La lavorazione dell'aceto balsamico modenese avviene tramite un processo di miscelazione in due fasi di tre materie prime: aceto di vino, mosto d'uva (concentrato e/o cotto) e caramello.

Il processo è così composto, dopo la fase di arrivo delle materie prime ed il loro apposito stoccaggio, avviene la fase di miscelazione tra l'aceto di vino ed il mosto d'uva. Il prodotto così ottenuto viene travasato in tini di legno per la fase di invecchiamento, che dura almeno 60 giorni. Al termine della fase di invecchiamento, la miscela viene travasata per la seconda fase di miscelazione, in cui viene aggiunto caramello per la creazione finale del prodotto. Il prodotto finale così ottenuto è, dunque, stoccato in ulteriormente per il controllo qualità. In seguito il prodotto è inviato, debitamente filtrato, alla linea di imbottigliamento.

In Figura 21 è riportato uno schema riassuntivo del processo di produzione dell'aceto.

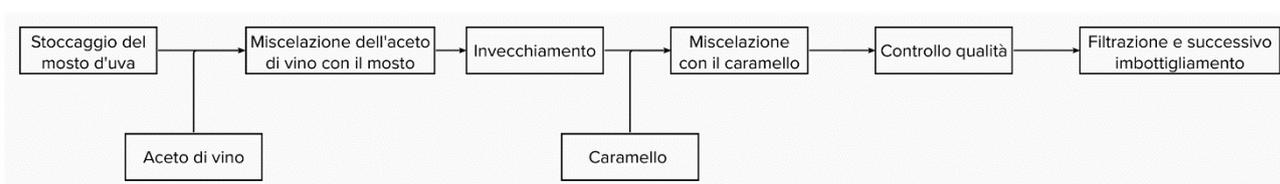


Figura 21 - Schema del processo di produzione dell'aceto

I livelli produttivi, analizzati in questo caso studio, sono riferiti alla linea di imbottigliamento e per prodotto finito pronto si considera la bottiglia da un litro di aceto, mentre i dati energetici sono riferiti alla macchina soffiatrice, che ha la funzione di lavare e successivamente asciugare le bottiglie per garantire un corretto fissaggio dell'etichetta. Anche se la produzione è valutata a livello di linea, la macchina soffiatrice è un elemento fondamentale del processo di imbottigliamento da cui obbligatoriamente deve transitare la produzione. Perciò i dati di produzione e di consumo energetico sono coerenti tra loro.



*Figura 22 – Soffiatrice*

In questo caso studio ci si andrà a muovere come in precedenza, cercando di analizzare i dati a disposizione, tramite delle rappresentazioni grafiche, per una valutazione preliminare sulla fattibilità dello studio.

## 5.2 Anno 2021

### 5.2.1 Analisi dati

Come fatto in precedenza, partendo dai dati relativi all'anno 2021, si sono subito eliminati i dati mancanti (N.A.) in modo tale da avere un data set più pulito possibile. Inoltre dopo una rapida scrematura di qualche valore fuori target e quindi considerato outliers, si ha avuto un set di dati che potesse essere lavorato e studiato tramite le metriche spiegate nei precedenti capitoli. Già i dati di partenza, comunque erano molto solidi presentando sia pochi N.A. che un paio di outliers.

Si è seguita la stessa metodologia, usata in precedenza per verificare un volume produttivo, ed una sua costanza, tale che potessero giustificare avvio dell'indagine desiderata. Qui di seguito viene quindi proposto il grafico dell'andamento della produzione giornaliera per l'intero anno 2021.

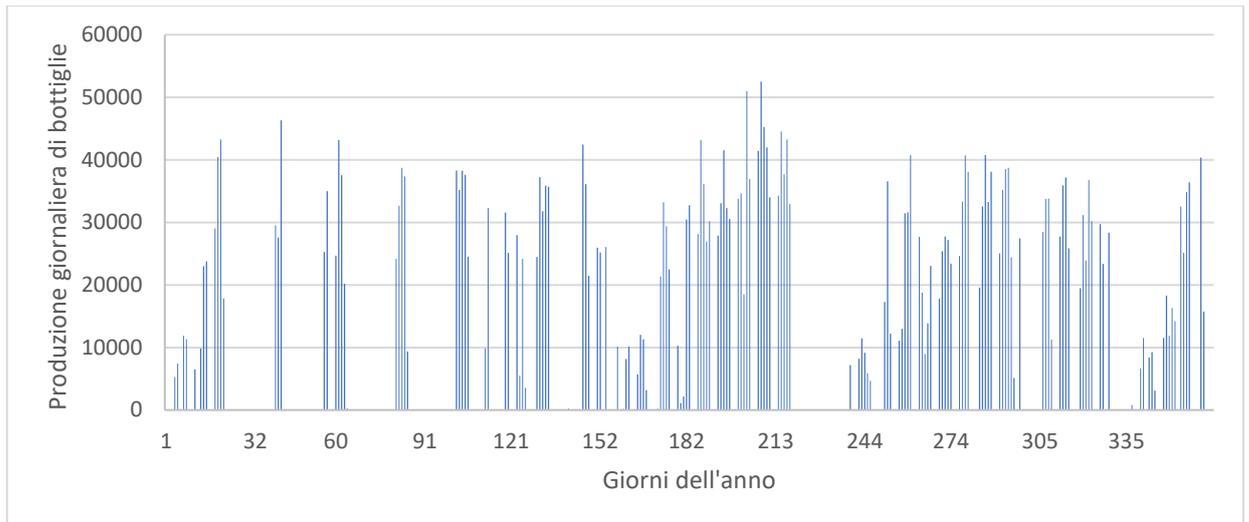


Figura 23 - Produzione bottiglie di aceto per l'intero anno 2021

L'andamento mostrato è senz'altro più incoraggiante di quello visto per il primo caso studio. In questo caso, nonostante un'interruzione periodica della produzione nei primi mesi dell'anno, il monitoraggio del volume produttivo sembra costante e suggerisce come sia valido proseguire l'indagine.

Con un'indagine più approfondita, inoltre si è andati a cogliere i tempi effettivi di lavoro di queste macchine, la tecnica usata è stata di tipo grafico ed ha previsto l'uso del carpet plot:

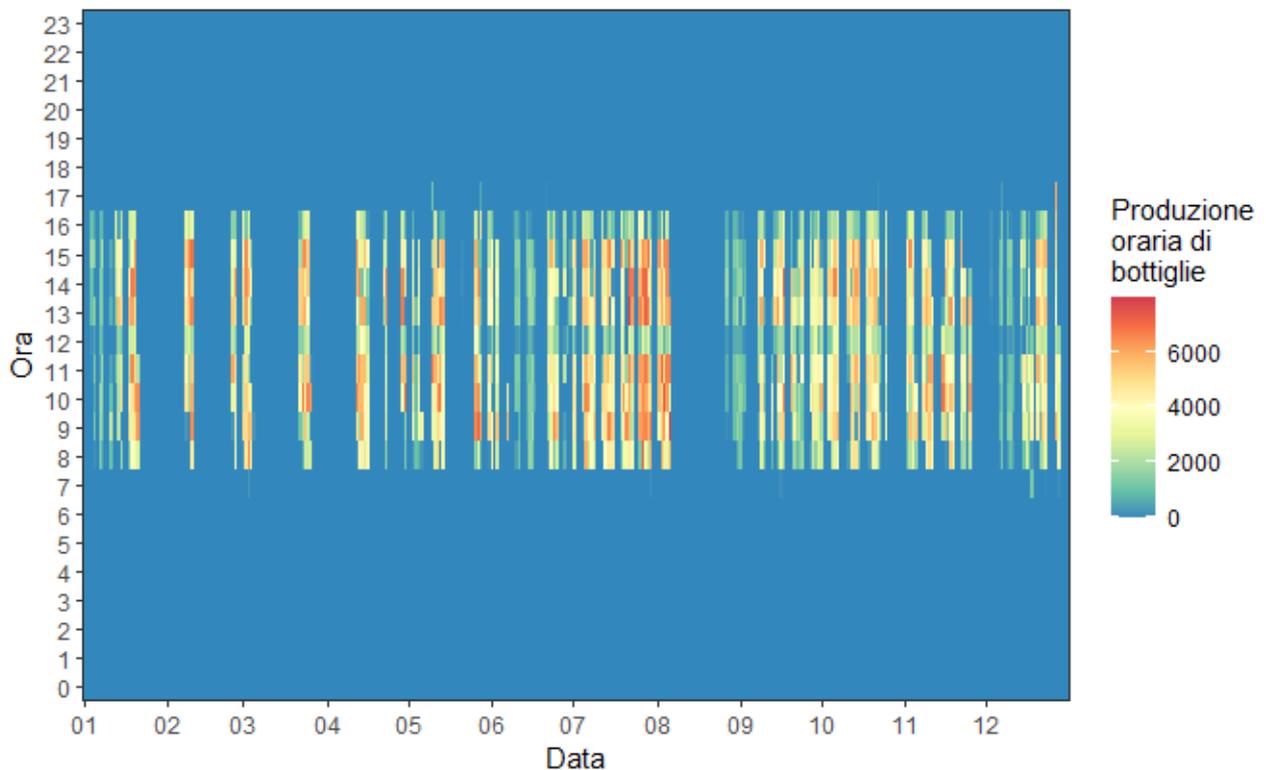
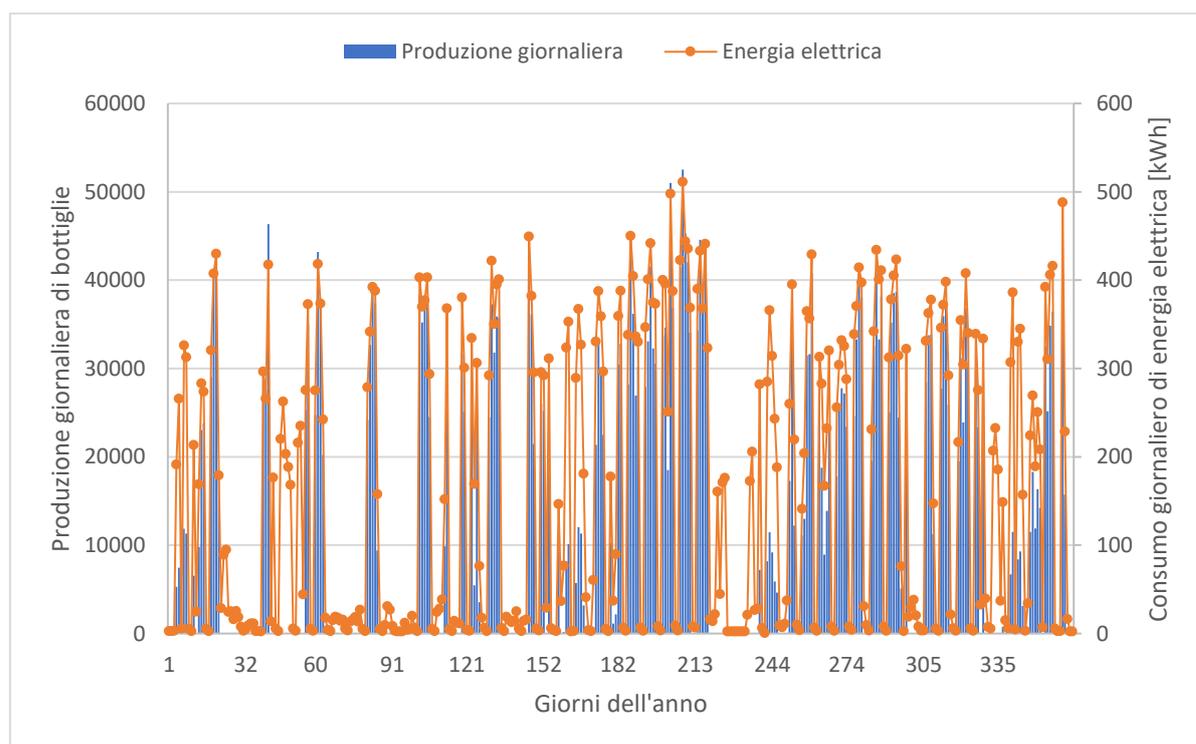


Figura 24 - Carpet plot dei livelli produttivi orari nel 2021

Tramite questo tipo di analisi grafica si possono cogliere in maniera più efficiente gli orari di lavoro. In generale si può affermare come il classico orario preveda l'inizio del turno lavorativo alle 8, con qualche raro caso di anticipo della produzione alle 7. Non sembra esserci alcuna interruzione di produzione, ma solo una sua riduzione, a metà giornata per la pausa pranzo. Infine l'orario di conclusione dell'attività lavorativa è impostato intorno alle 16, con qualche giornata in cui si prosegue fino alle 17.

Con le informazioni raccolte sulla produzione si passa ora ad introdurre i dati relativi ai consumi energetici. Come detto in precedenza, dati di questo tipo sono disponibili solo per la macchina soffiatrice, la quale sfrutta unicamente l'energia elettrica prelevata darette come sorgente energetica. Dopo una rapida pulizia dei dati si mostra l'andamento dei consumi durante l'anno 2021, in relazione alla produzione:



*Figura 25 - Consumo elettrico in relazione alla produzione*

L'andamento dei consumi segue in maniera precisa l'andamento della produzione, confermando come i dati relativi alla fonte energetica siano rappresentativi del processo produttivo.

Una volta rielaborati i dati e valutato fattibile l'implementazione dello studio che tale elaborato si prefigge si svolge si prosegue con l'elaborazione dei dati.

A tale fine vengo riportati le considerazioni su come sono stati definiti i parametri caratterizzanti l'OEE.

- *Availability*

Questa è stata impostata in linea generale seguendo le indicazioni fornite dalla Figura 24, impostando un orario di lavoro 8-16 senza prevedere una pausa pranzo. Per i sporadici casi in cui l'orario di inizio e fine lavorazione prevedevano degli slittamenti, in quel caso sono stati fatti degli aggiustamenti, allargando la finestra di effettiva operatività dello stabilimento.

- *Performance*

Per questo parametro era necessario definire il valore di produzione di target, in modo tale da poter calcolare correttamente il parametro. Tramite un'analisi dei dati, ed una successiva conferma da parte del responsabile della produzione dell'azienda si è valutato di impostare il valore di riferimento pari a 6000 bottiglie prodotte all'ora.

- *Quality*

Per questo parametro, invece non si avevano informazioni riguardanti al rateo di prodotti scartati. In maniera cautelativa si è deciso di impostarlo costante e pari a 98% garantendo così il fatto che tale parametro non inficiasse il risultato finale relativo all'OEE.

- *KPI*

Quest'ultimo parametro invece è stato definito prendendo il valore minimo di consumo specifico, considerando però l'intero periodo di dati disponibili, anche il 2022. Questo perché ogni qualvolta che il consumo specifico misurato risulta essere minore del precedente valore minimo, questo deve essere aggiornato. Inoltre in questo modo la comparazione tra i due anni avrà una maggiore efficacia.

Tutti i dati a disposizione erano a campionamento orario, tuttavia per una più chiara interpretazione dei dati ed una successiva loro elaborazione si è preferito definire i vari parametri su base giornaliera.

Nel prossimo paragrafo vengono mostrati commentati i risultati ottenuti.

## 5.2.2 Risultati

I risultati che vengono mostrati nella Figura 26, sono relativi all'analisi dei dati aggregati a livello giornaliero. Il monitoraggio proposto era a frequenza oraria per l'intero anno. Si può apprezzare quindi l'andamento dell'efficacia del processo per ogni giorno di funzionamento e anche l'andamento del KPI energetico con la stessa frequenza. La rappresentazione a livello orario era poco apprezzabile dispersiva a livello di informazioni. In seguito poi verrà fatta anche un'aggregazione dei vari risultati per cogliere meglio le variazioni in base a fattori come la stagionalità e per una più chiara interpretazione dei risultati.

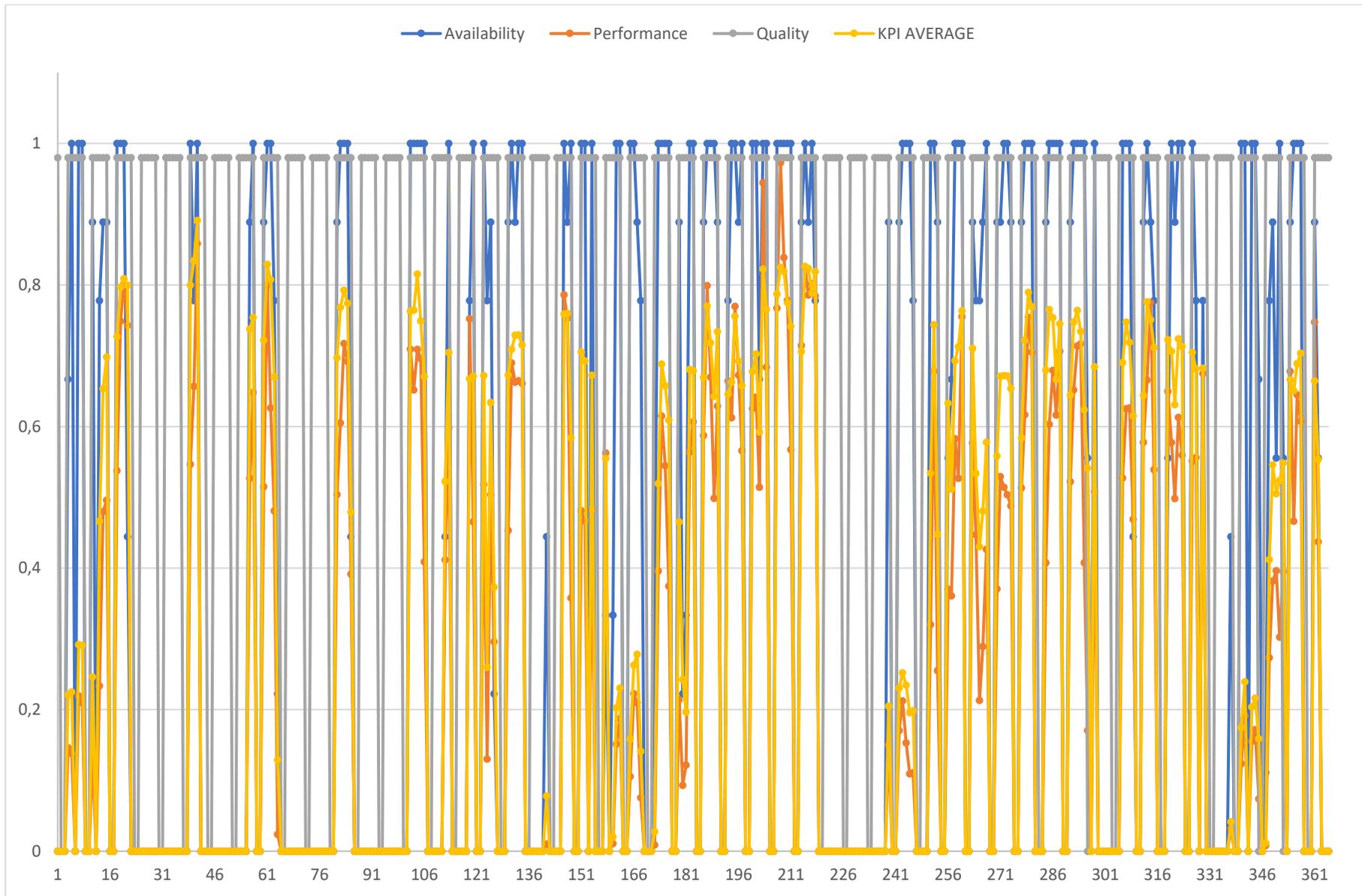


Figura 26 - Rappresentazione dell'andamento dei parametri caratterizzanti l'OEE e l'EOEE per il 2021

Per quanto sia utile avere una rappresentazione, dettagliata, degli andamenti dei vari parametri è giusto anche riportare l'andamento delle metriche finali di valutazione che identificano lo stato reale di funzionamento della macchina.

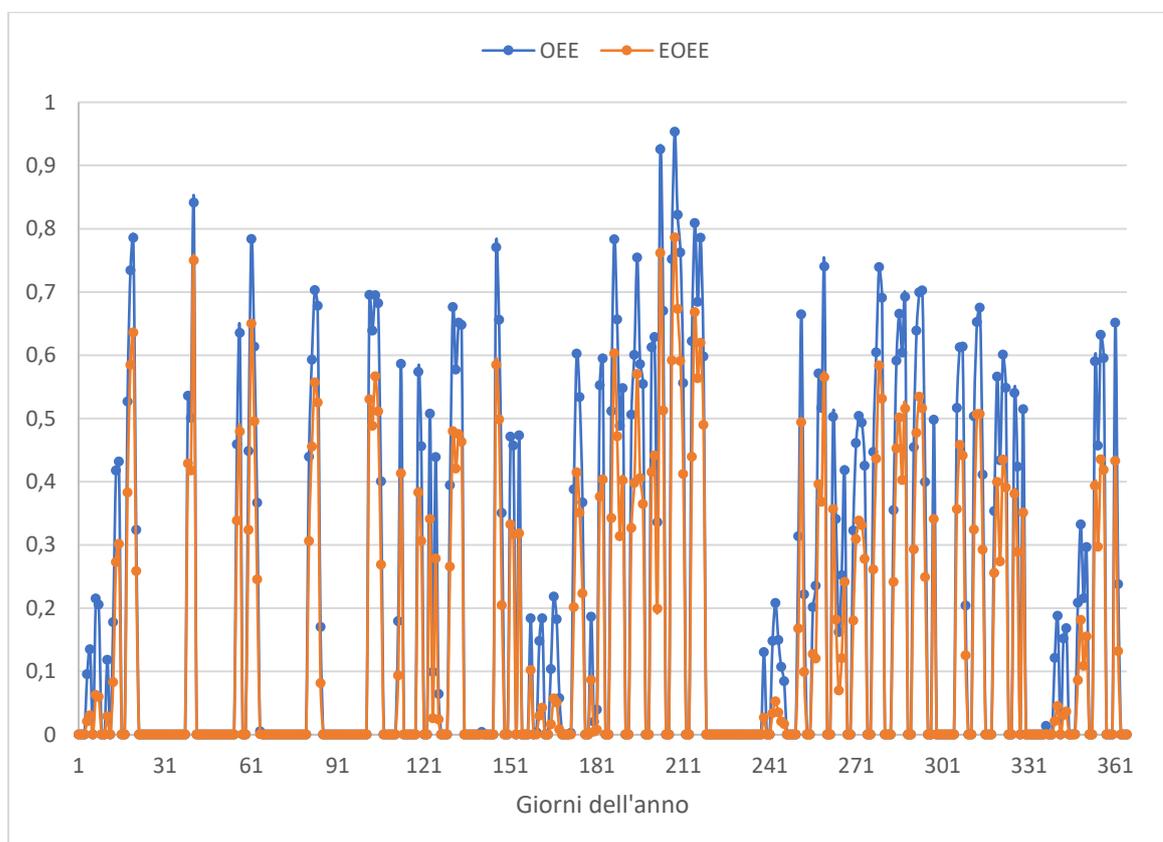


Figura 27 - Andamento giornaliero dell'OEE e dell'EOEE

Come si può apprezzare dalla figura precedente, l'andamento dell'efficacia della produzione, descritto dall'OEE, ed anche l'andamento dell'EOEE hanno un andamento simile. Al fine, però di poter trarre delle conclusioni sullo stato della macchina e su come questo varia nel tempo si è deciso di effettuare un'analisi aggregata su base mensile, in questo modo si possono apprezzare variazioni che possono dipendere dalla stagionalità, che nel caso di industrie alimentari, come in questo caso, possono essere un fattore determinante.

Nelle pagine successive vengono mostrati gli andamenti dell'OEE e dell'EOEE con frequenza mensile e confrontanti con l'andamento della produzione.

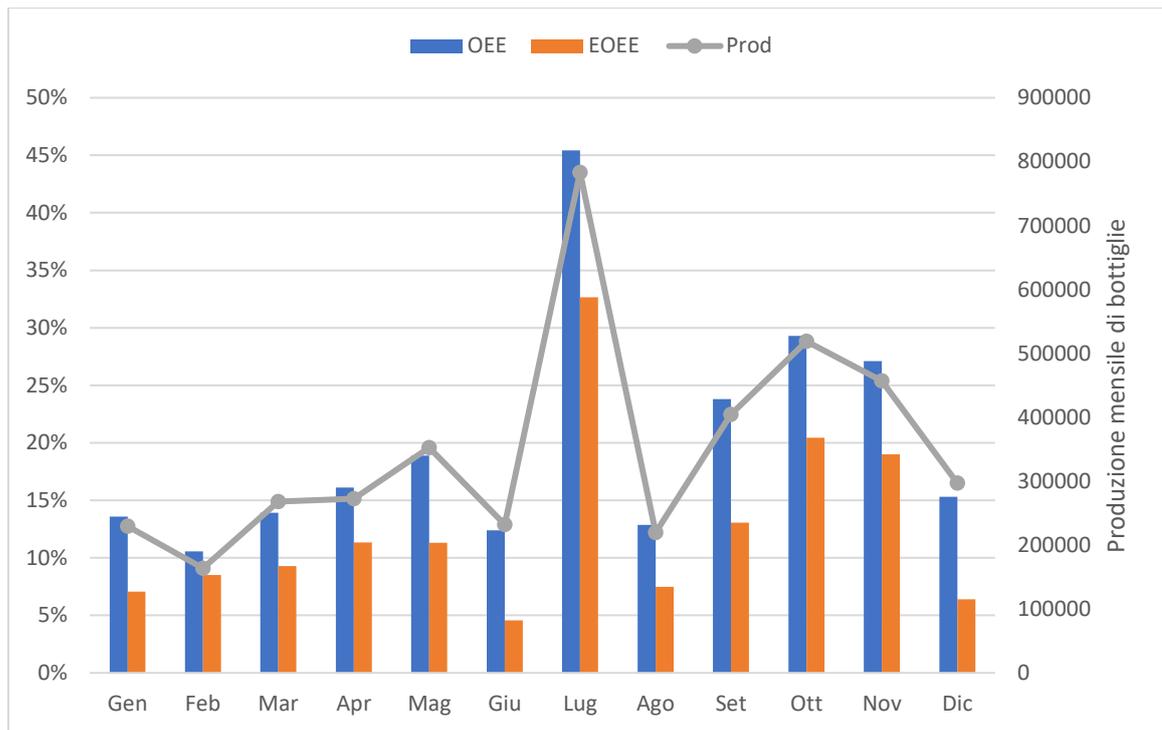


Figura 28 - Andamento mensile dell'OEE e dell'EOEE in confronto con la produzione per l'anno 2021

L'andamento delle due metriche, per le prestazioni della macchina, dimostrano ancora una volta, come la variabilità dei volumi produttivi, influisca anche sulla valutazione finale dell'efficacia produttiva. A parte il primo periodo dell'anno che era già stato evidenziato come periodo di bassa produttività tramite un'analisi critica riferita alla Figura 23, anche la seconda metà dell'anno non risulta particolarmente più produttiva

Unico mese ad avere valori sostanzialmente migliori rispetto al resto dell'anno è proprio il mese di Luglio. Di conseguenza anche i valori di OEE ed EOEE salgono, ma rimangono bassi. Ricordiamo che un Valore di OEE accettabile dovrebbe almeno essere superiore all'80%, in questo caso si supera di poco il 45%.

Vengono riportati anche i valori tabulati della produzione consumo energetico e dei vari parametri.

Tabella 11 - Valori dei parametri caratterizzanti la macchina soffritrice per l'intero anno 2021 a frequenze mensile

	Availability	Performance	Quality	KPI	OEE	EOEE	Bottiglie prodotte	Energia elettrica [kWh]
Gen	34%	41%	98%	52%	14%	7%	229.656	3.757
Feb	17%	65%	98%	80%	11%	8%	163.775	3.423
Mar	27%	54%	98%	67%	14%	9%	268.316	3.150
Apr	27%	60%	98%	70%	16%	11%	272.805	3.257
Mag	39%	50%	98%	60%	19%	11%	352.569	4.343
Giu	47%	27%	98%	37%	12%	5%	232.345	4.541
Lug	68%	68%	98%	72%	45%	33%	783.301	8.706
Ago	24%	56%	98%	58%	13%	7%	219.648	3.975
Set	60%	40%	98%	55%	24%	13%	404.297	5.744
Ott	52%	58%	98%	70%	29%	20%	518.953	6.045
Nov	47%	59%	98%	70%	27%	19%	457.106	5.772
Dic	46%	34%	98%	42%	15%	6%	297.102	5.378

Di seguito sono riportati gli andamenti grafici dei parametri di Availability, Performance e KPI in relazione alla produzione. La Quality è stata esclusa dalla rappresentazione essendo un parametro costante impostato forzatamente.

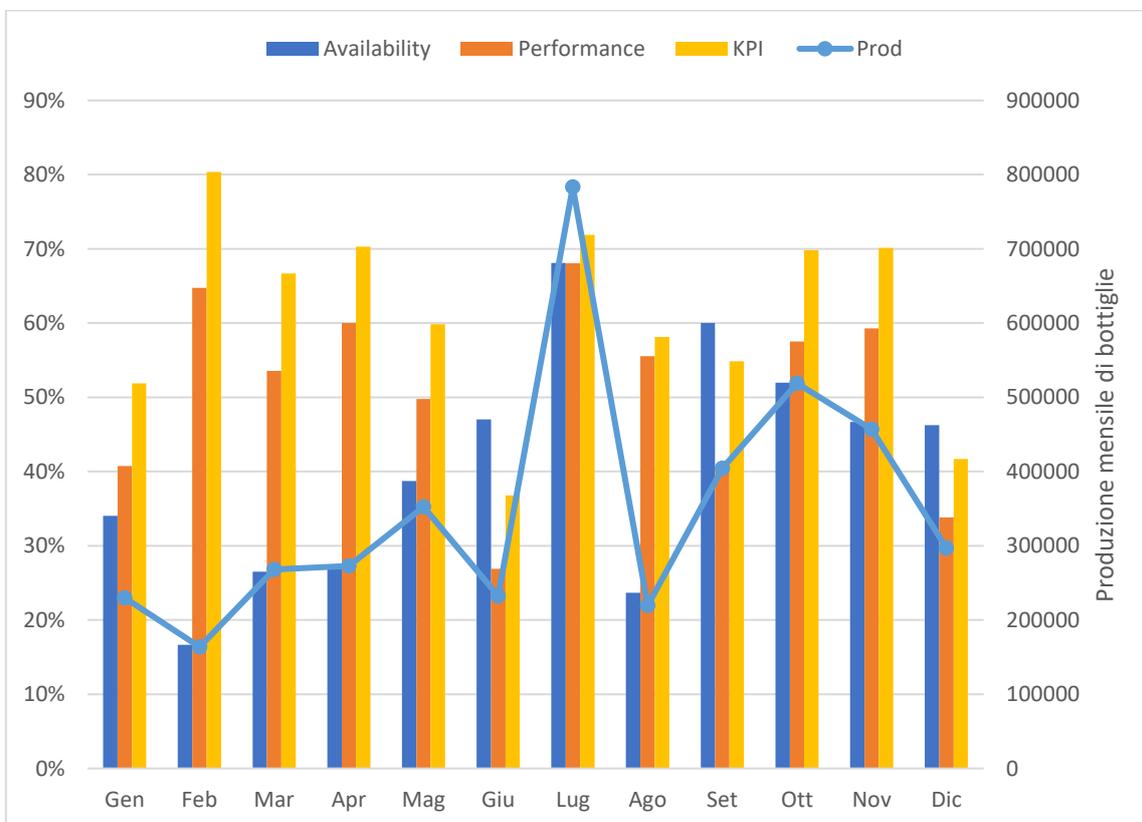


Figura 29 - Andamento della A, P e del KPI in funzione della produzione a frequenza mensile per il 2021

Da questa rappresentazione si ha più chiaro quali sono le criticità che influiscono negativamente sulle prestazioni della macchina.

- Availability

È senz'altro il parametro più impattante, infatti in questo modo si comprende appieno come può incidere la mancata produzione sull'efficacia di un sistema produttivo. Una possibile motivazione a questo stato poco attivo potrebbe risiedere in una riduzione di commesse e di attività per gli effetti delle limitazioni dovute al COVID. Un confronto con l'anno 2022 potrà di certo confermare o ribaltare tale ipotesi.

- Performance

È il parametro con l'andamento meno prevedibile. Tendenzialmente segue l'andamento della produzione ma vi sono casi come Febbraio in cui ad un calo della produzione rispetto ai mesi di Gennaio si riscontra un suo aumento. Ed anche Giugno ed Agosto, pur presentando livelli produttivi tutto sommato analoghi, gli indici di performance variano di più di 20 punti percentuali.

- KPI

In questo caso, il KPI energetico è l'elemento più performante tra le metriche utilizzate nella macchina. Si mantiene quasi sempre sopra il 50%, tranne per i mesi di Giugno e Dicembre. Prendendo come riferimento il mese di Dicembre si può notare come presenti un volume produttivo molto simile a quello riscontrato per i mesi di Marzo e Aprile. Lo scarto però nella valutazione del KPI segnala quindi un uso non ottimizzato del vettore energetico.

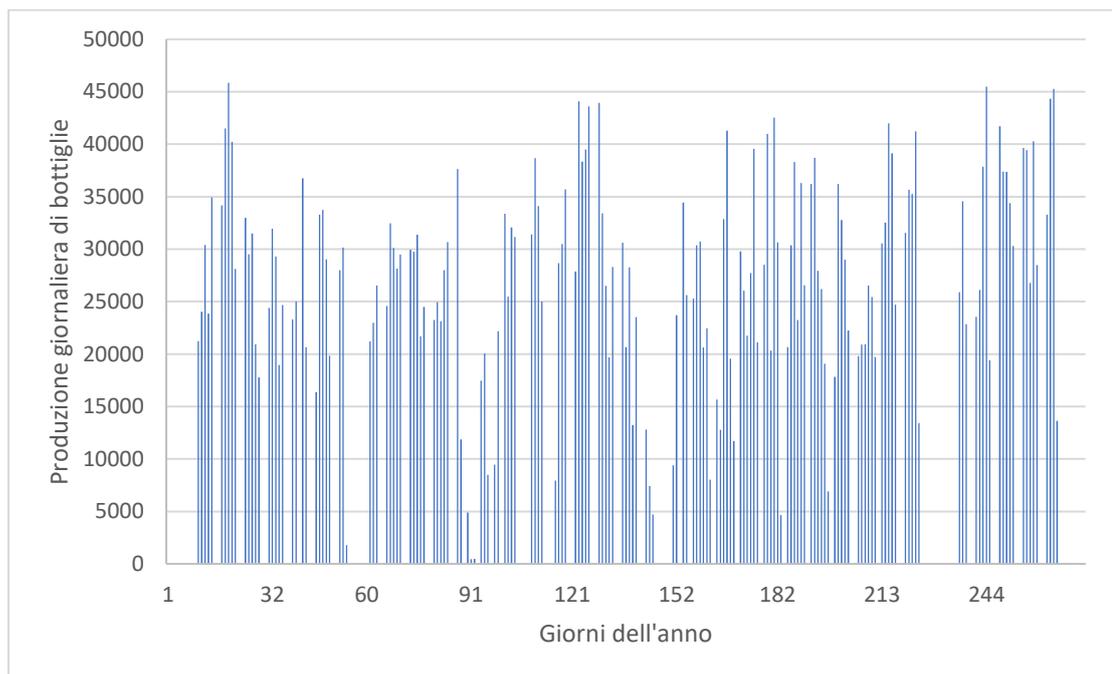
Una volta terminata l'analisi riguarda il primo anno del monitoraggio si può portare l'indagine anche al secondo periodo, 2022, con l'obiettivo di confrontare i diversi periodi e trarre delle conclusioni.

## 5.3 Anno 2022

### 5.3.1 Analisi dati

Come fatto in precedenza vengono presi i dati relativi alla produzione ed al consumo energetico della macchina soffiatrice per trattarli e ripulirli da vari errori ed outliers.

Vengono rioperate le rappresentazioni grafiche del lavoro finale di pulizia.



*Figura 30 - Produzione giornaliera di bottiglie per il 2022*

Già da questa prima rappresentazione si comprende come l'andamento della produzione sia migliorato, rispetto all'anno precedente. Pur non raggiungendo il picco massimo di produzione raggiunto nel 2021 (superiore ai 50,000 unità), il livello non cala mai per lunghi periodi di tempo ed oscilla sempre in valori ragionevolmente vicini tra loro.

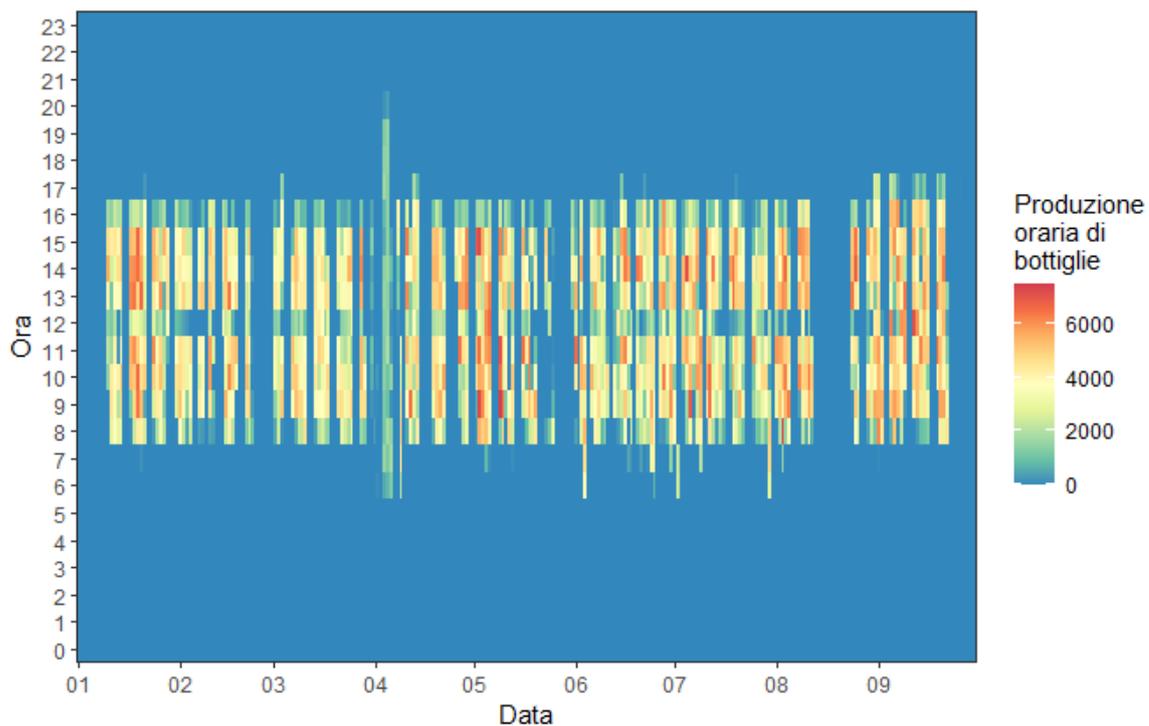


Figura 31 - Carpet plot per la produzione dell'anno 2022

Anche dalla rappresentazione carpet plot si constata un regime produttivo più uniforme rispetto a quello mostrato in Figura 24.

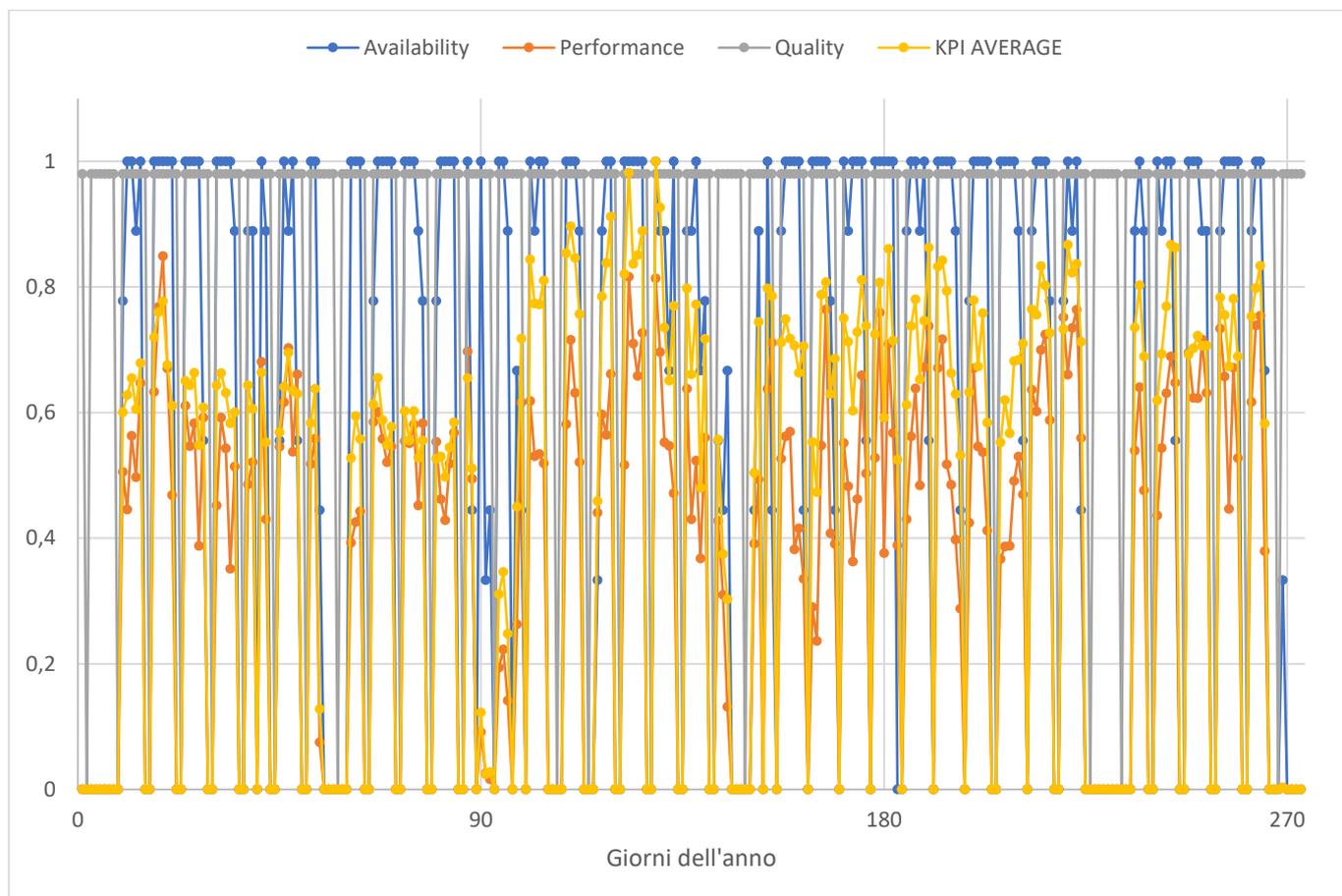
Da segnalare anche la presenza di attività produttiva in ore non previste nel 2021. Infatti si riscontra della produzione in certi i primi giorni di aprile già dalle 6 del mattino e con il termine dell'attività segnalato intorno alle 20.

Risulta superfluo riproporre l'andamento dei consumi energetici in funzione dei livelli di produzione visto il persistere del trend segnalato per l'anno 2021. I consumi energetici sono anche quest'anno in funzione del numero di bottiglie prodotte.

Le considerazioni fatte per i vari parametri *Availability*, *Performance*, *Quality* e *KPI* persistono tuttora. Preso atto di ciò si possono subito introdurre i risultati ottenuti.

### 5.3.2 Risultati

Nuovamente, per coerenza espositiva, vengono mostrati gli andamenti giornalieri dei vari parametri influenzanti l'analisi.



*Figura 32 - Andamento giornalieri dei parametri influenzanti l'OEE e l'EOEE*

Dalla figura precedente si apprezza l'andamento generale dei parametri, ma non si riescono a cogliere con chiarezza i vari trend e le loro variazioni. Si è avviata un'altra analisi di aggregazione dei risultati su base mensile per poter avere una visione più chiara di come si comporta la macchina nel tempo.

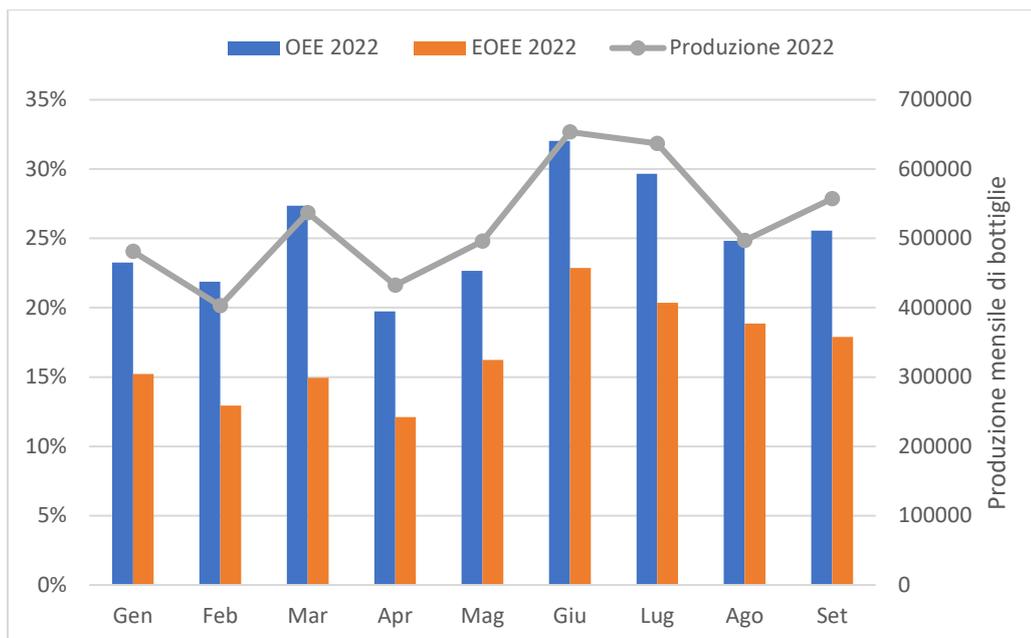


Figura 33 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE in relazione alla produzione nel 2022

La maggior costanza del volume produttivo durante l'anno ha un riscontro positivo sull'andamento dei valori dell'OEE e dell'EOEE. Nuovamente si ha che il mese più efficace dal punto di vista della produzione e dei parametri, è il mese di Giugno. Tuttavia, nonostante un globale miglioramento siamo ancora lontani dalle performance che dovrebbero essere ottenute per una valutazione positiva dell'efficacia della macchina.

Nuovamente si riportano i valori numerici dei vari parametri in relazione alla produzione ed ai consumi energetici.

Tabella 12 - Valore dei parametri influenzanti, della produzione e del consumo energetico

	Availability	Performance	Quality	KPI giornaliero	OEE	EOEE	Bottiglie prodotte	Energia elettrica [kWh]
Gen	49%	58%	82%	65%	23%	15%	481.397	5.927
Feb	50%	52%	84%	59%	22%	13%	402.798	5.408
Mar	63%	51%	85%	55%	27%	15%	537.137	7.937
Apr	53%	44%	85%	61%	20%	12%	432.535	5.523
Mag	51%	54%	82%	72%	23%	16%	495.913	5.382
Giu	74%	51%	85%	71%	32%	23%	653.479	7.245
Lug	71%	51%	82%	69%	30%	20%	637.108	7.330
Ago	47%	62%	85%	76%	25%	19%	496.833	5.276
Set	50%	60%	85%	70%	26%	18%	557.290	6.610

In conclusione si riportano anche gli andamenti con una rappresentazione grafica.

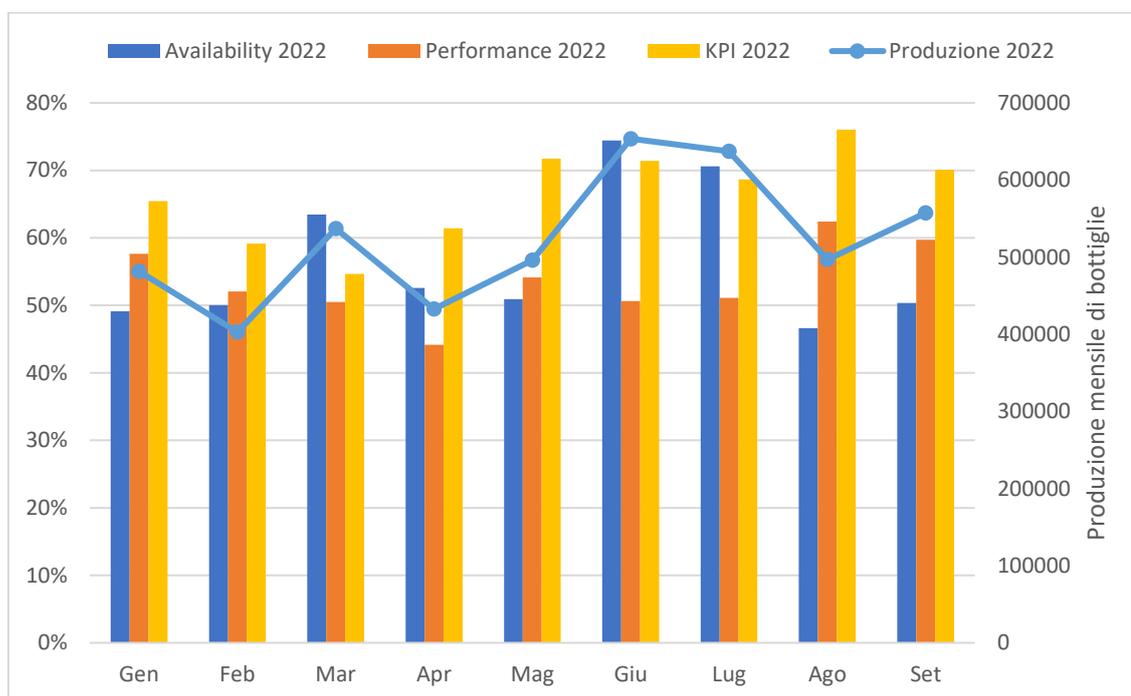


Figura 34 - Andamento della A,P e del KPI in relazione alla produzione per il 2022

Si nota subito un netto miglioramento rispetto all'anno precedente per quanto riguarda per l'Availability, che non risulta più essere l'elemento trascinante che portava ad una drastica riduzione dell'efficacia produttiva. Il resto dell'analisi è lasciata al prossimo capitolo nel quale verranno messi a confronto i due anni

#### 5.4 Confronto dei due anni

Il confronto tra i due periodi presi in esame serve per mettere in evidenza i vari cambiamenti che sono avvenuti all'interno del sistema. Che questi siano di natura gestionale, una modifica dei turni di lavoro, oppure nella produttività della macchina o ancora nelle sue prestazioni di efficienza. Il paragrafo sarà strutturato in modo tale da evidenziare il comportamento di ogni singolo parametro in relazione alla propria produzione.

Però, solo per avere a disposizione i cambiamenti macroscopici sono comparati le metriche OEE e l'EOEE. Il confronto si fermerà al mese di settembre, visto che per il 2022 i dati più aggiornati arrivano proprio fino a quella data.

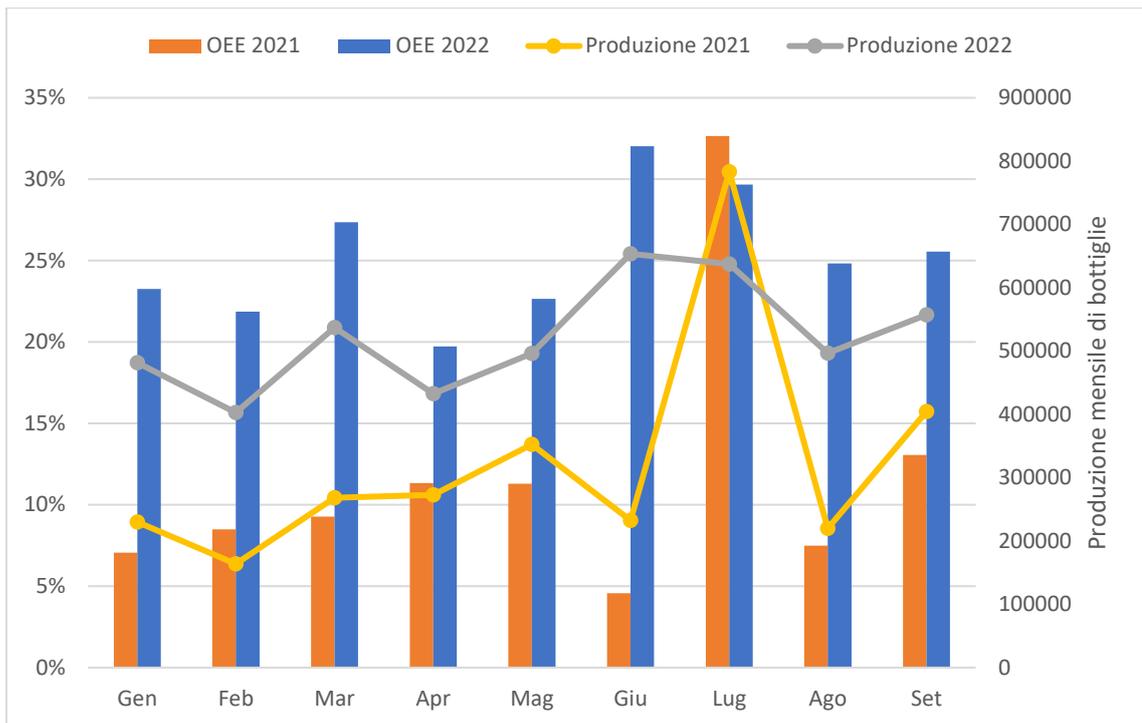


Figura 35 - Confronto valori OEE tra il 2021 ed il 2022

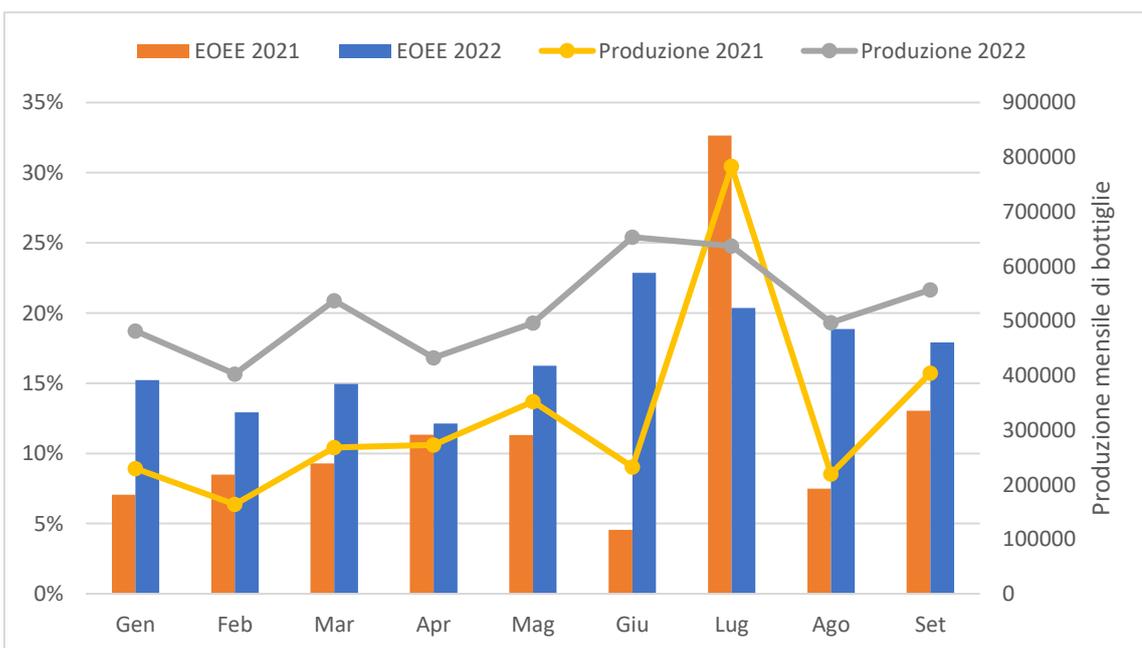


Figura 36 - Confronto dei valori EOEE tra il 2021 ed il 2022

L'andamento dei due indici e la loro differenza rispetto ai due anni di riferimento si riconferma essere cause da una forte disparità dei volumi produttivi. Tuttavia per poter cogliere appieno i cambiamenti nella gestione della macchina soffiatrice è necessario andare visualizzare l'andamento dei vari parametri influenzanti. Eccezione fatta per la Quality che essendo un parametro impostato forzatamente non necessita di ulteriori approfondimenti.

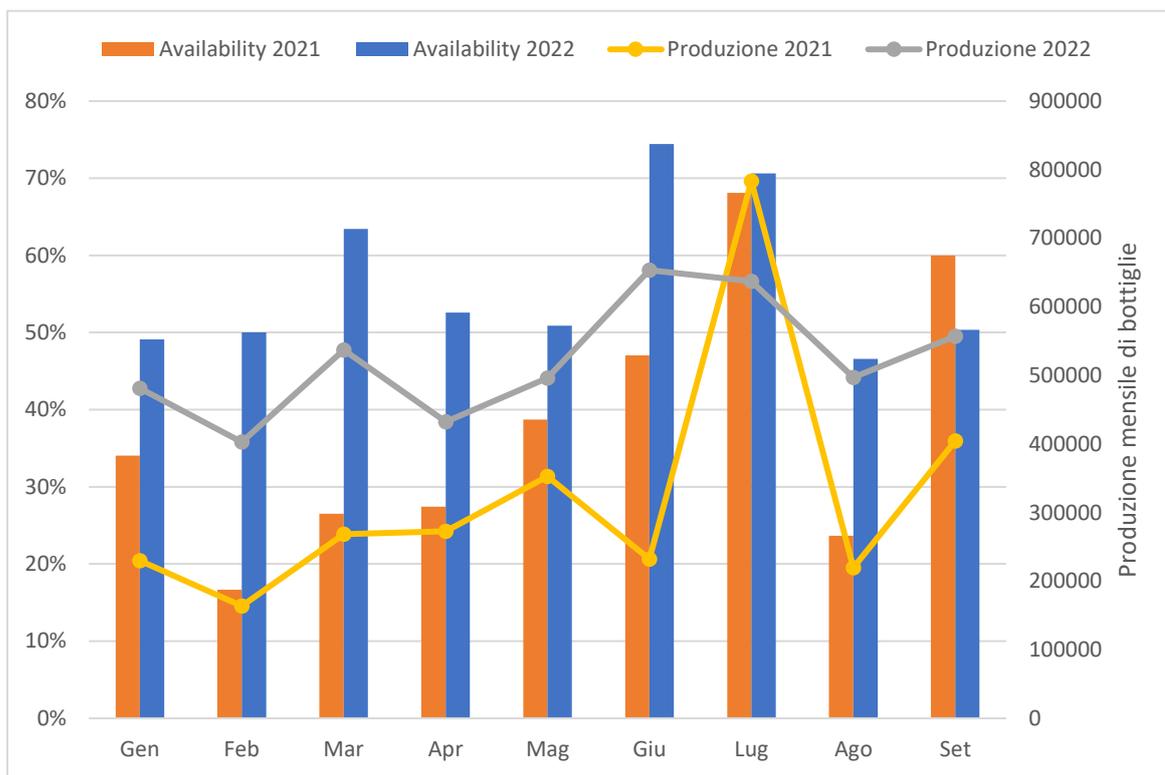


Figura 37 - Confronto valori di Availability tra il 2021 ed il 2022

Dal confronto dell'andamento dell'*Availability* è subito chiaro come ci sia stato una grande differenza di ore lavorate da parte dello stabilimento tra il 2021 ed il 2022. Nonostante il fatto che anche nel 2022 per alcuni mesi non si raggiungano neanche il 50% di disponibilità (Gennaio ed Agosto), il risultato generale che rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente si ha, praticamente, un raddoppiamento del parametro. Questo è la causa principale della maggior efficacia produttiva riscontrata tra il 2021 ed il 2022 tramite l'OEE e l'EOEE. Da segnalare anche il trend in aumento.

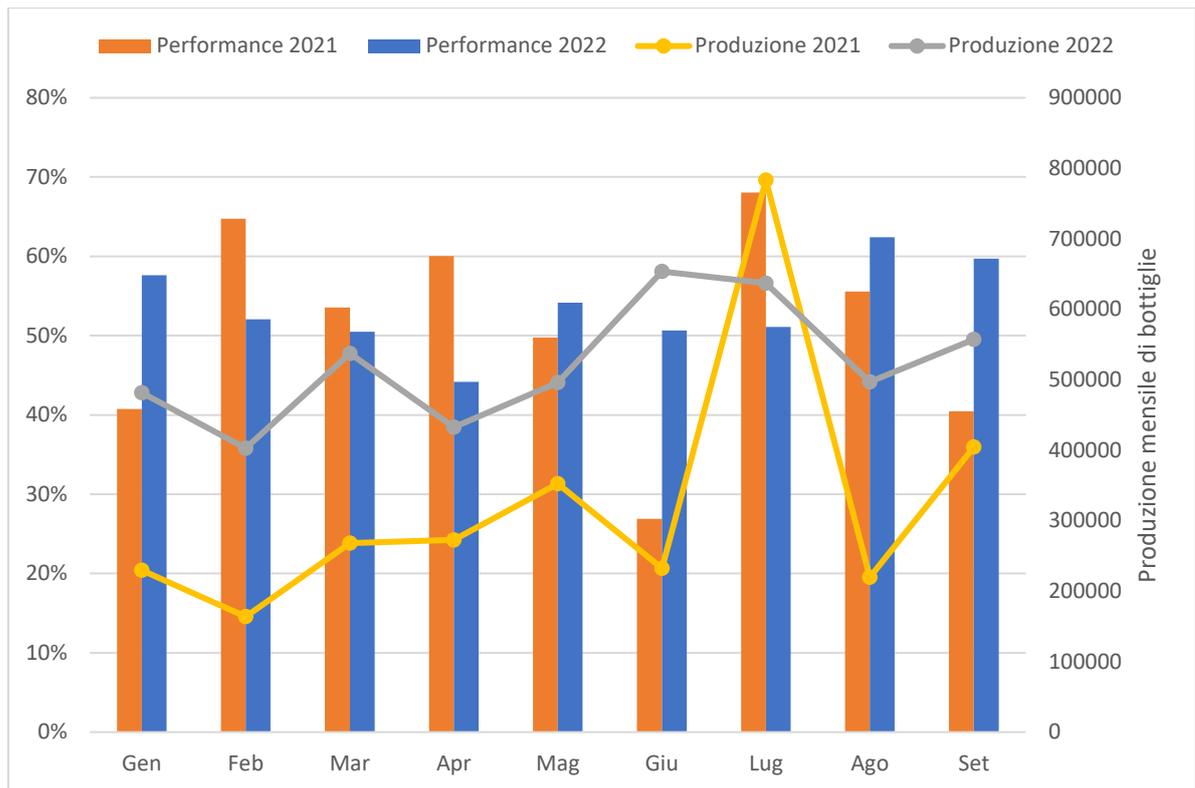


Figura 38 - Confronto valori di Performance tra il 2021 ed il 2022

I valori rappresentati in Figura 38, sono rappresentativi dell'andamento della *performance*. Rispetto a prima qui l'andamento è meno prevedibile guardando unicamente l'andamento della produzione. Prendendo il caso di febbraio, nel 2021 si ha avuto una produzione decisamente inferiore rispetto a quella sostenuta nel 2022. Tuttavia la performance risulta essere superiore di più di 10 punti percentuali nel 2021 rispetto all'ultimo anno. Questo dato è da intendersi che in realtà il delta di produzione non è da associare ad un calo delle prestazioni molto più probabilmente ad un calo della disponibilità operativa della macchina. Infatti il divario presente in Figura 37 è maggiore di 30 punti percentuali.

Di fatto a livello prestazionale i due periodi si equivalgono abbastanza, in alcuni mesi è risultato più efficace la macchina nel 2021 ed in altri nel 2022 unico caso degno di menzione è il mese di Giugno, che si conferma essere un mese in cui non si è sfruttata pienamente la macchina nell'anno 2021. Avendo già constatato che anche la sua disponibilità nello stesso periodo, rispetto all'anno successivo, è risultata essere drasticamente inferiore.

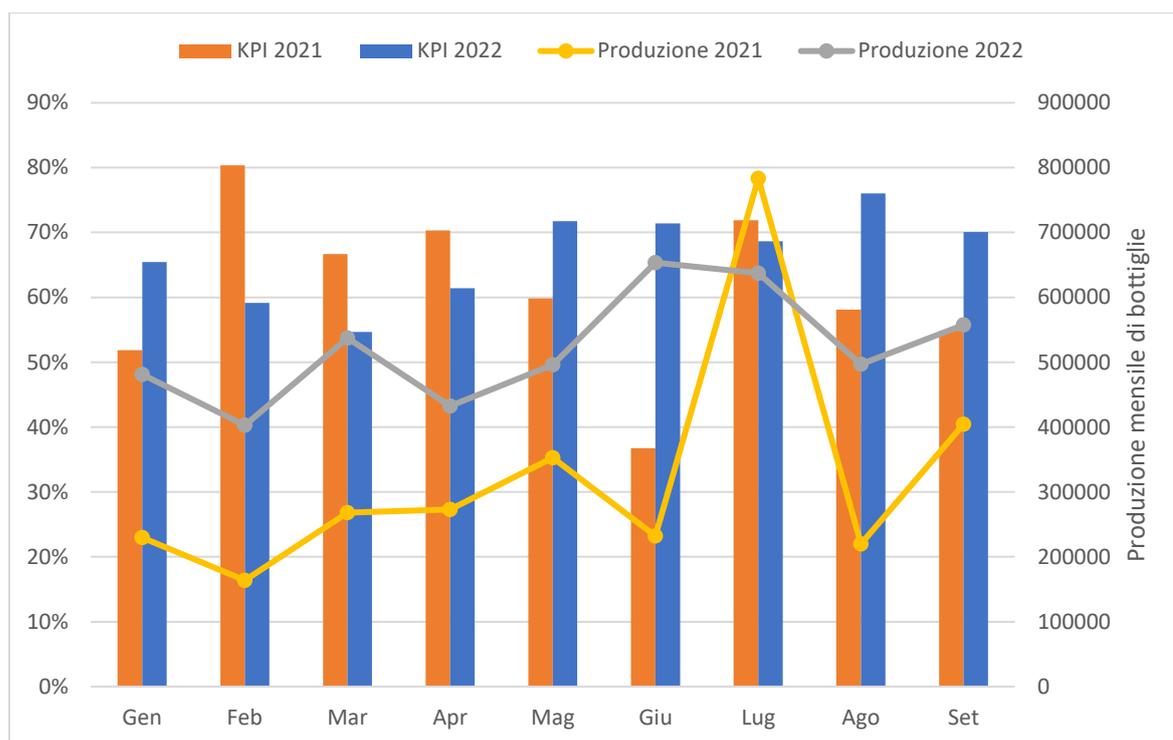


Figura 39 - Confronto dei valori del KPI energetico tra il 2021 ed il 2022

L'andamento del *KPI* energetico in questo caso presenta un assetto simile a quello riscontrato nel confronto fatto in precedenza per la performance. L'aumento di volume produttivo non automaticamente sinonimo di un miglior efficienza dei consumi energetici. Come si constata osservando gli andamenti di Febbraio, Marzo e Aprile si nota come in questi mesi nel 2021 si ha avuto un consumo dell'energia più efficace rispetto al 2022.

Inoltre anche l'andamento di produzione in aumento non garantisce un miglioramento delle prestazioni energetiche, come si evince nel passaggio da Febbraio a Marzo per il 2022. Questo tipo di indicatori possono servire come campanello da allarme, per cogliere funzionamento errati dei macchinare, che presentano trend del *KPI* non in linea con la produzione. Un indagine di questo tipo dovrebbe infine concludersi con una ricerca sul campo direttamente sulla macchina.

## 6 CASO STUDIO 3: AZIENDA TESSILE

### 6.1 Presentazione del processo produttivo

Il terzo caso studio ha visto prendere in esame un'industria manifatturiera attiva nel settore tessile, nello specifico di tessuti pregiati, infatti durante le lavorazioni vengono trattate anche materie prime di alto livello come il cashmere.

Il processo produttivo, mostrato in Figura 40, si compone di varie fasi. La materia prima in ingresso allo stabilimento viene inizialmente immagazzinata. Successivamente i filati vengono inviati preliminarmente al reparto di orditura, dove vengono avvolti sui rulli di ordito. In seguito si passa al reparto di tessitura ove viene trasformato in pezze su telai automatici di diverso tipo, nei quali avviene l'inserzione di fili di trama fra quelli di ordito.

In seguito il tessuto subisce differenti lavorazioni, a seconda del prodotto finale desiderato, nei diversi reparti dello stabilimento. Tra le operazioni principali vi sono il finissaggio (a umido o a secco), la tintura e la garzatura.

Le operazioni di finissaggio sono molteplici e si svolgono con ripetuti passaggi dei tessuti sia nel reparto a secco che in quello a umido. Si ha innanzi tutto un rammendo (se necessario) delle pezze grezze provenienti dalla tessitura.

Successivamente i tessuti sono asciugati nella Rameuse. Vi è poi (eventualmente) una nuova fase di rammendo; altre operazioni sono la cimatura e il decatissaggio, la calandratura e, ulteriore operazione per conferire particolari proprietà al tessuto, il vaporizzo.

Un'operazione particolare è la garzatura che consiste nel passare il tessuto in macchinari muniti di cardì vegetali/metallici che estraggono il pelo dal tessuto conferendogli sofficità.

Le operazioni di tintura avvengono prevalentemente su tessuto, talvolta anche sul filato. La movimentazione delle sostanze chimiche di base avviene manualmente. Le altre sostanze impiegate (colori, additivi, reagenti) sono contenute direttamente nel reparto cucina colori e la movimentazione è in automatico.

Lo stato del tessuto è costantemente monitorato, con controlli intermedi fra le lavorazioni e un controllo finale del prodotto finito per garantire un'elevata qualità.

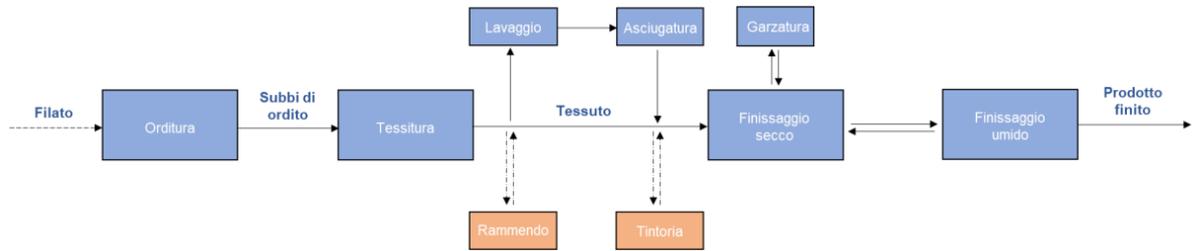


Figura 40 - Processo produttivo azienda tessile

L'aspetto peculiare, rispetto ai casi precedenti, è che i dati di produzione e consumo energetico sono riferiti alla macchina Rameuse dello stabilimento. Questo tipo di macchina è utilizzato per: la fase asciugatura del prodotto, stabilizzazione per prevenire il rovinarsi del tessuto a seguito di lavaggi, il termofissaggio ed il finissaggio per finalizzare i vari trattamenti di colorazione.

Per via dei compiti da svolgere la macchina si avvale di ben due fonti energetiche differenti:

- Energia elettrica, misurata in kWh;
- Gas naturale il cui consumo è valutato in Sm<sup>3</sup>.

In un contesto del genere si è valutato come fosse necessario dapprima decidere come gestire le diverse fonti energetiche. Di fatto sono state fatte delle indagini sull'andamento della produzione ed il consumo delle due fonti energetiche, per verificare se ci fosse una qualche relazione oppure fossero slegate. Per concludere la presentazione del caso studio in questione, viene fornita un'immagine schematica della macchina studiata.



Figura 41 - Esempio di macchina rameuse

## 6.2 Anno 2021

### 6.2.1 Analisi dati

I dati a disposizione per questo caso studio erano riferiti a tre anni differenti. Si avevano a disposizione i dati per il 2020, 2021 ed 2022. Sapendo che l'anno 2020 rappresenta un anno particolare per le attività produttive, per via delle varie restrizioni dovute alla pandemia causata dal COVID-19, si è deciso di far partire l'indagine dal set di dati riguardanti il 2021.

Oltre ai dati relativi ai consumi energetici, per gas ed energia elettrica, si hanno anche a disposizione i dati di produzione totali della linea produttiva, definiti in metri di tessuto prodotto. I valori disponibili erano derivanti dal totalizzatore impostato sulla linea produttiva, perciò si è dovuto procedere con il ricavare i vari dati orari. La procedura è stata svolta con una semplice operazione di sottrazione tra il  $n$  valore rilevato ed il valore  $n-1$  precedente:

$$\text{Produzione oraria} = \text{Produzione}_n - \text{Produzione}_{n-1}$$

(1.9)

Le prime rappresentazioni grafiche dei dati relativi alla produzione sono stati le seguenti:

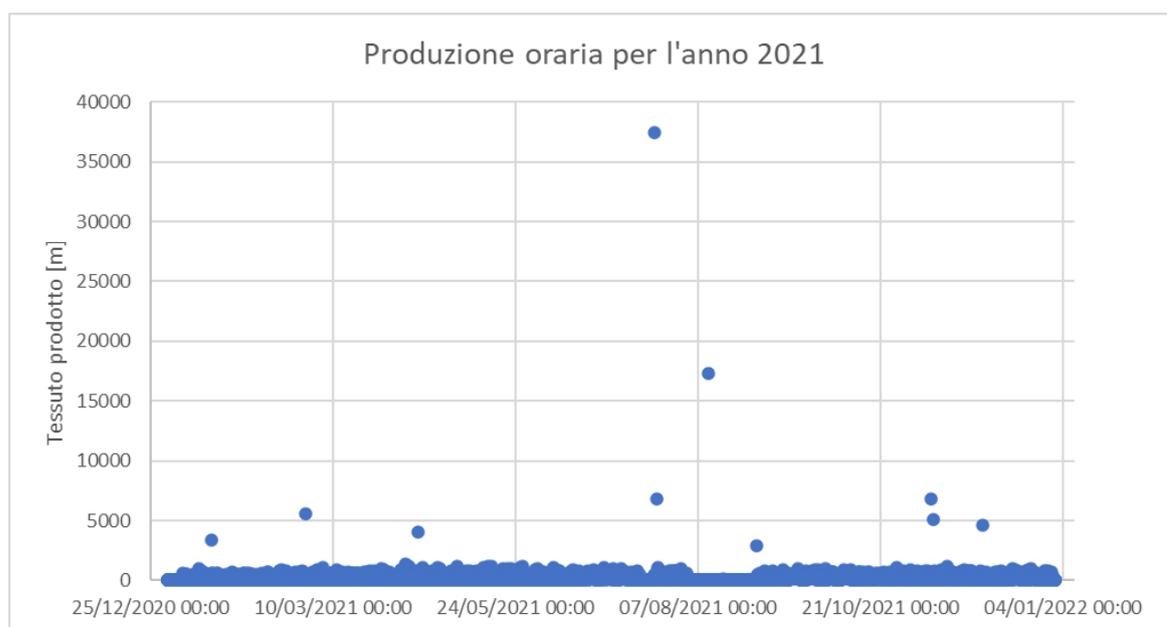
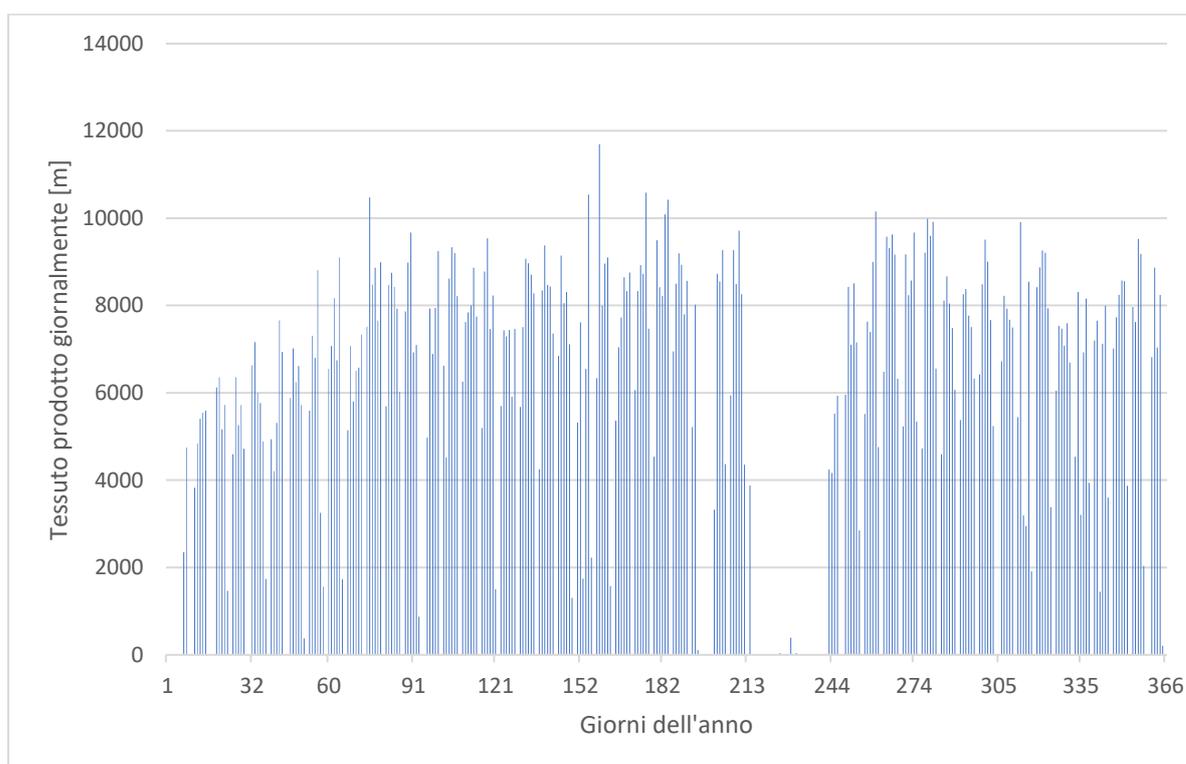


Figura 42 - Produzione oraria nel 2021 previa pulizia dati

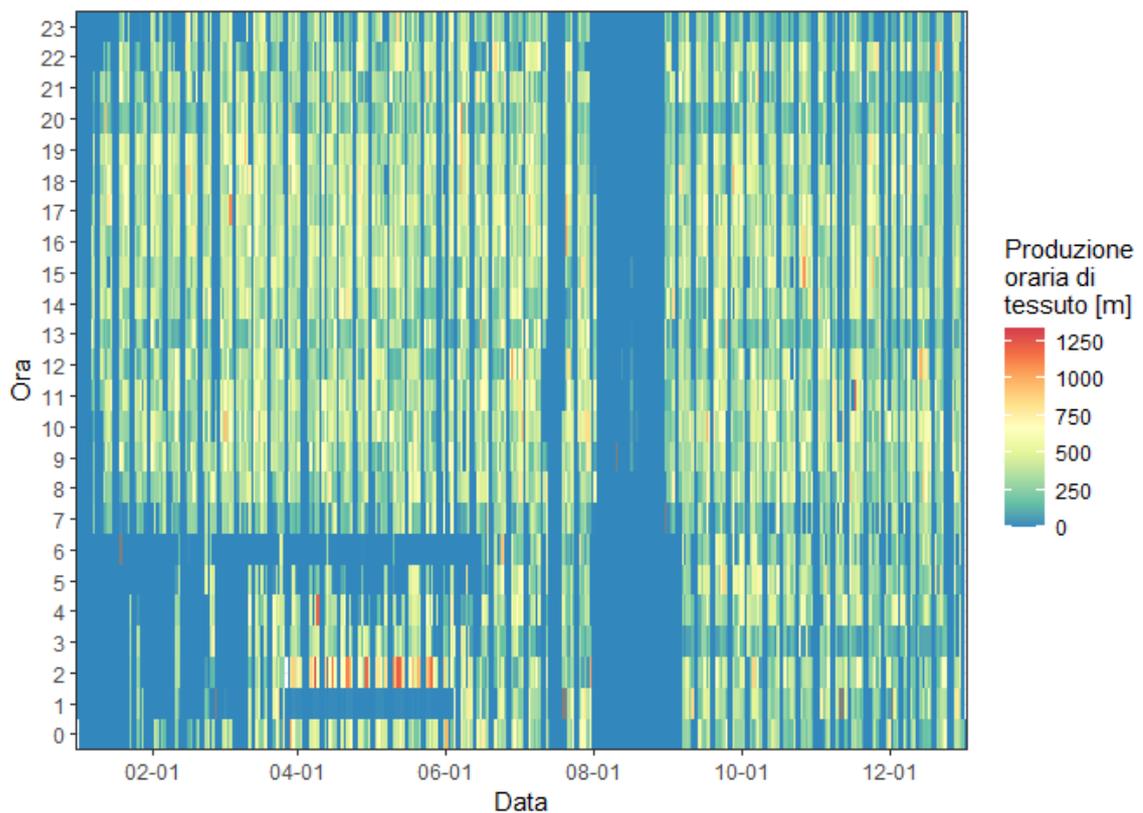
Dalla Figura 42 si comprende che nonostante siano stati misurati e archiviati, alcuni dati presentano un andamento del tutto anomalo. Un mantenimento all'interno del dataset non porterebbe altro che ad una errata classificazione e caratterizzazione dei processi, tutto ciò si traduce nella necessità di andare ad eliminare i vari outliers.

Con l'ausilio di questa rappresentazione si ha una maggiore consapevolezza dell'intensità degli outliers, ma anche dell'andamento produttivo dello stabilimento. La produzione infatti come rappresentato, anche se sarà più chiaro una volta ripulito il dataset, sembrerebbe non subire particolari stop ed essere continua durante tutto l'anno. Come prima analisi di elaborazione dei dati si è scelto di impostare un limite superiore ai dati relativi alla produzione pari a 2500 m di tessuto prodotti all'ora. Il risultato ottenuto ha mostrato subito i suoi frutti:



*Figura 43 - Produzione giornaliera per l'anno 2021 post pulizia dei dati*

La rappresentazione grafica fornita dalla Figura 43, dimostra come la pulizia dei dati abbia avuto successo e di come la loro rappresentazione sia più caratteristica del sistema produttivo. L'andamento di fatto è più uniforme, come anticipato in precedenza si può apprezzare un mantenimento pressoché costante del regime produttivo, ad esclusione del periodo di Agosto. Per una visualizzazione ancora più esplicitiva si ricorre nuovamente all'ausilio del carpetplot.



*Figura 44 – Carpet plot per la produzione oraria di tessuto 2021 post pulizia dei dati*

La Figura 44 infatti riesce a mostrare, se possibile con ancor miglior chiarezza l'andamento del regime produttivo. Si ha la conferma di un periodo di interruzione della produzione coincidente con la pausa estiva ed per quanto riguarda i primi mesi dell'anno anche lì si constata un calo nella produzione. Questa riduzione potrebbe essere ricondotta, sia ad un periodo di stop, ma più probabilmente ad una più bassa domanda di prodotto, che non ha costretto di fatto i macchinari a lavorare costantemente, cosa che avviene da fine Marzo in poi.

Le rappresentazioni grafiche, quindi, fanno capire come i vari interventi di pulizia dei dati siano andati a buon fine, tuttavia tale procedura era concentrata unicamente sui dati di produzione, ora si passa anche ad un'indagine per i dati relativi al consumo di gas naturale e energia elettrica. Vengono mostrate le rappresentazioni grafiche dei consumi energetici, in maniera analoga a quanto fatto in precedenza per i dati relativi alla produzione, prima e dopo la loro pulizia e revisione.

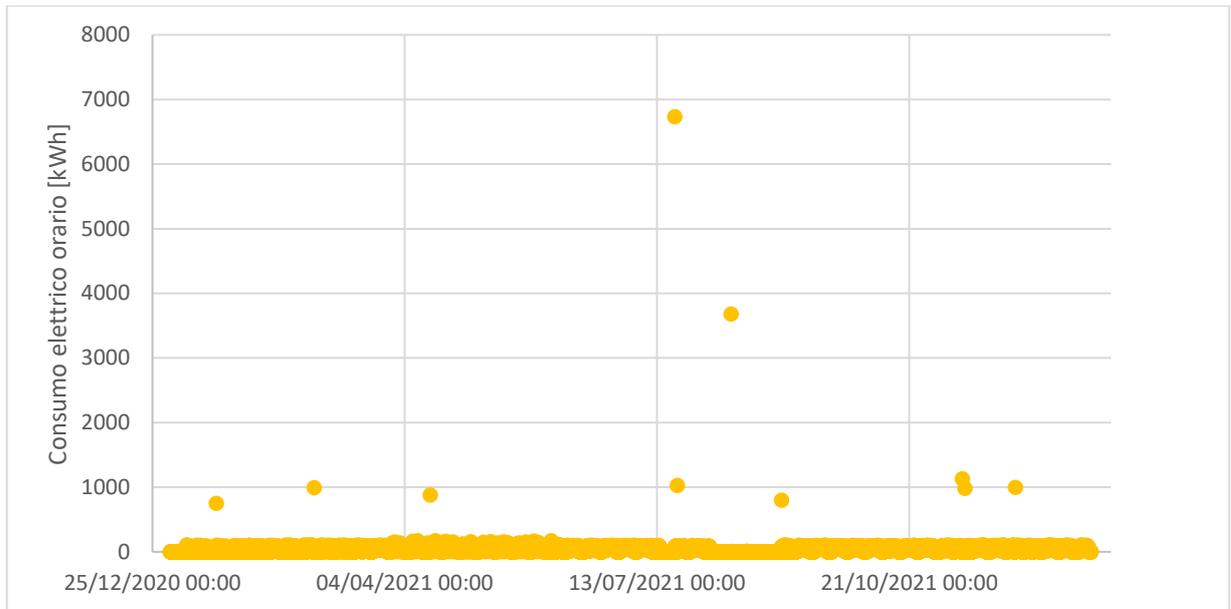


Figura 45 - Consumo di energia elettrica oraria 2021 in previa pulizia dati

Come visto per in precedenza per la Figura 42, anche in questo caso si constatano valori anomali, sempre outliers, che devono essere corretti per garantire una caratterizzazione adeguata del sistema. Si propone qui di seguito anche la rappresentazione, base, del consumo di gas naturale, in  $\text{Sm}^3$ .

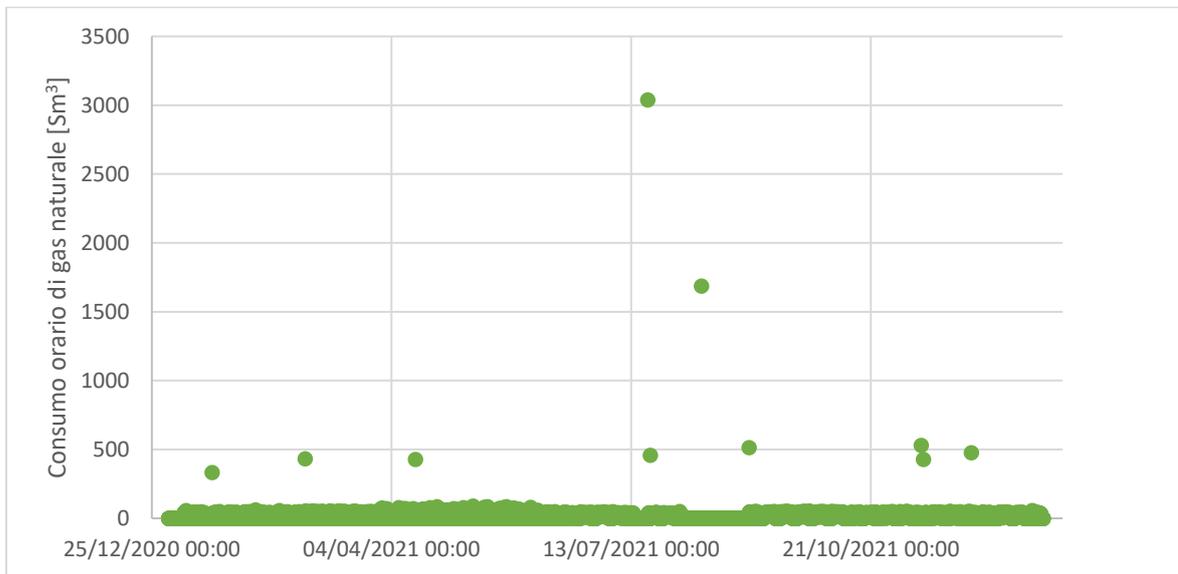


Figura 46 - Consumo di gas naturale orario 2021 previa pulizia dei dati

L'ultimo andamento dei consumi di gas naturale, a sua volta, conferma la necessità di questa indagine finalizzata alla pulizia dei dati. Con la Figura 46, inoltre, si ha anche una conferma che i dati eliminati siano stati causati da un qualche tipo di mal funzionamento o nel sistema

di monitoraggio, o di archiviazione dei dati stessi. Questa ipotesi si fonda sulla base che i valori dei dati, identificati come outliers, sono individuati nelle stessi periodi temporali, indicazione di come sia plausibile pensare proprio ad un momentaneo errore del sistema di monitoraggio. Considerato, tuttavia, il campionamento orario di rilevazione per un orizzonte temporale di un intero anno la presenza di qualche valore non adeguato non inficia la qualità globale del sistema di monitoraggio e controllo.

Per la fase successiva quindi si sono andati a rappresentare graficamente gli andamenti dei consumi energetici in base alla produzione. Partendo prima dal consumo elettrico e poi quello del gas naturale, rappresentati rispettivamente in Figura 47 ed in Figura 48 si hanno andamenti una andamento di questo tipo:

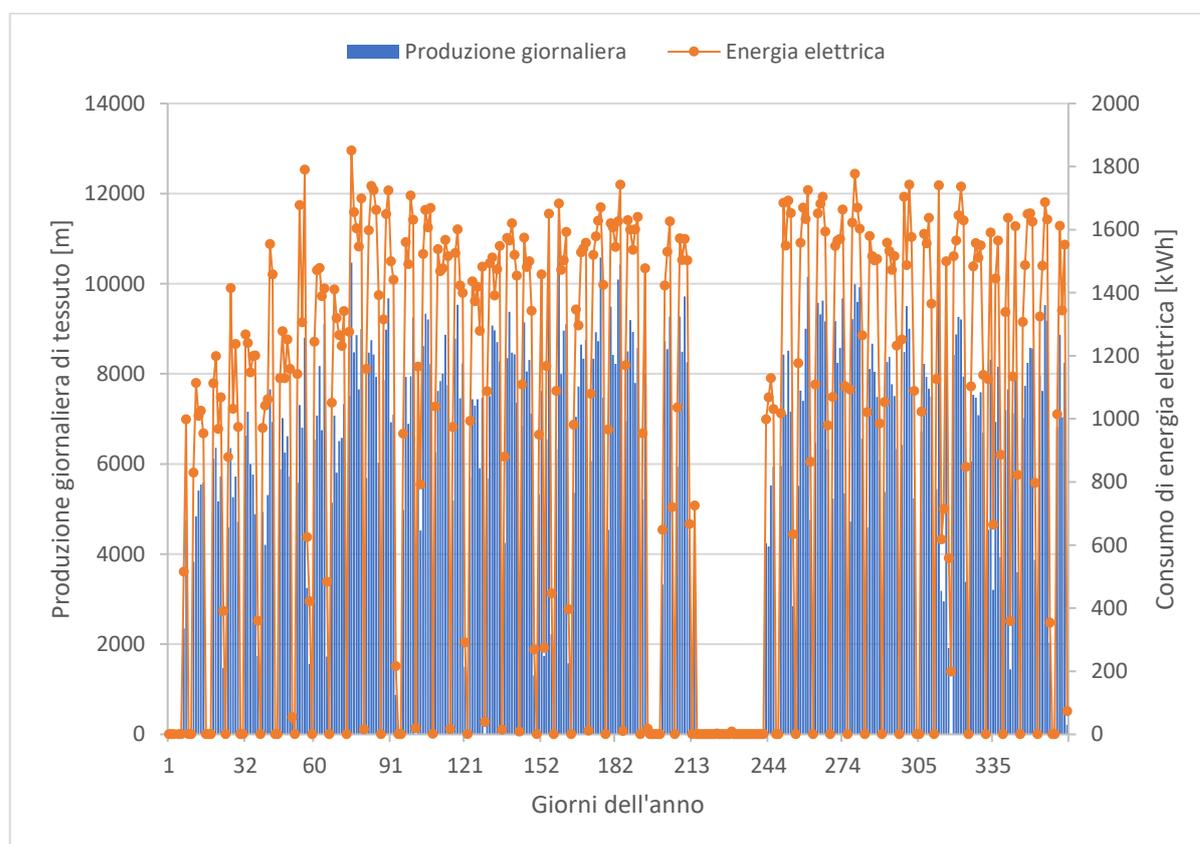


Figura 47 - Andamento del consumo di energia elettrica in funzione della produzione

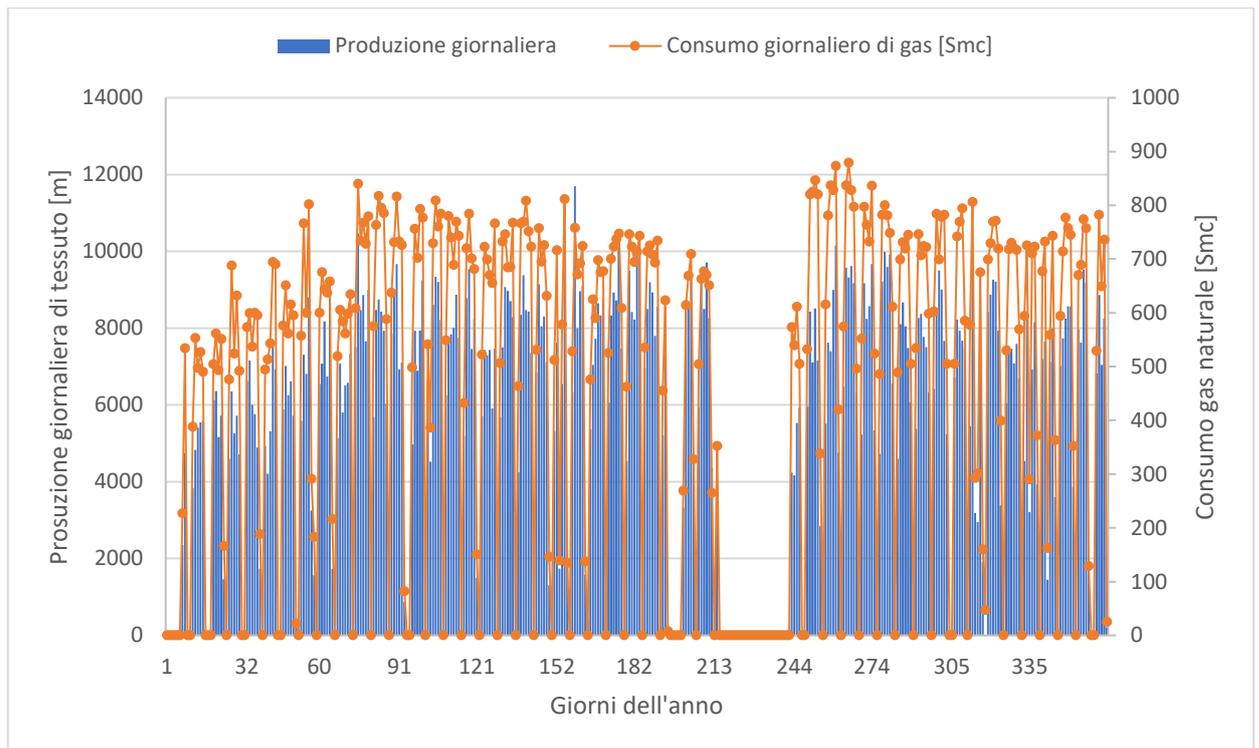


Figura 48 - Andamento consumo Gas Naturale in funzione della produzione

Gli andamenti mostrati dimostrano come sia per il gas naturale che per l'energia elettrica il consumo sia principalmente influenzato proprio dalla produzione. Ad un calo della produzione corrisponde un calo dei consumi e viceversa, la presenza di picchi coincide a livello temporale.

Come verifica aggiuntiva si è svolta un'indagine riguardo ai consumi specifici di energia, elettrica e termica, rispetto alla produzione. Si è sfruttato quindi l'EnPI definito nei capitoli precedenti.

I valori ricavati con l'equazione (1.6), sono stati successivamente inseriti in una rappresentazione grafica e valutati come segue.

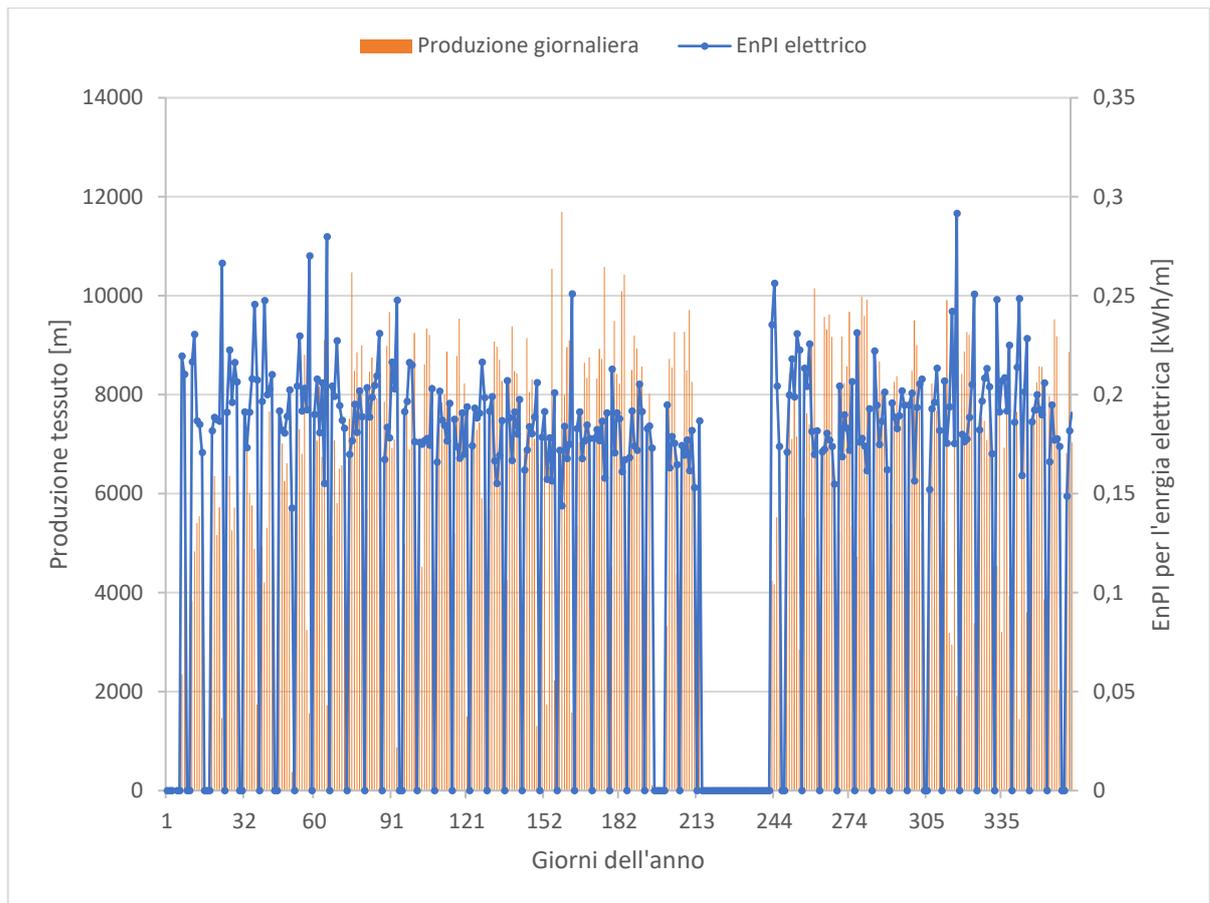


Figura 49 - Andamento dell'EnPI relativo all'energia elettrica in funzione della produzione

Dall'andamento mostrato in Figura 49, si conferma la relazione diretta tra il consumo energetico, legato all'elettricità, e i livelli di produzione. Di fatto con alti livelli produttivi il consumo specifico scende mentre il consumo specifico risale in caso contrario. Il consumo di energia invece, come confermato anche in precedenza dalla Figura 47, si annulla per produzione nulla. Quello che si può cogliere da questo andamento è che il consumo di energia elettrica è legato alla produzione ma vi è carico base per il mantenimento in avviamento della macchina rameuse che incide percentualmente tanto per bassi livelli produttivi.

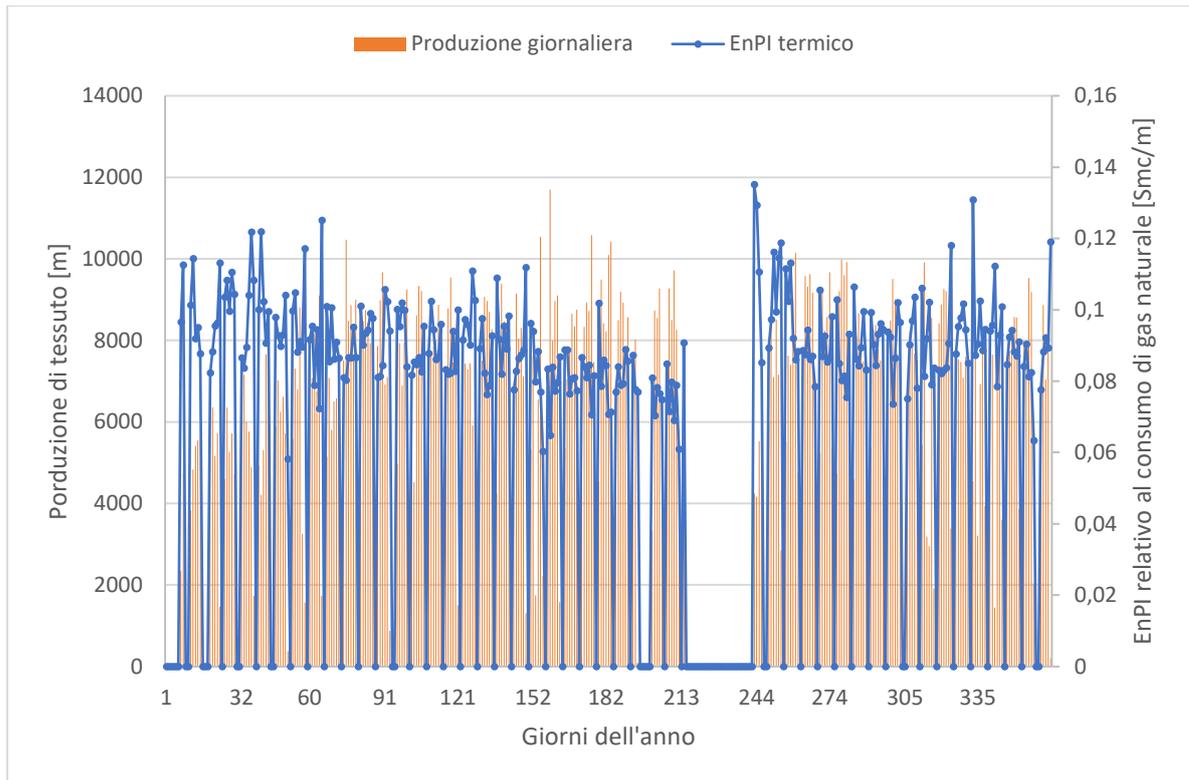


Figura 50 - Andamento dell'EnPI relativo all'energia termica in funzione della produzione

L'andamento dell'EnPI relativo al gas naturale è dello stesso tipo dell'energia elettrica. Quindi le considerazioni fatte precedentemente sussistono tuttora.

La considerazione finale di questa prima indagine risulta essere che entrambe le fonti energetiche risultino necessarie per la produzione. Avendo consapevolezza di ciò il resto dell'indagine, e dello studio è stato svolto basandosi su di una conversione ad energia primaria, per poter confrontare i consumi allo stesso livello.

Il primo step è stato quello di valutarle in simultanea trasformandole in unità di energia primaria (TEP), i fattori di conversione usati sono stati presi del FIRE<sup>5</sup> [29]. Nello specifico i valori utilizzati sono riportati nella tabella seguente

<sup>5</sup> FIRE è un acronimo per Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia.

Tabella 13 - Fattori di conversione in TEP

	Gas Naturale [Sm <sup>3</sup> ]	Energia Elettrica [kWh]
Fattore di conversione in TEP	$8,36 \times 10^{-4}$	$1,87 \times 10^{-4}$

In questo modo si è in grado di definire una sola variabile energetica da dover correlare con la produzione. Il resto dello studio ha visto quindi il progresso dell'analisi considerando l'andamento del consumo di energia primaria (TEP) e la produzione stessa.

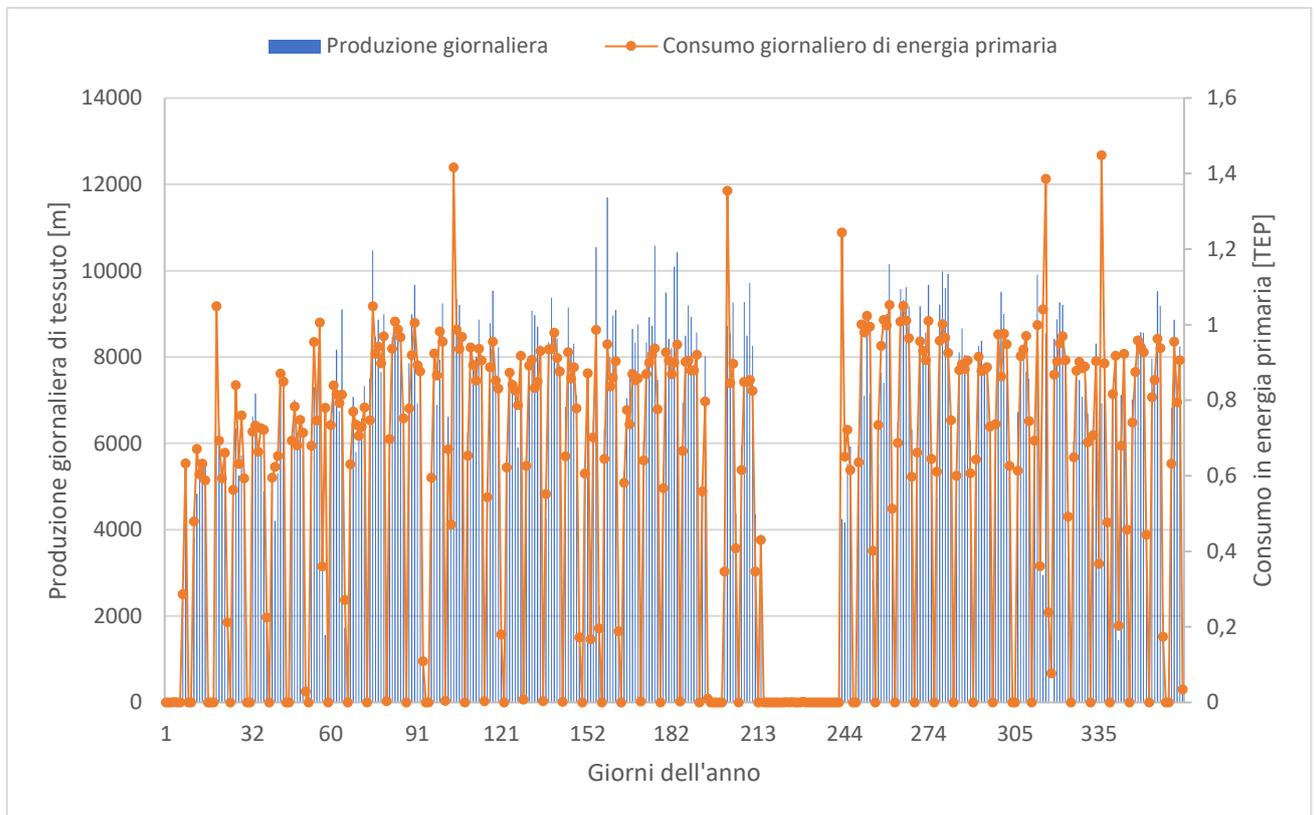


Figura 51 - Consumo energetico in TEP in funzione della produzione

Una volta ripulite le differenti variabili dai rispettivi outliers, e convertiti i consumi in energia primaria, si è potuti andare ad effettuare l'analisi sull'effettiva efficacia del sistema produttivo, sfruttando l'OEE.

Prima di andare a definire i vari parametri:

- *Availability*

Si sono dovute svolgere delle ulteriori analisi e definire le condizioni in cui lavora lo stabilimento. Dalla rappresentazione del carpet plot, fornita dalla Figura 44, è possibile considerare un'attività produttiva pressoché costante tutto l'anno, senza vere e proprie ore di fermo impianto. Questo potrebbe causare dei valori di *Availability* ovviamente più bassi per il primo periodo dell'anno, con un suo incremento e mantenimento, quasi costante, per il resto dell'anno. Da escludere, invece, dalla valutazione dei giorni lavorativi, al fine del calcolo dell'OEE, restano le domeniche, visto che risulta essere un giorno di fermo della produzione lì per l'intero anno 2021.

#### - *Quality*

Per la *Quality*, il discorso invece è differente, purtroppo non si ha una contabilità per quanto riguarda il volume di prodotto scartato in relazione al prodotto che supera, al contrario, gli standard qualitativi. Per ovviare a tale problematica, si è deciso di inserire manualmente il valore costante di *Quality* per tutto il periodo di riferimento, questo ipotizzando che in una linea produttiva a flusso costante, il rateo di prodotti scartati sia abbastanza costante nel tempo. Come valore si è scelto pari a 98%, in modo tale che tale parametro, inserito forzatamente non influisse sulla reale valutazione del OEE ed dell'EOEE. Si ricorda, infatti, che come indicato in Tabella 4, tale valore rappresenta il valore limite per il rispetto degli standard di qualità per le aziende manifatturiere. In questo modo, una deviazione del valore finale dell'OEE sarebbe attribuibile dai parametri dipendenti dai dati, non da un parametro forzato ma necessario.

#### - *Performance*

Per la *Performance*, invece, il discorso è ancora diverso, di fatto si hanno tutti i dati a disposizione per poter definire il valore massimo producibile dalla linea. Sfruttando le schede tecniche si potrebbero anche ottenere le produzioni nominali delle macchine, tuttavia si è deciso di intraprendere un'altra strada per la valutazione di questo parametro. La scelta è stata presa valutando l'andamento reale della produzione, di fatto i livelli produttivi sono costanti, da un punto di vista della produttività e funzionamento, ma per quanto riguarda le quantità prodotte, queste variano a seconda del periodo dell'anno. Tale andamento è da ricercarsi in una variazione della domanda, il che rende però difficile la definizione di un valore di produzione massima che possa rappresentare l'intero periodo. I dati a campionamento orario erano troppo dispersivi e risultava dannoso alla computazione delle metriche di valutazione caratterizzanti il sistema. Per ovviare a tale problematica, si è deciso di effettuare un

raggruppamento giornaliero dei dati, in questo modo si avrà una caratterizzazione giornaliera, e non più oraria, del sistema nell'orizzonte temporale dell'anno 2021.

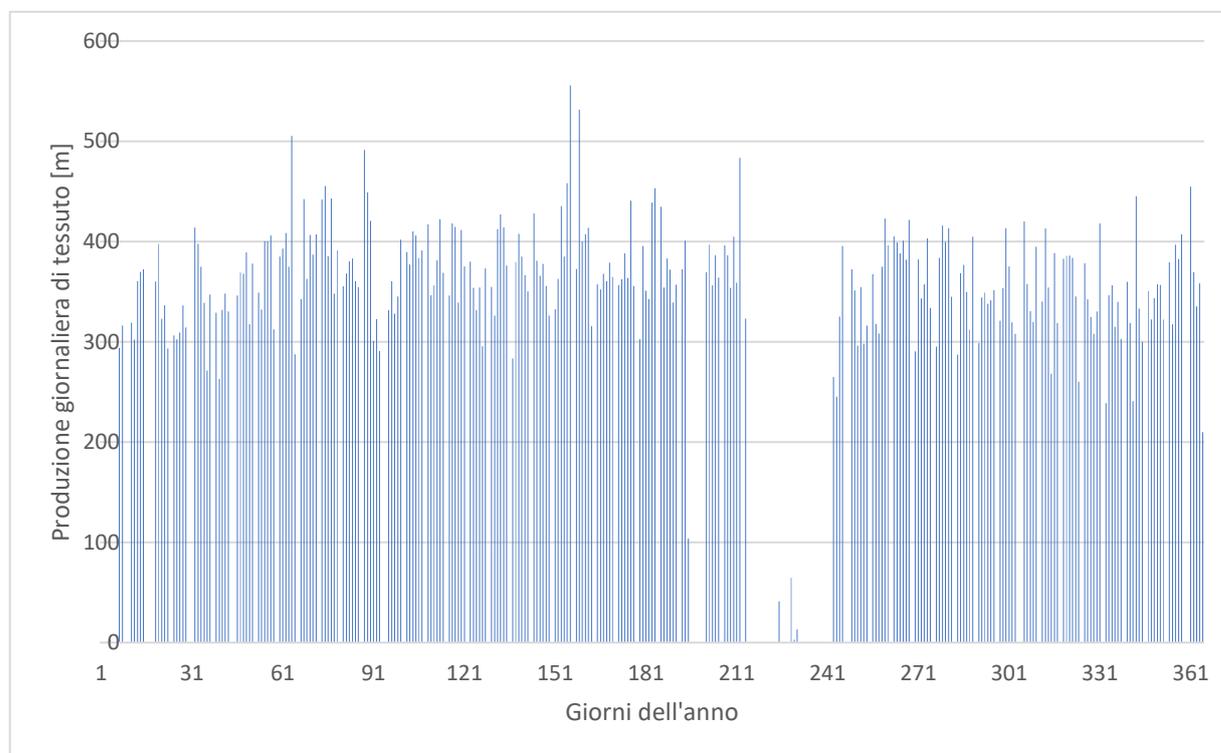


Figura 52 - Produzione media giornaliera 2021

Come si constata dalla figura 23, l'andamento della produzione media, rende la rappresentazione più chiara e di più facile interpretazione. Tramite il raggruppamento dei dati di produzione in medie giornaliere, si è valutato il valore massimo orario da prendere in considerazione. Il valore scelto è stato di 600 m di prodotto all'ora, considerando un margine di scostamento dal valore massimo registrato di 555.75 m. Questa ipotesi è stata presa in ottica cautelativa considerando che è improbabile che le macchine lavorino a ritmo nominale. Ora si è quindi in grado di definire i vari indicatori, facenti parti dell'OEE, per tutto l'anno con frequenza giornaliera.

#### - KPI

Il passaggio successivo è quello di definire in maniera efficace i vari EnPI (Energy Performance Indicator) definiti come il consumo specifico dell'energia, in modo tale da poter ricavare il KPI, necessario per la valutazione dell'EOEE, definito nella formula (1. 7).

Anche la in questo caso si è deciso di effettuare un raggruppamento, in fascia giornaliera,

anziché oraria, per rimanere coerenti con il resto dei dati utilizzati. I dati di natura energetica, inoltre, sono più soggetti a sporcamento, o ad una non reale rappresentazione. Il rischio maggiore di questi scenari lo si ha nei momenti di transitorio della produzione, quando per esempio all'inizio della giornata lavorativa i consumi non sono propriamente correlati alla produzione ma sono condizionati anche dall'avvio dei macchinari (assorbimento allo spunto). Altra situazione che si potrebbe presentare è quella di un forte aumento degli indici di consumo per magari un obbligo di fermo della produzione che non prevede lo spegnimento dei macchinari stesi.

### 6.2.2 Risultati

In Figura 53 - Rappresentazione degli andamenti degli elementi caratterizzanti L'EOEE. In Figura 53 sono rappresentati i vari andamenti dei valori dei parametri caratterizzanti sia l'OEE (*availability, performance, quality*) e dell'EOEE (KPI energetico).

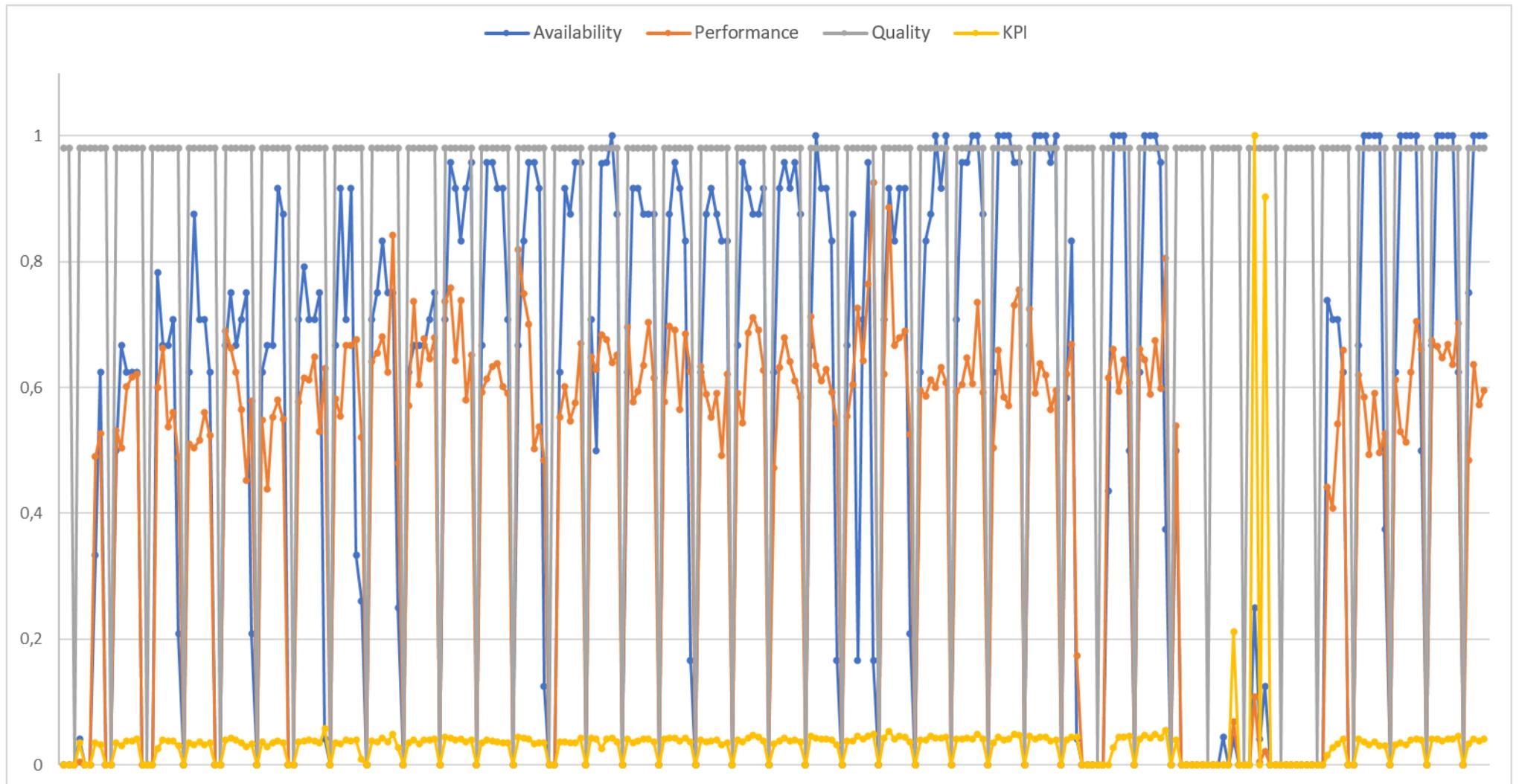


Figura 53 - Rappresentazione degli andamenti degli elementi caratterizzanti L'EOEE

Il grafico sopra riportato, mostra l'andamento dei vari parametri dell'OEE e del KPI basato sul rapporto tra il consumo energetico specifico minimo ed il consumo energetico specifico nel dato momento monitorato. Come si può apprezzare per i parametri tradizionali non si hanno particolari criticità, la qualità dei prodotti rimane costante per come è stata definita.

La disponibilità della produzione cresce con il proseguire dell'anno, raggiungendo anche valori unitari in determinati giorni estivi e del quarto trimestre dell'anno. Tutto ciò va a confermare le ipotesi ed osservazioni che erano state inizialmente fatte con lo studio preliminare del carpet plot (Figura 44).

Per le prestazioni si può apprezzare un andamento meno prevedibile dei due casi precedenti, ma coerente con l'andamento della produzione mostrato in Figura 52. Di fatto il coefficiente relativo segue l'andamento della produzione, ad un aumento di quest'ultima corrisponde un aumento del primo e viceversa.

Ad incuriosire maggiormente è il comportamento del KPI energetico, il quale presenta un andamento assai singolare. Per la maggior parte del periodo di monitoraggio il suo valore sembra oscillare tra valori coerenti tra loro, fino al mese di Agosto in cui si presentano dei valori fuori scala. Questa condizione è influenzata da valori dei dati poco robusti per il mese di Agosto. Infatti vi sono tre giorni critici nello specifico: il 13, il 17 ed il 19 di Agosto. Come detto inizialmente da un'indagine preliminare sembrava che ad agosto non vi fosse produzione, ma da come si può constatare dai grafici precedenti ed in particolar modo dalla Figura 52, in corrispondenza dei giorni citati, vi è il rilevamento di un certo quantitativo di produzione. Il totale prodotto è assai sotto gli standard di produzione oraria, evidenziato anche dal crollo della *Performance* in quel periodo, ed ad essi sono accosciati consumi energetici pressoché nulli, ma comunque presenti.

La relazione che ne viene fuori non è rappresentativa del sistema, anzi è fuorviante, perché setta lo standard di consumo energetico in maniera decisamente sottostimata. Il metodo più veloce ed efficace per trattare questi valori è quello di escluderli totalmente dalla valutazione dei parametri prestazionali. Già ora si è stati in grado di sfruttare in maniera innovativa i parametri energetici al fine di determinare la presenza di valori non caratterizzanti il sistema, che in alternativa, con analisi e parametri di processo tradizionale, sarebbero sfuggiti.

Avendo preso coscienza di tutti i valori anomali all'interno del dataset si è riusciti, efficacemente, rappresentare nuovamente l'andamento dei vari parametri.

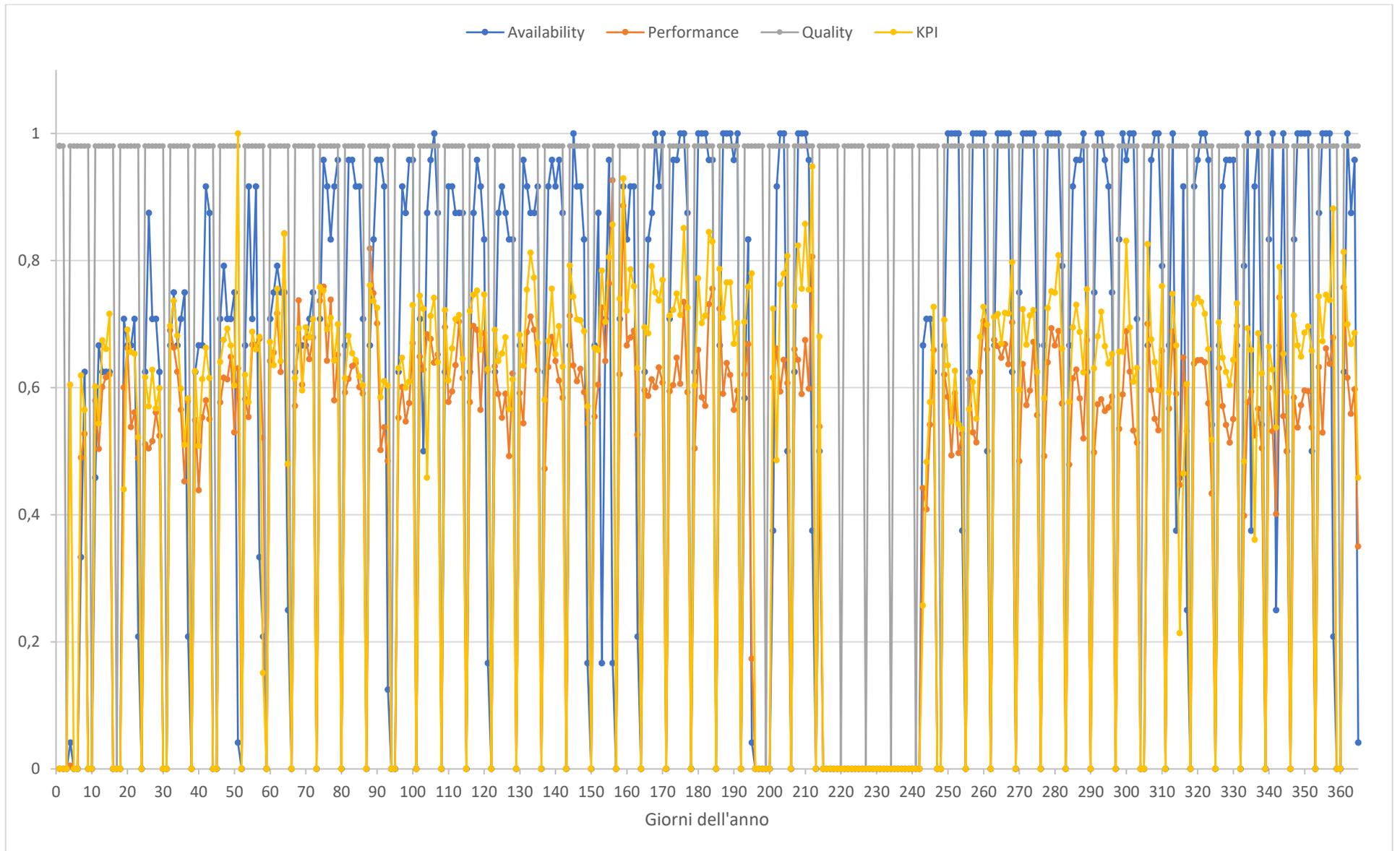
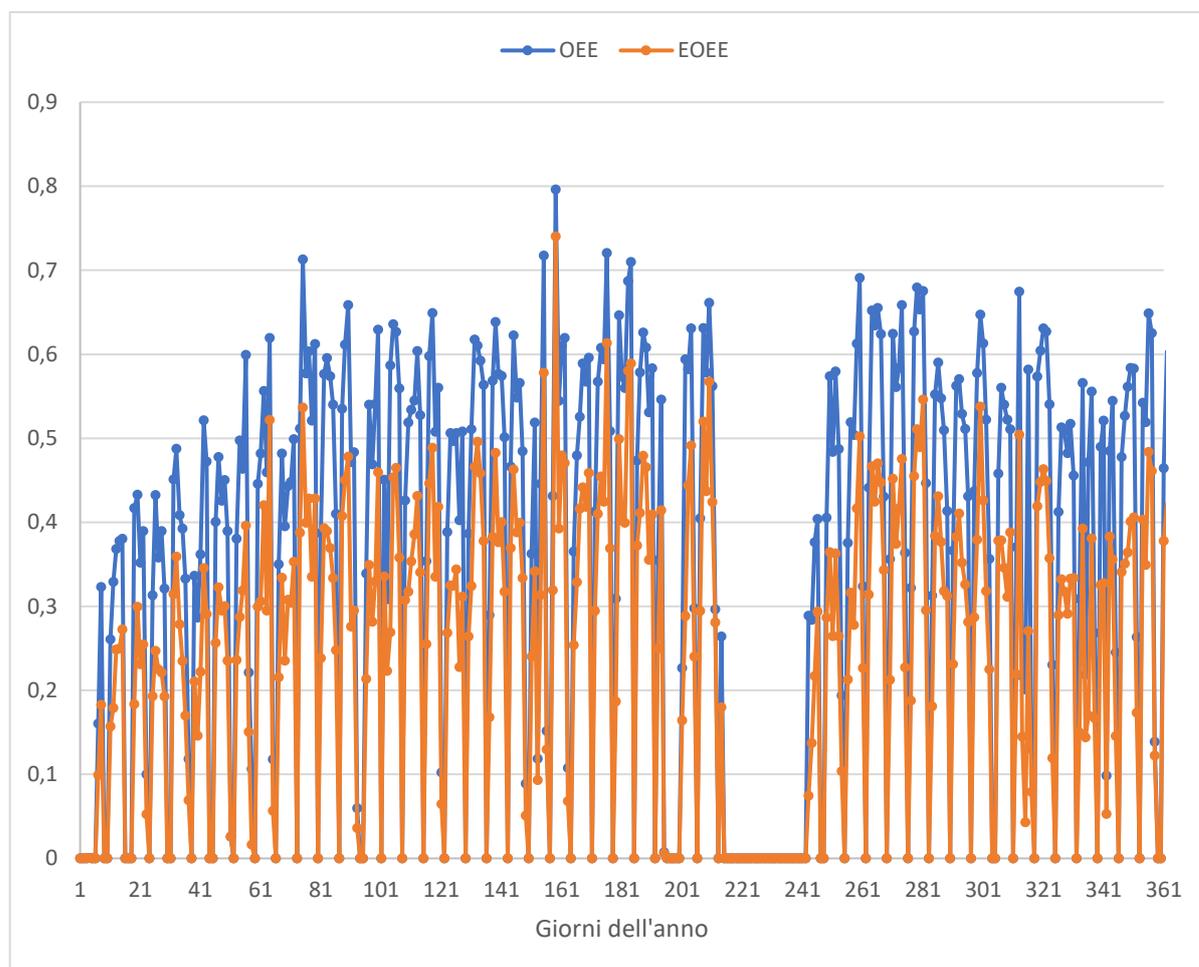


Figura 54 - Andamento dei parametri caratterizzanti dell'EOEE post correzione dei dati

Il grafico, presente nella pagina precedente, mostra un andamento più soddisfacente dei vari trend. L'andamento del KPI definito non presenta più un andamento anomalo, ma in qualche modo segue un trend simile a quello delle performance. Questo comportamento non stupisce poi tanto, visto che entrambi i parametri dipendono sia dal tempo di funzionamento (Performance da un punto di vista della velocità di produzione, e il KPI ne è influenzato perché dal tempo di funzionamento dipenderà il consumo energetico) sia dalle modalità in cui i macchinari stessi operano.



*Figura 55 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE giornaliero*

In figura 27 viene riportato l'andamento dei vari OEE e dell'EOEE con frequenza giornaliera, per l'intero 2021. Al fine di una rappresentazione più chiara ed intuitiva vengono raggruppati i risultati finali in base mensile, per poter cogliere la stagionalità e l'andamento dell'efficacia della produzione.

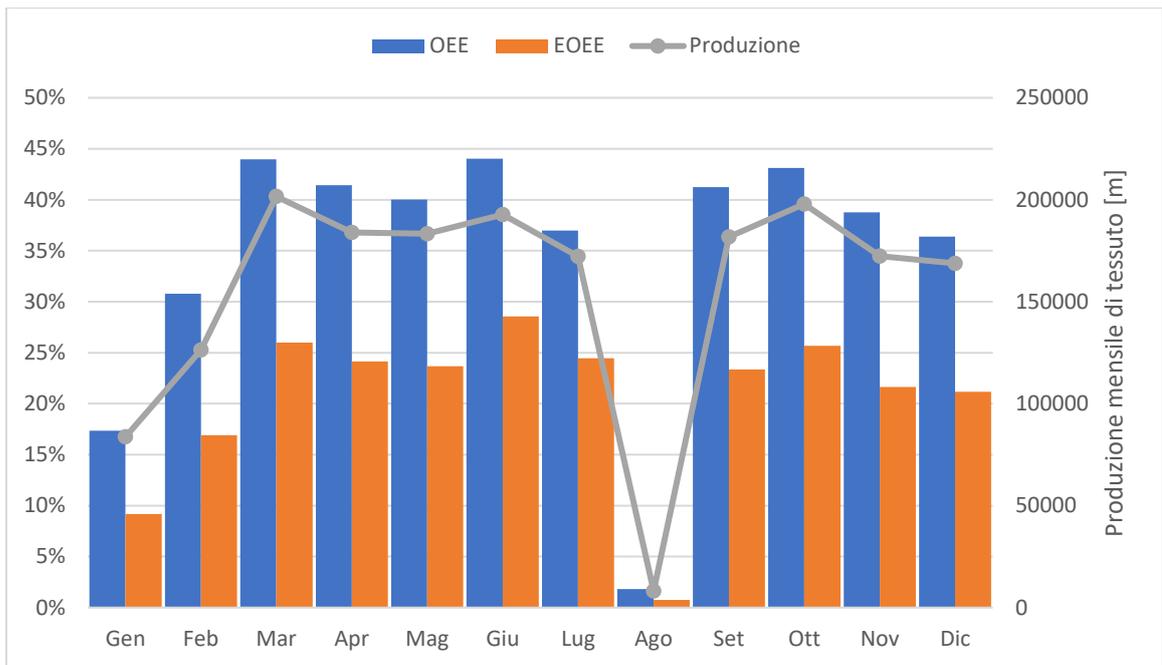


Figura 56 - Andamento OEE e EOEE in relazione alla produzione

Come prima considerazione che salta all'occhio durante la visualizzazione è il fatto che le prestazioni dello stabilimento aumentano con l'accrescere della produzione. Questo andamento è prevedibile perché di fatto la disponibilità e, soprattutto, il parametro legato alle prestazioni dipendono dal volume produttivo.

L'andamento dell'EOEE, anch'esso è soggetto all'andamento produttivo. Questo visto che le macchine consumano una quota di energia base anche per bassi o bassissimi livelli produttivi.

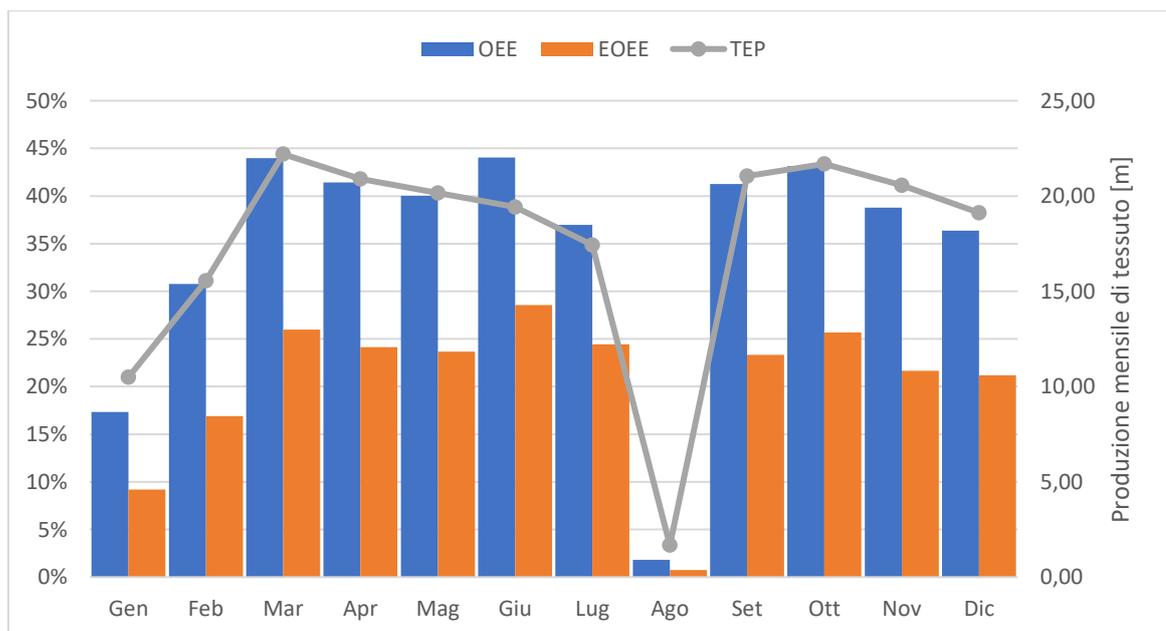


Figura 57 - Andamento OEE e EOEE in relazione al consumo energetico in TEP

Viene anche riportato l'andamento delle metriche caratterizzanti il sistema in relazione al consumo energetico, come mostrato in figura 29. Si nota quindi anche un andamento analogo che si presentava nella Figura 56, anche in questo caso i parametri prestazionali calano con il calare del livello energetico. Si può già evincere che ogni qual volta ci si allontani dalle condizioni di regime, le prestazioni relative alla produzione, ed al consumo energetico, ne risentono negativamente.

Per concludere l'analisi di questo primo periodo (2021), vengono proposti i valori dei vari elementi caratterizzanti.

Tabella 14 - Dati relativi al 2021

	Availability	Performance	Quality	KPI	OEE	EOEE	Produzione [m]	TEP consumati
Gen	34%	52%	98%	53%	17%	11%	83.780	10,49
Feb	53%	59%	98%	55%	31%	19%	126.393	15,55
Mar	68%	66%	98%	59%	44%	30%	201.574	22,20
Apr	68%	62%	98%	58%	41%	28%	183.928	20,90
Mag	67%	61%	98%	59%	40%	27%	183.267	20,16
Giu	69%	65%	98%	65%	44%	33%	192.746	19,42
Lug	60%	62%	98%	66%	37%	28%	172.286	17,42
Ago	4%	49%	98%	41%	2%	1%	8.121	1,68
Set	71%	59%	98%	57%	41%	27%	181.779	21,05
Ott	75%	59%	98%	60%	43%	29%	197.926	21,69
Nov	68%	58%	98%	56%	39%	25%	172.365	20,56
Dic	65%	58%	98%	58%	36%	24%	168.752	19,13

La tabella 11 riporta, con frequenza mensile l'andamento dei parametri del sistema. La produzione, ricordiamo è valutata come metri di tessuto prodotti.

La Quality è stata esclusa essendo un puro parametro costante forzatamente definito.

Si può subito constatare come a prendere un ruolo fondamentale nella valutazione finale dell'effettiva efficacia del sistema produttivo. Di fatto è il parametro che raggiunge i livelli minori in assoluto. Per una più chiara interpretazione dei risultati, viene fornita anche una rappresentazione grafica dei parametri: Availability, Performance e del KPI energetico, nella Figura 58.

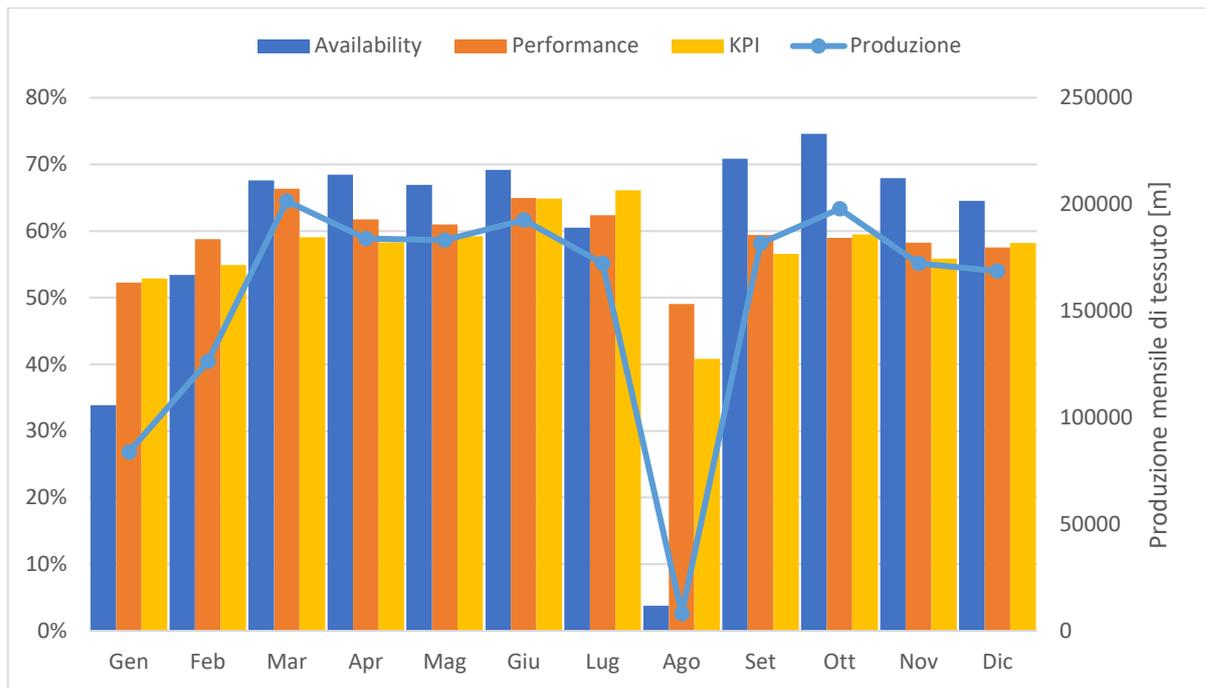


Figura 58 - Andamento dei parametri influenzanti l'EOEE durante il 2021 a frequenza mensile

La Figura 58 mostra i vari andamenti dei parametri influenzanti dell'EOEE in funzione della produzione di tessuto. Verranno ora commentati i risultati ottenuti per ciascun parametro.

#### *Availability*

Come anticipato, l'andamento della disponibilità è quello che maggiormente incide sui risultati finali. Presentando il valor minimo proprio in corrispondenza del mese di Agosto, quando la produzione era praticamente nulla. Ma con un trend in crescita per i primi due mesi dell'anno per poi oscillare in maniera abbastanza regolare tra valori tra il 60-70%, e nei mesi postumi la pausa estiva trovare i valori massi, superiori al 70%.

#### *Performance*

Per quanto riguarda le performance mensili dello stabilimento, il loro andamento rispecchia l'andamento della produzione. Caso particolare è il periodo di Agosto, durante il quale l'impianto ha prodotto poco, per via di una bassa disponibilità. Ma il regime produttivo, quando le macchine erano in funzione risulta essere coerente con il resto dell'anno.

#### *KPI*

Per il KPI energetico, invece, il discorso per il mese di Agosto cambia. Il valore più basso evidenzia come i casi di ridotta produzione influiscano negativamente sul consumo specifico, riconfermando le considerazioni fatte a valle della Figura 47. Tuttavia una riduzione della produzione non implica necessariamente una riduzione delle prestazioni energetiche come nel

caso che avviene tra i mesi di Giugno e Luglio. Tra i due mesi vi è una diminuzione della produzione ma il KPI risulta invece in risalita. L'andamento non banale mostra come poi siano necessaria anche indagini sul campo per poter cogliere lo stato reale dei macchinari.

In seguito lo studio ha visto un'indagine ulteriore, per le prestazioni della macchina, per l'anno 2022.

## 6.3 Anno 2022

### 6.3.1 Analisi dati

Come seconda fase per questo caso studio si andranno ad effettuare le medesime analisi di pulizia del dataset, che sono state applicate per i dati relativi al 2021, ma questa volta applicati a quelli relativi all'anno 2022.

Dopo un prima fase di scrematura, in cui si è andati ad eliminare i dati identificati come N.A. e i valori outliers, si è potuto valutare il reale andamento produttivo durante l'anno 2022.

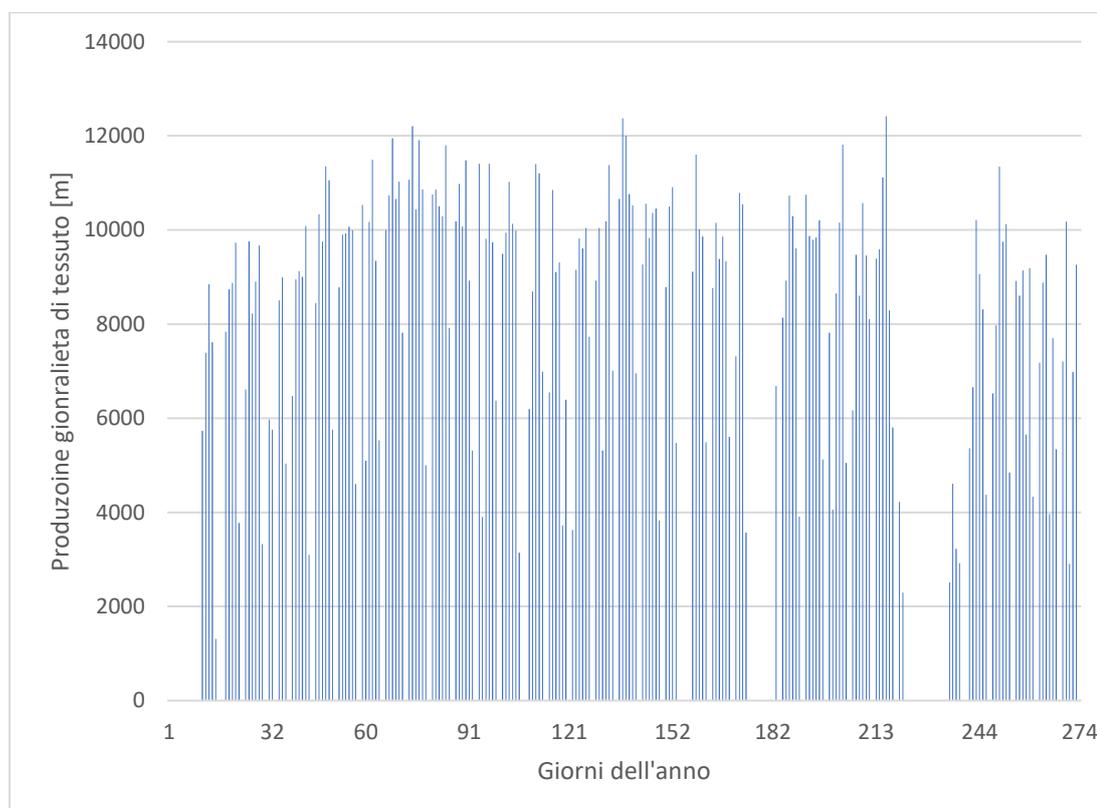


Figura 59 – Produzione di tessuto giornaliera nell'anno 2022

Anche in questo scenario il livello produttivo si attesta su alti livelli mantenendosi abbastanza costante, se non per alcuni brevi periodi di fermo.

Si evitano di proporre gli andamenti dei consumi di energia elettrica e gas naturale, visto che i due profili seguono nuovamente l'andamento della produzione. Con queste considerazioni, si è deciso nuovamente di intraprendere l'analisi riferendosi all'energia primaria, sfruttando i fattori di conversioni presenti in Tabella 13.

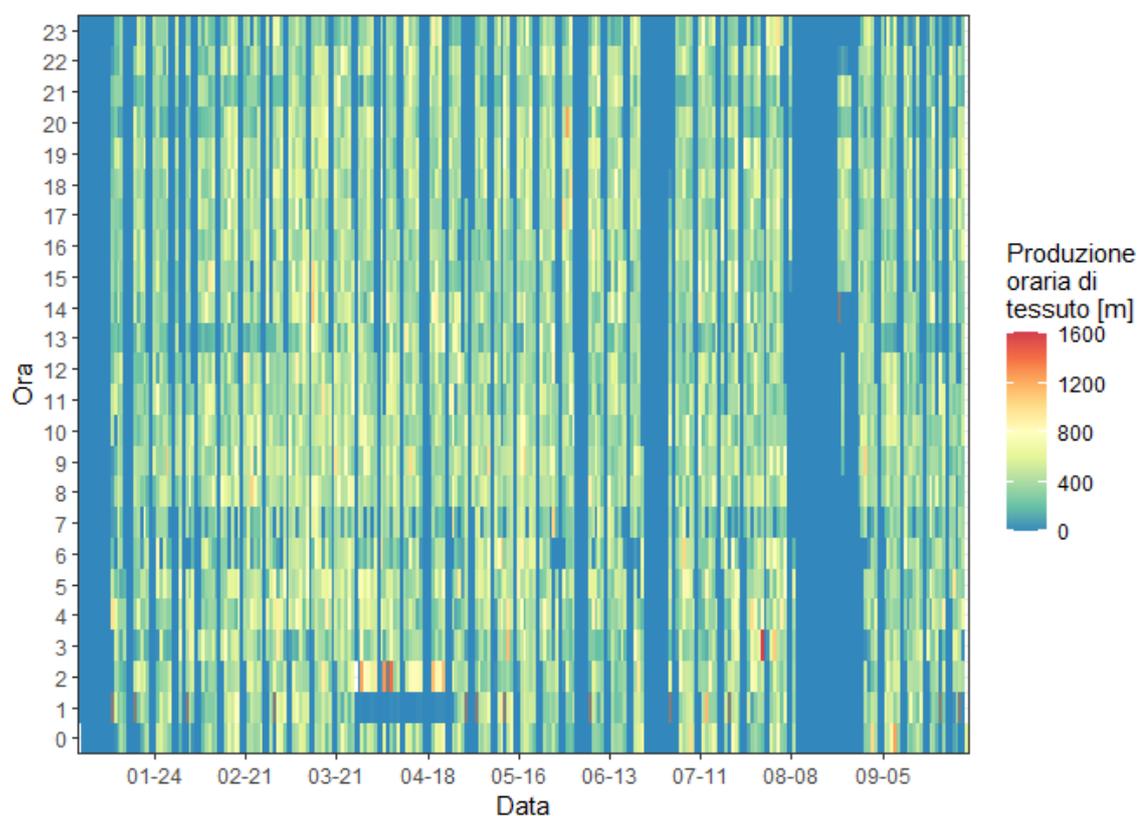


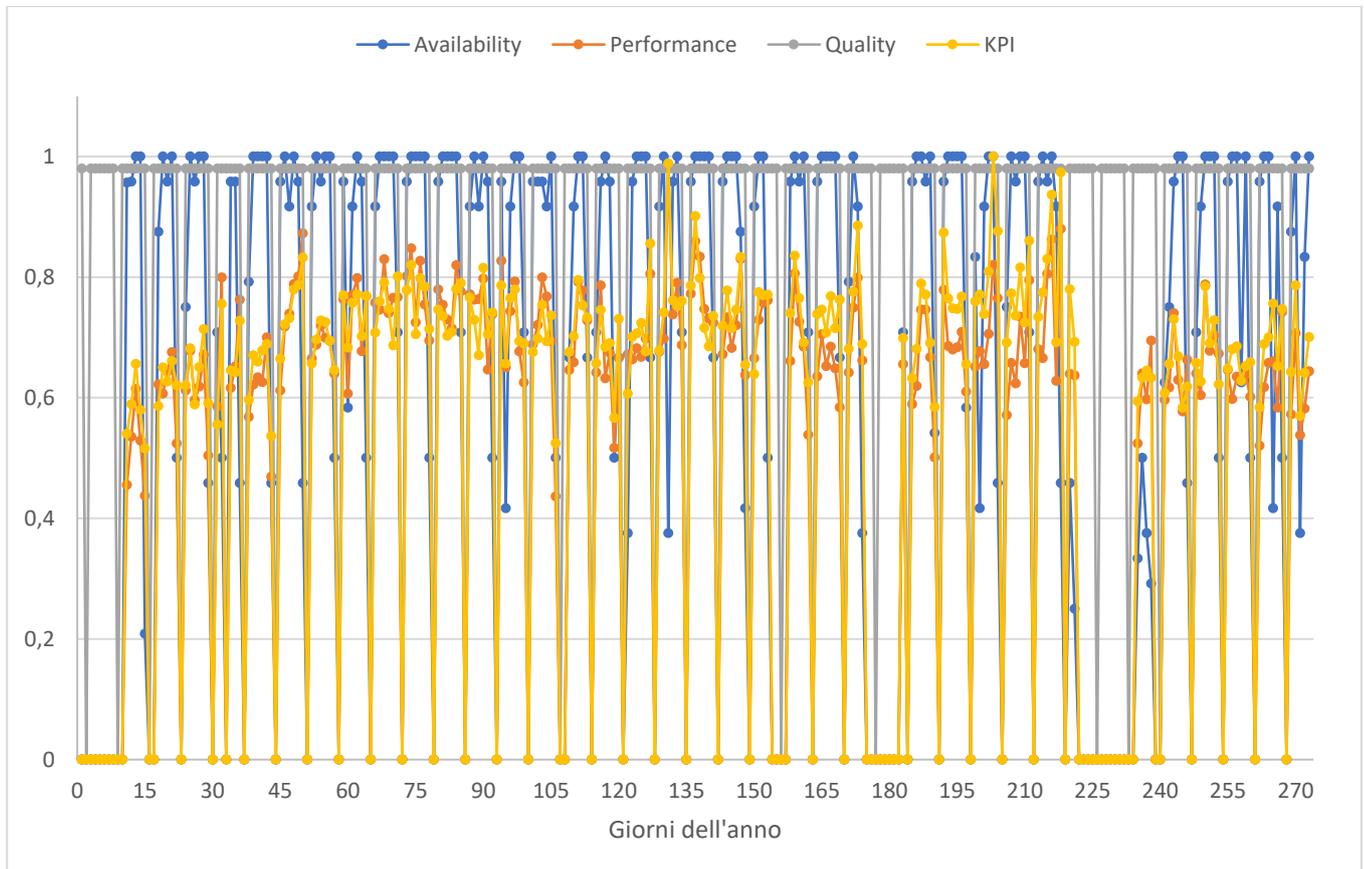
Figura 60 - Carpet plot della produzione nel 2022

Sempre tramite l'ausilio della rappresentazione del carpet plot, si è potuto apprezzare la continuità del processo produttivo per tutte le ore della giornata. Le domeniche rimangono, come in precedenza, giorno di fermo della produzione. Una volta definiti questi vincoli si è potuto quindi definire le condizioni adeguate per la valutazione dell'*availability*.

Per quanto riguarda i parametri *Performance* e *Quality* si sono usati gli stessi standard e considerazioni applicati per la valutazione dell'anno precedente. Anche per il KPI energetico si è considerato lo stesso minimo consumo energetico specifico al fine di una corretta comparazione tra i due periodi.

### 6.3.2 Risultati

Vengono riportati anche in questo caso i vari andamenti dei parametri, con frequenza giornaliera.



*Figura 61 - Andamento giornaliero dei parametri influenzanti l'OEE e l'EOEE nel 2022*

Dalla figura precedente si apprezza l'andamento generale dei parametri, ma non si riescono a cogliere con chiarezza i vari trend e le loro variazioni. Si è avviata un'altra analisi su dati aggregati, su base mensile, per poter avere una visione più chiara di come si comporta la macchina nel tempo.

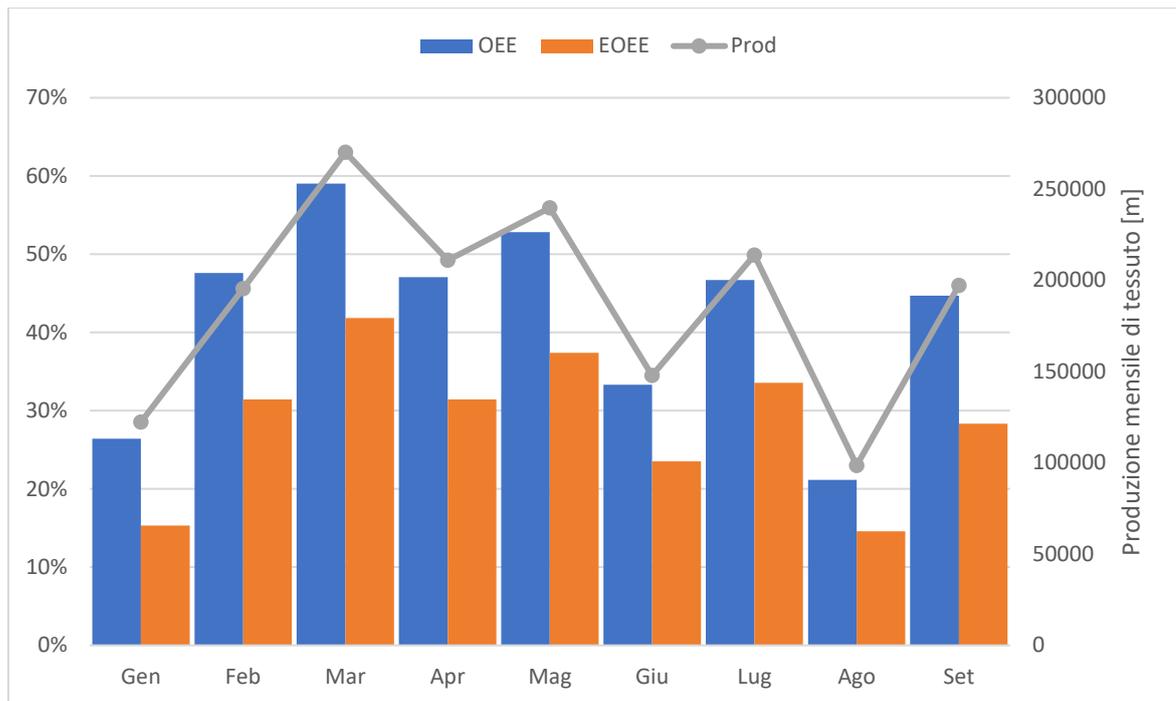


Figura 62 - Andamento dell'OEE e dell'EOEE per l'anno 2022

Si apprezza un andamento della produzione più altalenante di quello immaginato in precedenza. Questo andamento lo si riscontra anche nei parametri prestazionali (OEE ed EOEE). Il valore degli indici segue quindi l'andamento della produzione, caratteristica comune all'anno precedente ed anche il precedente caso studio.

Vengono anche proposti i valori numerici dei vari parametri, nella tabella che segue, viene anche inserito, per completezza l'andamento del consumo energetico, in forma di energia primaria.

Tabella 15 - Valore dei parametri influenzanti l'EOEE, la produzione e il consumo energetico per il 2022

	Availability	Performance	Quality	KPI	OEE	EOEE	Produzione [m]	TEP consumati
Gen	46%	58%	98%	58%	26%	15%	122.306	13,64
Feb	71%	69%	98%	66%	48%	31%	195.503	19,40
Mar	79%	76%	98%	71%	59%	42%	270.107	25,01
Apr	69%	69%	98%	67%	47%	31%	210.993	20,46
Mag	73%	73%	98%	71%	53%	37%	239.681	22,32
Giu	49%	69%	98%	71%	33%	24%	147.777	13,69
Lug	70%	68%	98%	72%	47%	34%	213.777	19,51
Ago	32%	68%	98%	69%	21%	15%	98.605	9,19
Set	72%	64%	98%	63%	45%	28%	197.200	20,35

In conclusione vengono forniti gli andamenti dei vari parametri (tranne della *Quality*) in funzione della produzione, in forma grafica.

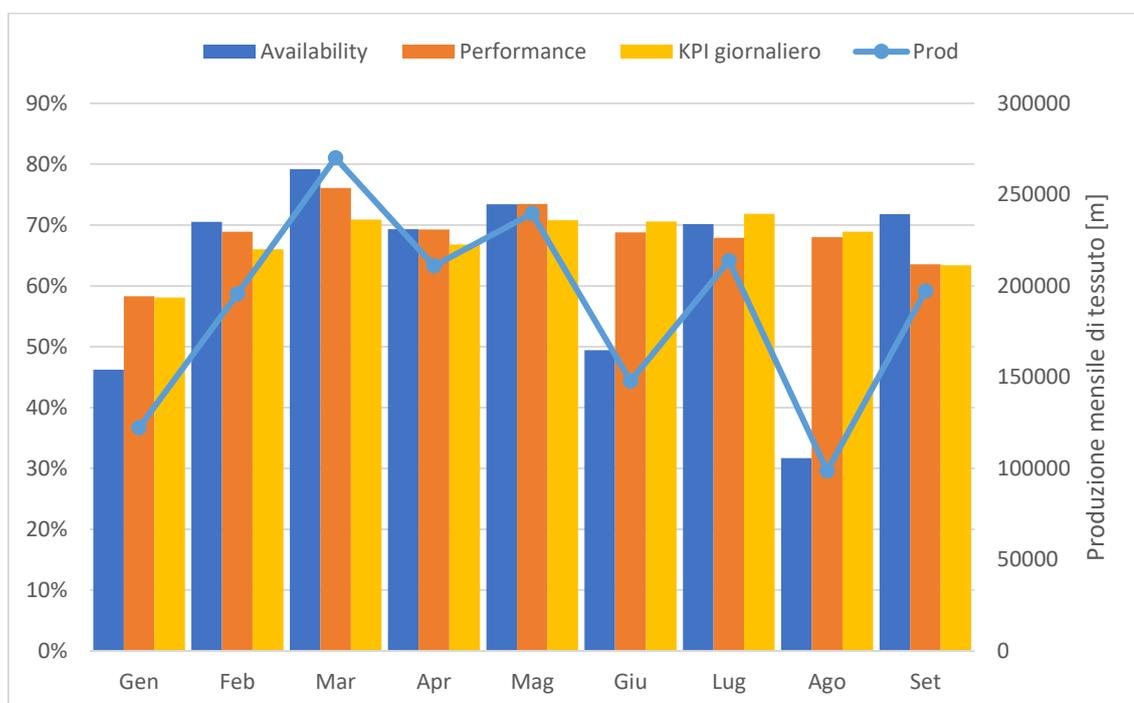


Figura 63 - Andamento della A, P e del KPI in relazione della produzione per il 2022

L'andamento dei parametri risulta essere abbastanza costante, senza troppe oscillazioni, se non per il mese di Gennaio in cui sono presenti i valori minimi sia per la *Performance* che per il *KPI*. Discorso diverso è da fare invece per la *Availability* che è soggetta ad una maggiore oscillazione, più soggetta alla variabilità della produzione.

Per concludere l'analisi si è svolto un lavoro di confronto sulle prestazioni della macchina soffiatrice per i due anni monitorati.

## 6.4 Confronto dei due anni

Per concludere l'analisi su quest'ultimo caso studio, si sono andati a confrontare gli andamenti dei vari parametri e come variano nel tempo tra il 2021 ed il 2022. Questa comparazione ha lo scopo di cogliere i cambiamenti di tipo gestionale, come variazioni macroscopiche di disponibilità, e prestazionali, come variazioni del KPI che avvengono tra un anno e l'altro.

Ogni parametro sarà sempre rappresentato in funzione dell'andamento della produzione, per comprendere il peso che quest'ultima ha sul parametro stesso.

Come prime rappresentazioni vengono riportati gli andamenti mensili dell'OEE e dell'EOEE. Come per il caso studio precedente il confronto sarà fatto fino al terzo trimestre, visto che i dati disponibili del 2022 più aggiornati terminano in corrispondenza della fine di Settembre.

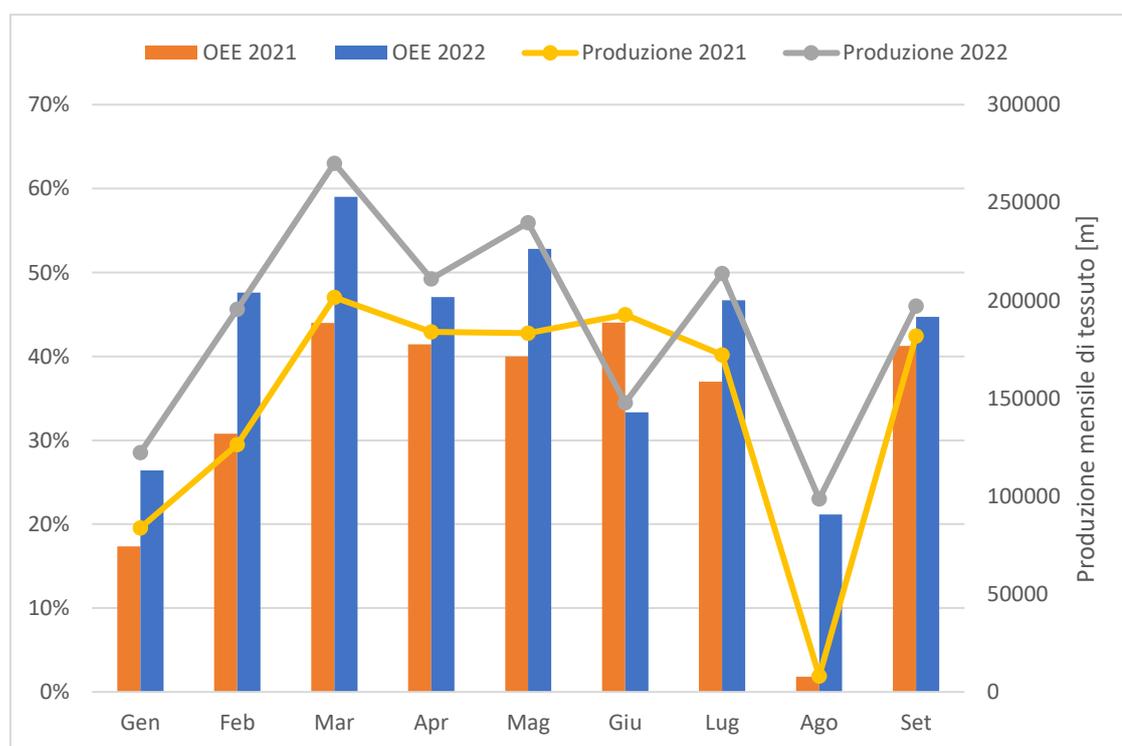


Figura 64 - Confronto valori OEE tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile

Si nota immediatamente l'incidenza del volume produttivo nell'OEE. Nel 2022 la macchina soffiatrice risulta essere quasi sempre molto più efficace che nel 2021. L'inversione dell'andamento, lo si ha in concomitanza di un cambiamento nel rapporto dei volumi produttivi. Nel mese di Giugno, infatti risulta superiore l'OEE calcolato in riferimento all'anno 2021.

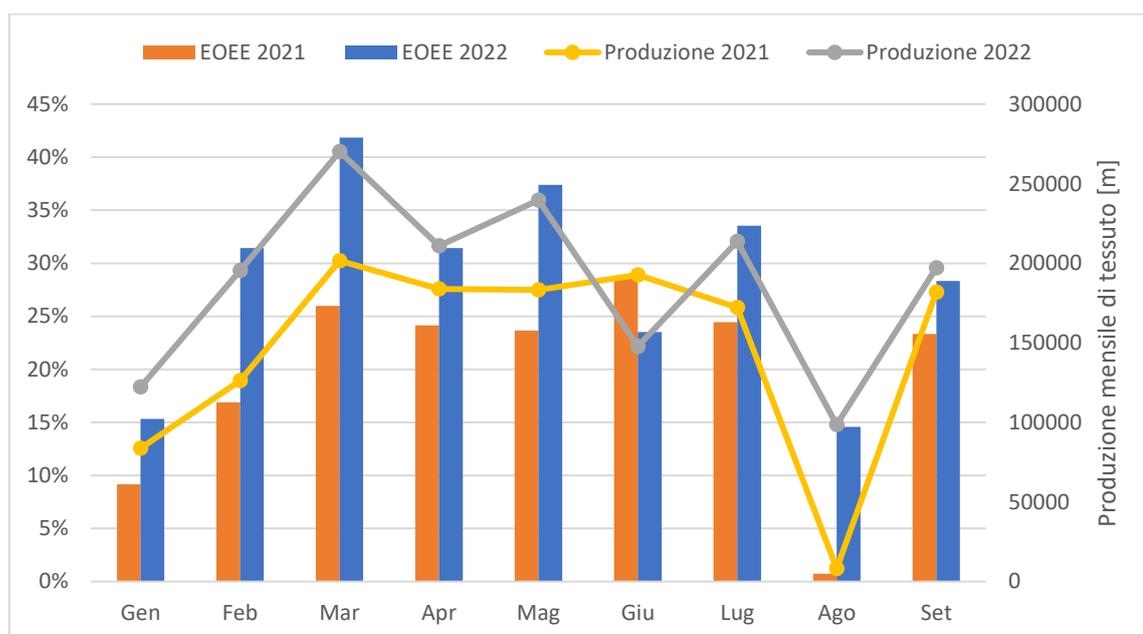


Figura 65 - Confronto valori EOOE tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile

L'andamento dell'EOEE prosegue seguendo un trend simile a quello visto in Figura 65. In questo caso, tuttavia, si apprezza un delta maggiore tra i valori registrati nel 2022 e quelli valutati nel 2021. Questo è indicativo di come, evidentemente, nel 2021 ci sia stato un consumo energetico non ottimale.

Per cogliere meglio le cause di cosa abbia comportato l'ottenimento dei risultati appena commentati, si effettua un focus su ogni singolo parametro caratterizzante l'OEE e l'EOEE, ad esclusione della *Quality*.

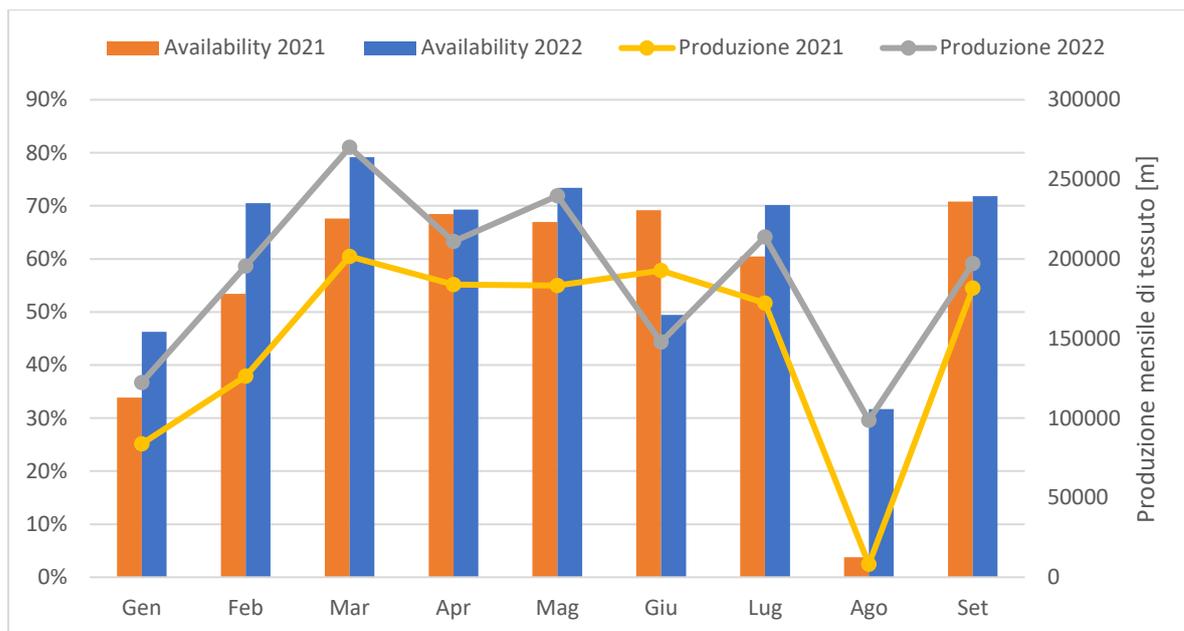


Figura 66 - Confronto valori Availability tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile

L'Availability anche per questo caso studio risulta strettamente legata alla produzione, come visto anche per il caso studio precedente. Infatti i due fattori hanno gli stessi andamenti, da questo né si può trarre di come ancora una volta l'Availability risulti un elemento trascinate nell'efficacia di processo.

Al confronto però con i due anni non si riescono ad apprezzare ulteriori caratteristiche, se non proprio il fatto che nel 2021 si ha avuto una maggior costanza nei livelli di disponibilità, soprattutto per il periodo che va da Marzo a Giugno.

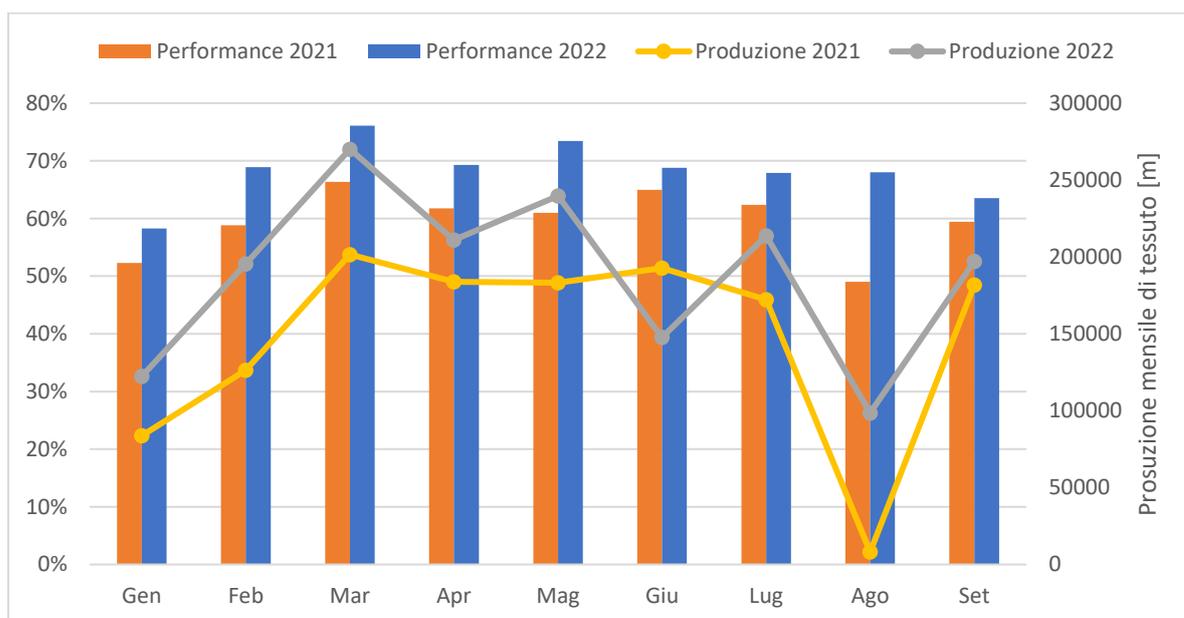


Figura 67 - Confronto valori Performance tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile

Per la *Performance* anche in questo caso si hanno degli andamenti che seguono la produzione ma in maniera più smorzata rispetto all'*Availability*. Questo denota che quando la macchina risulta in funzione questa è sfruttata in maniera pressoché costante per il periodo di riferimento, non avendo particolari rallentamenti di produzione.

Soprattutto per l'anno 2022 nel periodo che intercorre tra Aprile e Settembre, dove si hanno forti delta di produzione le prestazioni della macchina quasi non ne risentono, avendo valori superiori al 60%.

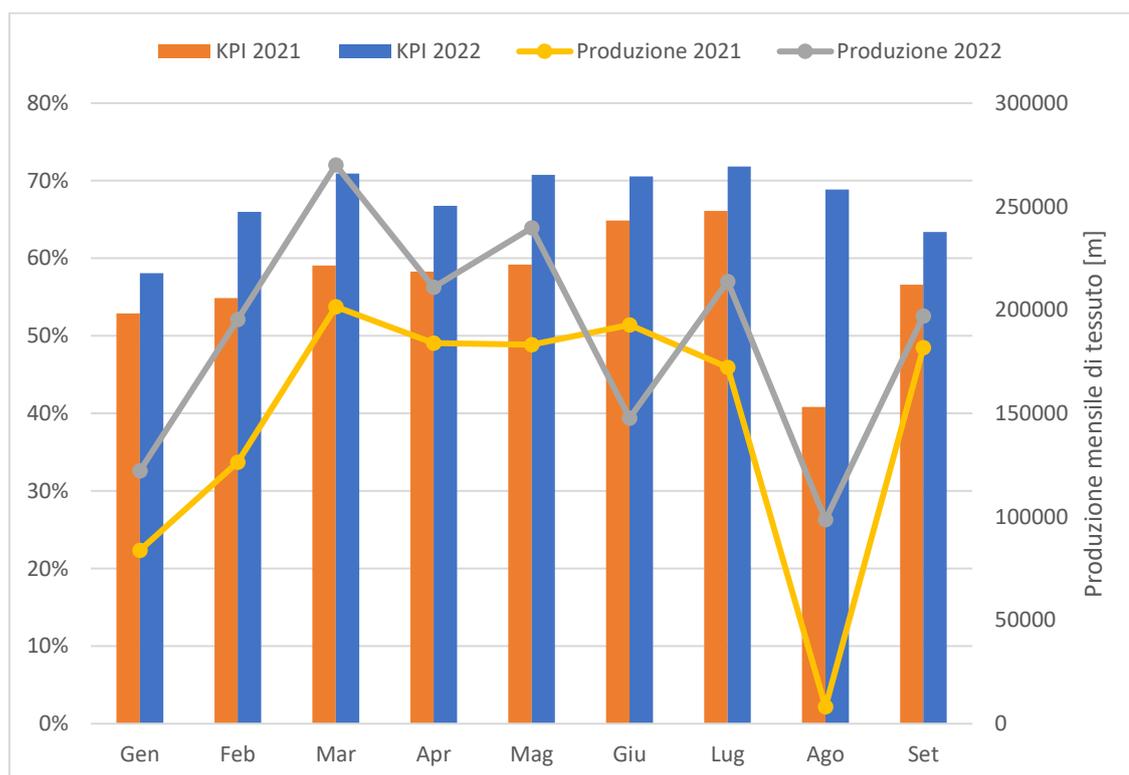


Figura 68 - Confronto valori KPI tra il 2021 ed il 2022 per l'azienda tessile

In conclusione si affronta l'analisi dell'andamento del *KPI* energetico nei due anni di riferimento. Nonostante un primo andamento crescente del parametro, in concomitanza con un aumento della produzione, soprattutto per il 2022 il suo valore non oscilla in maniera eclatante. Per il mesi di Agosto, infatti, nonostante il calo drastico della produzione l'indicatore energetico di attesta su valori vicini al 70%, dimostrando come il *KPI* porti, come informazioni aggiuntive rispetto ai parametri tradizionali dell'*OEE*, informazioni sullo stato di funzionamento della macchina stessa. Si ottengono informazioni legate all'efficienza di processo più che sulla sua efficacia, già descritta dall'*OEE*.

Il confronto con l'anno 2021 evidenzia di fatto come la macchina in quell'anno operasse con un'efficienza minore, andando a ridurre le sue prestazioni energetiche, che risultano più dipendenti dal volume produttivo.

## 7 CONCLUSIONI

Oggi, come mai prima d'ora, è sempre più importante l'uso consapevole e non sconsiderato delle risorse, sia di materie prime che energetiche. In questo contesto è evidente come per le aziende sia necessario intraprendere un percorso di consapevolezza che miri, attraverso l'informazione, la formazione e l'istruzione, ad un utilizzo ottimale di tali risorse.

Questa consapevolezza deve essere introdotta, soprattutto, nelle realtà industriali in cui i volumi di consumo di materie prime e di energia sono elevati, al fine di rendere i processi più efficienti possibili. A tale scopo è fondamentale disporre di un sistema di monitoraggio affidabile capace di controllare e conservare uno storico di tutte le attività che avvengono all'interno dei confini aziendali. I sistemi MES sono stati pensati proprio per svolgere tale compito, con lo scopo ultimo di aumentare l'efficacia dei vari processi produttivi.

L'efficacia di un sistema produttivo, di fatto, si rileva evidenziando la capacità di questo nel riuscire a portare a termine un dato compito assegnatoli. Nelle industrie per esempio si può esprimere nel realizzare un dato prodotto o commessa, secondo quanto richiesto dal cliente, in termini di numero, qualità e tempi. Grazie proprio alla capacità del MES di lavorare con dati in tempo reale, a livello di macchina, si riesce a fornire un quadro globale dell'effettiva producibilità dell'impianto.

Lo studio svolto prevedeva quindi la valutazione di un possibile ampliamento di queste già ottime, ed ampiamente usate, possibilità in un'ottica di includere anche aspetti che riguardino l'efficienza energetica dei processi stessi. Un monitoraggio costante in tempo reale dei consumi energetici, valutati secondo metriche specifiche, come quella introdotta in questo studio, porterebbe senz'altro vantaggi economici nel lungo periodo. Infatti come già detto le metriche classiche usate dal MES per comunicare lo stato delle macchine, portano informazioni che sono omnicomprensive di più fattori influenzanti l'efficacia produttiva. Di fatto se il macchinista tarda all'avviamento della produzione, questo ritardo andrà ad influire sull'efficacia del sistema. Anche un rallentamento nell'approvvigionamento delle materie prime o ancora un lotto di scarsa qualità, sono ancora tutti fattori che influenzano il rispetto degli obiettivi imposti al sistema e che impattano l'efficacia finale.

Dei parametri sopra citati però non si ha mai un focus specifico sullo stato del consumo energetico da parte dei macchinari e sul loro stato. Proprio in questo contesto si va a inserire l'implementazione ricercata che prevede di monitorare l'andamento dei consumi energetici in funzione della produzione. Tale parametro si inserirebbe in un contesto differente rispetto a

quello degli indicatori già implementati, garantendo un monitoraggio in tempo reale, sfruttando l'architettura del MES, dell'efficienza delle macchine. In questo modo si avrebbero informazioni esclusivamente sulle condizioni dell'attrezzatura di lavoro di una determinata azienda. Il contributo di questa implementazione sarebbe quello di cogliere, per esempio, un possibile calo delle prestazioni energetiche dei macchinari od eseguire una manutenzione preventiva evitando sprechi energetici, superflui, e di stressare più del necessario i macchinari. Con un monitoraggio di tipo costante e prolungato si potrebbero quindi definire dei range di accettabilità in cui il consumo energetico, in relazione alla produzione possa essere accettabile. Impostando quindi dei sistemi informativi che si attivano nel caso di fuoriuscita da questi range, fornendo quindi un segnale che la macchina necessita di un controllo.

Per le aziende che già da tempo hanno introdotto sistemi di monitoraggio simili è un interessante implementazione che si può introdurre per un continuo miglioramento all'interno dell'azienda.

Il problema di una sua applicabilità, come anche visto nel primo caso studio dell'azienda vitivinicola, risulta lo stesso che si aveva con l'implementazione del MES. La condizione necessaria al fine che tali sistemi di monitoraggio funzionino con i massimi benefici, risiede proprio nella struttura dell'azienda. Affinché i costi di installazione siano considerati accettabili le caratteristiche rimangono sempre le stesse, il soggetto deve avere necessità di un monitoraggio capillare dettato da: gli alti volumi produttivi, alti standard da rispettare ed una produzione costante.

Si è osservato, infatti, che nel primo caso studio la mancata produttività ha reso non interessante un prosieguo dell'analisi, vista l'impossibilità nel poter garantire una caratterizzazione adeguata del sistema, sia da un punto di vista dell'efficacia che dell'efficienza. A maggior ragione per le valutazioni di carattere energetico si prevede la necessità di un orizzonte temporale abbastanza ampio, come nel caso dei successivi due casi studio, in cui si avevano a disposizione più anni di dati. Questo serve per garantire la validità dell'analisi creando una baseline che possa essere rappresentativa del sistema stesso. La difficoltà, inoltre, nel reperire dati energetici relativi alle singole macchine è un fattore limitante per le possibili applicazioni di questo tipo di monitoraggio. È più probabile trovare dati sui consumi di natura aggregata o riguardanti la linea o addirittura a livello di quadro elettrico di stabilimento.

Ultimo aspetto, non trascurabile, da considerare, inoltre, è che tale metrica se implementata potrebbe essere un ulteriore incentivo da parte delle aziende ad integrare i sistemi di

monitoraggio MES, con tutta l'infrastruttura hardware che ne consegue. Infatti per le aziende che ne necessiterebbero ma non riescono a sostenere i costi iniziali, o a giustificarli a livello di bilancio, una metrica che riduca gli sprechi energetici, che di fatto garantisca un risparmio economico aggiuntivo ai risparmi ottenibili con il MES tradizionale potrebbe influire sulla scelta finale. Ricordando anche i vantaggi economici che si assicurerebbero nel garantire un prolungamento nella vita utile delle macchine e sui costi di manutenzione.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] M. S. Y. H. P. A. Petri Helo, «Toward a cloud-based manufacturing execution system for distributed,» 2014.
- [2] M. P. -. I. 4.0. [Online]. Available: <https://www.casalicomputers.com/mes-produzione-industria-4-0>.
- [3] «Manufacturing Execution System 2017 R2 – Operations,» 2019.
- [4] S. Henderson, «The Benefits of MES: A Report from the Field,» 11 Marzo 2016. [Online]. Available: <https://silo.tips/download/the-benefits-of-mes-from-the-field>.
- [5] T. V. Xinyu Chen, «Implementation of the Manufacturing Execution System in the food and beverage industry,» 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877420300315>.
- [6] B. Confederation of the Food and Drink Industries of the EU. Brussels, «FoodDrinkEurope,» 2018.
- [7] F. Clausson, «MES in Pharmaceutical Industries».
- [8] «mainsim,» [Online]. Available: <https://www.mainsim.com/academy/tpm/>.
- [9] H. A. P. a. D. A. E Y T Adesta, «Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance,» 2018. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/290/1/012024>.
- [10] «TPM Total Productive Maintenance,» 28 7 2018. [Online]. Available: <https://www.assoeman.it/2018/07/tpm-total-productive-maintenance/#:~:text=La%20TPM%20si%20articola%20su,formazione>.
- [11] L. R. M. D. M. d. M. E. Mariano Jiménez, «5S methodology implementation in the laboratories of an industrial,» 2015.
- [12] B. H. I. A. M. Yunos Ngadiman, «Exploring the overall equipment effectiveness (OEE) in an industrial manufacturing plant,» 2013.
- [13] M. E. N. Raffaele Iannone, «Managing OEE to Optimize Factory Performance,» [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.2078&rep=rep1&type=pdf>.
- [14] F. D. N. D. P. a. A. T. L. Giancarlo Nota, 17 Agosto 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6631>.
- [15] J. O. P. O. D. P. Amrik Sohal, «Implementation of OEE – issues and challenges,» Gennaio 2010. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/228974091\\_Implementation\\_of\\_OEE\\_-\\_Issues\\_and\\_challenges](https://www.researchgate.net/publication/228974091_Implementation_of_OEE_-_Issues_and_challenges).
- [16] «TPM – TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE,» [Online]. Available: <https://www.mitconsulting.it/tpm-total-productive-maintenance/>.
- [17] V. K. S. J. Kumar, «An Exploratory Study of OEE Implementation in Indian Manufacturing

- Companies,» 2015. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40032-014-0153-x>.
- [18] G. FadiShrouf, «Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management,» 1 Agosto 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615002760?via%3Dihub>.
- [19] A. P. S. Melesse Workneh Wakjira, «Total Productive Maintenance: A Case Study in Manufacturing,» Febbraio 2012. [Online]. Available: <https://engineeringresearch.org/index.php/GJRE/article/view/680>.
- [20] «An Application of Overall Equipment Effectiveness (OEE) for Minimizing the,» 2020.
- [21] «Manufacturing Execution System 2017 R2 – Performance,» 2019.
- [22] «Industrial Software Solution,» 2022. [Online]. Available: <https://industrial-software.com/community/news/you-know-wonderware-what-is-aveva/>.
- [23] «AVEVA,» [Online]. Available: <https://www.aveva.com/en/products/system-platform/>.
- [24] D. C. S. S.Bougain, «Towards Energy Management in Production Planning Software Based on Energy Consumption as a Planning Resource,» 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114009068>.
- [25] «Quentic, Whitepaper ISO 50001,» [Online].
- [26] «Il ciclo del risparmio energetico appreso,» 19 Gennaio 2019. [Online]. Available: <http://alloraspengo.it/blog/ciclo/>.
- [27] G. A. United Nations, «Report of the World Commission on Environment and Development,» 11 Dicembre 1987. [Online]. Available: <http://www.un-documents.net/a42r187.htm>.
- [28] J. W. K. K. R. R. Jeffrey Soplop, «Manufacturing Execution Systems for Sustainability: Extending the Scope of MES to Achieve Energy Efficiency and Sustainability Goals,» 2009.
- [29] «FIRE,» 2016. [Online]. Available: <https://em.fire-italia.org/nuove-regole-la-nomina-dellenergy-manager/2016-01-pre-modulo-nemo/>.
- [30] «TIBC,» [Online]. Available: <https://www.tibco.com/it/reference-center/what-is-outlier-detection>.

