



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali DTG

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**PASSAGGIO A INDUSTRIA 4.0:  
RILEVAMENTO AUTOMATICO DELL'OEE.**

*Relatore:*

Prof. Maurizio Faccio

*Laureando:*

Matteo Arlanch  
1181361

Anno Accademico 2020/2021



# Indice

<b>Introduzione</b> .....	<b>7</b>
---------------------------	----------

## **Capitolo 1**

<b>Industria 4.0</b> .....	<b>9</b>
1.1. Le rivoluzioni industriali: un po' di storia .....	9
1.1.1. La prima rivoluzione industriale .....	9
1.1.2. La seconda rivoluzione industriale.....	11
1.1.3. La terza rivoluzione industriale.....	13
1.1.4. La quarta rivoluzione industriale.....	15
1.2. Le tecnologie abilitanti .....	17
1.3. L'evoluzione del lavoro e i vantaggi dell'Industria 4.0.....	29
1.4. Manufacturing Execution System (MES).....	32
1.4.1. KPI tracking .....	35

## **Capitolo 2**

<b>L'Overall Equipment Effectiveness</b> .....	<b>37</b>
2.1. Il concetto di Total Production Maintenance (TPM).....	37
2.1.1. Gli otto pilastri della TPM .....	38
2.2. I sistemi di misura delle prestazioni aziendali .....	42
2.3. Differenza tra efficienza ed efficacia .....	45
2.4. Definizione di Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	46
2.5. Le Six Big Losses .....	48
2.6. Il calcolo dell'OEE .....	55

2.6.1. Esempio di calcolo .....	60
2.7. Metodi di rilevamento dell'OEE.....	62
2.7.1. Raccolta manuale .....	63
2.7.2. Raccolta automatica .....	65
2.7.3. Raccolta semi-automatica .....	68
2.8. Potenzialità e limiti dell'OEE .....	69
2.9. Evoluzioni dell'OEE.....	71

### Capitolo 3

<b>Caso studio in Bertagni 1882 S.p.A. (stabilimento di Borghetto di Avio) .....</b>	<b>79</b>
3.1. L'azienda .....	79
3.2. I prodotti .....	80
3.3. Le linee di produzione .....	81
3.3.1. Cucina.....	83
3.3.2. Formatura .....	83
3.3.3. Camera bianca .....	84
3.3.4. Cartonamento .....	86
3.3.5. Sala lavaggi e magazzino .....	86
3.4. Il progetto formativo .....	87
3.5. Analisi del sistema attuale di raccolta dati.....	87
3.5.1. Modulo tira righe.....	88
3.5.2. Moduli degli scarti .....	90
3.5.3. Moduli per la rintracciabilità e per il controllo qualità .....	93
3.6. Analisi del sistema attuale di elaborazione dati.....	93
3.6.1. Inserimento dati.....	94
3.6.2. Analisi dati .....	99

3.6.2.1. Calcolo dell'OEE.....	99
3.6.2.2. Visualizzazione dei report .....	103
3.7. Definizione delle causali dei fermi ricorrenti .....	109
3.8. Analisi delle perdite di produzione del 2020 .....	117
3.9. Analisi del sistema semi-automatico di raccolta dati.....	119
3.10. Conclusioni del caso studio .....	128
<b>Bibliografia.....</b>	<b>133</b>



# Introduzione

L'Industria 4.0 scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale, il processo che porterà alla produzione industriale del tutto automatizzata ed interconnessa. Quando si parla di Industria 4.0 non si può non parlare di quanto sia importante monitorare in modo costante ed approfondito tutte le risorse coinvolte nella produzione e alla gestione delle stesse. Per poter essere competitive le società devono controllare rigorosamente i propri processi produttivi, in modo da identificarne i punti deboli e le eventuali aree di miglioramento, così da ottimizzare la produzione e ridurre i costi. Un modo per poter supervisionare tali processi è la misurazione di *KPI (Key Performance Indicators)*, che possano indicarne il loro andamento. Nelle aziende di produzione il principale *KPI* utilizzato è l'*OEE (Overall Equipment Effectiveness)*, in grado di racchiudere al proprio interno una grande quantità di informazioni suddivise tra problematiche inerenti alla disponibilità, alle *performance* e alla qualità degli impianti produttivi. Migliorare tale indicatore implica migliorare le prestazioni di efficacia delle risorse produttive disponibili, dunque ottimizzare la gestione della produzione e ridurre i costi associati. Sicuramente a questo scopo risultano indispensabili le tecnologie che offre l'Industria 4.0 per la raccolta dei dati di produzione e la loro successiva elaborazione e presentazione. In proposito si inserisce il presente elaborato di tesi, sviluppato presso la Bertagni 1882 S.p.A., azienda alimentare che fonda il suo core business nella produzione di pasta ripiena. L'obiettivo del progetto svolto in azienda riguarda il passaggio da un sistema di rilevamento dell'*OEE* manuale ad uno semi-automatico dove le macchine, connesse in rete, raccolgono automaticamente dei dati di produzione. Tale progetto è stato svolto nello stabilimento di Avio di Borghetto per una durata complessiva di 5 mesi.

Nel capitolo 1 di questo elaborato viene trattata la quarta rivoluzione industriale iniziando da un inquadramento dei concetti di base, per poi passare in rassegna quelle che sono le tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 ed infine esaminare le soluzioni per raccogliere automaticamente i dati di produzione.

Nel capitolo 2 viene espressa l'importanza della misurazione delle *performance* di un impianto produttivo e il ruolo fondamentale svolto dall'*OEE* in tale ottica. Viene

inizialmente presentato l'approccio tradizione del calcolo di tale indicatore e delle varie tipologie di perdite di produzione, per poi trattare i limiti di questa formulazione e descrivere gli altri indicatori, presenti in letteratura, alternativi e/o evolutivi ad esso. In particolare vengono descritte anche le varie metodologie di raccolta ed elaborazione dati di produzione e i vantaggi e svantaggi che esse implicano.

Nel capitolo 3 viene presentato il contesto aziendale della Bertagni 1882 S.p.A. ed il progetto di tesi svolto al suo interno. Dopo una breve spiegazione dei vari reparti e delle varie macchine produttive, viene analizzato il metodo attuale di rilevazione dell'*OEE*, basato sulla raccolta ed elaborazione dati manuale. Infine viene esaminato il sistema di rilevamento dell'*OEE* semi-automatico: in particolare vengono trattate le problematiche riscontrate nella sua attivazione e i vantaggi che la sua implementazione può portare.



# Capitolo 1

## Industria 4.0

### 1.1. Le rivoluzioni industriali: un po' di storia

Fino ad oggi nella storia dell'uomo si sono viste manifestarsi nel tempo quattro importanti rivoluzioni industriali, che hanno portato profondi cambiamenti non soltanto nella produzione in ambito industriale, ma anche socio-culturali. In questo paragrafo verranno brevemente introdotte le prime tre rivoluzioni, partendo dall'utilizzo della macchina a vapore all'avvento di Internet nelle fabbriche.

#### 1.1.1. *La prima rivoluzione industriale*

La prima rivoluzione industriale ebbe inizio in Inghilterra nella seconda metà del XVIII secolo per poi diffondersi, nel secolo seguente, in altri Paesi Europei e negli Stati Uniti d'America. Le condizioni che resero possibile questo sviluppo in Inghilterra furono molteplici come un mondo scientifico avanzato che stimolava le invenzioni tecnologiche, un'industria manifatturiera e grandi proprietari terrieri dotati di importanti capitali di investimento ed aperti ad ogni tipo d'innovazione, l'abbondanza di materie prime nell'isola quali ferro e carbone, l'efficienza della rete di trasporti, la possibilità di poter disporre di un mercato internazionale molto vasto e la migrazione di masse di contadini dalle campagne alle città come in nessun altro paese [1]. La sinergia di tutti questi fattori cambiarono radicalmente il mercato, rendendolo pronto a nuovi prodotti. Durante questo periodo storico, l'applicazione di scoperte scientifiche nel sistema produttivo, rinnovarono la tecnologia industriale e il modo di fare impresa cambiò per sempre segnando il passaggio dalla bottega artigiana, tipica del periodo pre-rivoluzione, alla fabbrica basata sulle macchine. Il settore dove vi furono i primi cambiamenti fu quello tessile: con l'invenzione della spoletta volante e della macchina filatrice, si iniziarono a costruire nuove fabbriche

nei pressi dei corsi d'acqua per usufruire della sua energia potenziale. L'invenzione più importante che caratterizzò questo periodo storico fu sicuramente la macchina a vapore di Watt, realizzata perfezionando un modello di Newcomen. La richiesta di carbone sempre in aumento spinse allo sviluppo sia l'industria estrattiva sia dei trasporti. Con la realizzazione delle prime ferrovie il treno divenne presto il mezzo terrestre più veloce a disposizione dell'uomo e i battelli a vapore si rilevarono importanti per il trasporto di materiali particolarmente pesanti. Nuove tecniche di coltivazione e l'introduzione di nuove macchine, come per la trebbiatura, portarono anche ad una vera e propria rivoluzione agricola. Il possesso delle terre passò dalle mani di piccoli agricoltori a grandi proprietari terrieri: l'agricoltura divenne imprenditoriale. L'aumento del lavoro, della ricchezza e delle risorse alimentari portarono ad un importante aumento demografico ed un significativo cambiamento della società. Molti contadini lasciarono le campagne per trasferirsi nelle città, dove le imprese artigiane furono sostituite con le fabbriche. Il concetto di suddivisione del processo produttivo si rafforzò e per la prima volta i lavoratori vennero organizzati con funzioni, orari e ritmi secondo criteri nazionali, ciò che oggi sta alla base delle economie altamente sviluppate. Parallelamente alla nascita delle fabbriche, nacque il proletariato, la classe sociale di lavoratori salariati, che si contrappose alla classe borghese proprietaria dei mezzi di produzione. La rivoluzione industriale andò ad arricchire notevolmente le classi alte, come quella della borghesia capitalista. Di contro gli operai ricevevano bassi salari e gli orari lavorativi andavano in media dalle 13 alle 15 ore giornaliere; inoltre non erano tutelati da alcuna protezione sociale, infatti si assisteva spesso ad ondate di disoccupazione nei periodi in cui la domanda di manodopera calava [1]. I bambini erano largamente impiegati nelle fabbriche e, come le donne, avevano retribuzioni ancora più basse. Proprio durante questo periodo storico si fondarono in molti stati le prime organizzazioni operaie, che s'imposero per migliorare le condizioni della loro categoria catturando l'attenzione della pubblica opinione e delle classi dirigenti. Concludendo dunque la prima rivoluzione industriale vide come protagonista l'utilizzo industriale della macchina a vapore e la sua maggiore espressione in termini di organizzazione fu la nascita del sistema di fabbrica: da una parte i padroni, ex artigiani aventi grandi capitali necessari

all'investimento tecnologico e al pagamento dei salari; e dall'altra parte gli operai, per lo più ex contadini che iniziarono a vendere la loro forza lavoro ai primi.

### ***1.1.2. La seconda rivoluzione industriale***

Per un secolo la rivoluzione industriale interessò solo l'Inghilterra, il Belgio, parte della Francia e alcune zone della Germania. La seconda rivoluzione prese inizio verso la metà del XIX secolo e vide l'Inghilterra cedere il proprio primato, infatti l'industrializzazione si estese e si intensificò in Germania, nelle zone settentrionali dell'Italia, nell'Impero austro-ungarico, nell'Impero russo, in Giappone e in America [1]. L'industrializzazione cambiò radicalmente la società e l'economia di questi paesi, che passarono da un'economia agricola ad una industriale. Questa rivoluzione divise i paesi ricchi, altamente industrializzati, da quelli poveri, poco o per nulla industrializzati. Parallelamente all'urbanizzazione delle città, tale periodo fu caratterizzato anche da una grandissima emigrazione, specialmente verso il continente americano. Le fabbriche non solo si diffusero, ma si trasformarono: per tale motivo questo periodo storico viene considerato come una vera seconda rivoluzione industriale, per distinguerla da quella avvenuta in Gran Bretagna nel secolo precedente. Come per la prima rivoluzione industriale, tutte queste innovazioni non toccarono soltanto il mondo industriale e degli affari in generale, ma anche la società e la vita quotidiana di tutte le persone. Le novità tecnologiche che caratterizzarono questa seconda evoluzione furono le nuove forme di energia a disposizione: il carbone fu affiancato dall'energia elettrica e dal petrolio. Ciò portò alla creazione e all'utilizzo di una nuova tecnologia di macchine, ampliando enormemente ancora una volta la capacità produttiva. L'utilizzo di turbine, dinamo e generatori permise di utilizzare, trasportare ed accumulare l'energia elettrica. Nacquero le prime centrali elettriche che potevano essere alimentate col carbone o con l'energia idraulica, permettendo anche ai paesi poveri di risorse minerarie, ma ricchi di correnti d'acqua (come l'Italia), di partecipare a questo fenomeno. Il petrolio invece iniziò ad avere importanza a fine '800 con l'invenzione del motore a combustione interna. Anche il settore dei trasporti ebbe un notevole sviluppo, permettendo alle fabbriche di vendere e acquistare merce in breve tempo e a grandi distanze, introducendo l'inizio del mercato globale. Ciò fu

favorito anche da altre due invenzioni di fine '800 che resero il mondo ancora più "piccolo": il telegrafo e il telefono, che permisero di comunicare in tutto il mondo, prima con impulsi elettrici e successivamente con la voce. Durante questo periodo si affermò il gigantismo industriale che ricorreva alle catene di montaggio e ai supporti elettromeccanici nelle fasi lavorative: si affermarono fabbriche con migliaia o persino decine di migliaia di lavoratori con precise gerarchie di potere, caratterizzate da un'organizzazione del lavoro mai vista prima. Accanto alle masse di operai, nacquero nuove classi di dirigenti e impiegati con funzioni amministrative e direttive. Le banche e gli altri enti dotati di grandi patrimoni strinsero legami con le industrie, segnando così l'avvento del capitalismo finanziario. Durante la seconda rivoluzione industriale si alterarono periodi di grande sviluppo, accompagnati da un arricchimento degli industriali e, in minima parte, degli operai, e periodi di crisi, come quella di fine '800 che interessò l'Europa e gli Stati Uniti, accompagnati da disoccupazione e miseria a seguito della chiusura di molte fabbriche. Queste crisi erano dovute sia all'offerta delle merci immerse nel mercato dalle industrie che superavano la domanda, sia dall'importazione estere di merci a basso costo. Per la prima volta dunque gli stati intervennero nell'economia attuando politiche per far diventare più care le merci estere introducendo dei dazi doganali e favorendo quelle interne. Le fabbriche che soffrirono maggiormente queste crisi e costrette a chiudere furono quelle più piccole che non avevano grossi capitali per rinnovarsi e modernizzarsi. Le grosse industrie quindi, avvantaggiate dalla diminuzione della concorrenza, diventarono sempre più grandi e potenti. Dalla libera concorrenza si passò al monopolio di alcune fabbriche finanziate dalle banche, che assunsero sempre più importanza fino a diventare addirittura proprietarie delle fabbriche stesse. Concludendo dunque la seconda rivoluzione industriale vide come protagonista l'utilizzo industriale dell'energia elettrica e la sua maggiore espressione in termini di organizzazione fu la nascita delle prime grandi fabbriche basate sul sistema Taylor-Fordistico. Henry Ford introdusse nella *Ford Motor Company* le catene di montaggio: un metodo di produzione, conosciuto come Fordismo, in cui l'operaio stava fermo e la catena di montaggio portava davanti ad esso il pezzo su cui lavorare con operazioni elementari e standardizzate. Questo permise di abbattere i tempi di produzione e il costo unitario dei prodotti. Tale risparmio aumentò quando gli operai

vennero istruiti secondo il metodo del Taylorismo, concetto introdotto da Frederick Winslow Taylor che prevedeva di individuare il metodo migliore, più efficiente e meno costoso di produrre, scomponendo il ciclo produttivo in un alto numero di operazioni elementari da compiere in un determinato periodo [2].

### **1.1.3. La terza rivoluzione industriale**

Il periodo storico caratterizzato da benessere e divertimento, conosciuto come *Belle Époque*, che aveva portato la seconda rivoluzione industriale culminò con lo scoppio della prima guerra mondiale. Tutte le maggiori potenze infatti volevano assicurarsi materie prime e nuovi sbocchi commerciali tramite strategiche espansioni, prima nelle colonie e poi nel continente europeo stesso [1]. La terza rivoluzione industriale ebbe inizio nella seconda metà del XX secolo, subito dopo la fine della seconda guerra mondiale, nei paesi più sviluppati, cambiando ancora una volta il modo di produrre, di lavorare e di vivere. Durante questa era il settore terziario dell'economia, ovvero quello dei servizi, superò il settore primario (agrario) e quello secondario (industriale). Rispetto al secolo precedente, in cui si cercava di produrre il più gran numero di prodotti nel minor tempo possibile (sistema Tayloristico-Fordistico), la domanda dei consumatori mutò, mostrandosi sempre più esigenti ed attenti alla qualità e all'originalità del singolo bene. Informatica, elettronica e telematica furono le parole chiave di questo periodo storico: la più grande innovazione tecnologica fu il computer, che segnò l'inizio dell'era del digitale. I computer e le macchine informatizzate permisero di diffondere l'automazione e la diversificazione della produzione, migliorando notevolmente la qualità e l'efficienza produttiva e diminuendo, ancora una volta, la necessità di mano d'opera. L'istruzione, la conoscenza, la capacità di progettazione e l'innovazione acquisirono sempre più importanza: l'operaio con poche competenze professionali venne sempre meno richiesto dalle fabbriche, che invece necessitavano sempre di più di operai specializzati, ricercatori, ingegneri, tecnici e manager [3]. Molte industrie mutarono la propria organizzazione: invece di produrre tutto al proprio interno in immense fabbriche, iniziarono ad affidare parte della produzione ad imprese specializzate esterne. Ancora una volta tutto ciò fu possibile grazie allo sviluppo parallelo del settore dei trasporti, che migliorò sia nel

campo terrestre e marittimo con treni, auto, camion e navi sempre più performanti, sia nel campo aereo. “Va detto che il sistema industriale tradizionale, fondato sulla catena di montaggio e su un’abbondante manodopera operaia, non è mai scomparso del tutto, ma si è soltanto trasferito nei paesi in via di sviluppo, dove i salari dei lavoratori sono ancora molto bassi” [3]. In Giappone, nello stabilimento della *Toyota*, nacque un nuovo sistema di produzione, il *Toyota Production System (TPS)*, anche detto Toyotismo, ideato dall’ingegnere Taiichi Ohno. Questa concezione, alternativa alla produzione di massa Fordista, si diffuse in seguito anche in occidente. Il concetto che stava alla base di questa filosofia di produzione era di utilizzare nel modo più efficace possibile tutte le risorse disponibili, con l’obiettivo di aumentare il più possibile la produttività: in altre parole cercare di produrre di più utilizzando di meno [4]. Due aspetti fondamentale della *TPS* sono la *Lean Production* (produzione snella), che mira ad eliminare tutto che è superfluo ed appesantisce il sistema senza generare valore, e il *Just In Time (JIT, appena in tempo)*, che mira alla riduzione degli stock e delle giacenze favorendo la produzione solo quando serve, cioè quando si manifesta la richiesta del cliente. Negli stabilimenti Fordisti era presente una rigida struttura gerarchica del personale e gli operai erano condannati a passare tutta la giornata lavorativa nell’esecuzione affannosa di poche e ripetitive mansioni manuali che ne riducevano la produttività. Questo schema venne spezzato negli stabilimenti *Toyota* che per primi capirono che l’individualismo e lo scarso senso del collettivo portavano a sprechi e inefficienze, favorendo invece le opinioni e il lavoro di gruppo: manager, ingegneri, tecnici, manutentori e semplici operai iniziarono a lavorare tutti assieme, organizzati per squadre. Di fondamentale importanza divenne dunque la comunicazione tra i lavoratori all’interno della fabbrica, poiché ogni membro doveva essere al corrente su tutto ciò che accadeva negli altri reparti e nell’intera azienda. Concludendo dunque la terza rivoluzione industriale vide come protagonista l’utilizzo industriale dei computer e la sua maggiore espressione in termini di organizzazione fu la nascita delle prime multinazionali, ovvero aziende leader che coordinano un’ampia rete di imprese operanti in tutto il globo.

#### 1.1.4. La quarta rivoluzione industriale

Oggi stiamo vivendo la quarta rivoluzione industriale che, a differenza delle precedenti, non ha ancora una precisa data di inizio: essa sarà probabilmente riconosciuta soltanto a posteriori. L'Industria 4.0, il fenomeno più quotato del momento in ambito di innovazione, è un processo che scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale con l'intenzione di arrivare ad una produzione industriale del tutto automatizzata ed interconnessa. Il termine *Industrie 4.0* (in tedesco) è stato utilizzato ufficialmente per la prima volta nel 2011 in Germania alla fiera di Hannover, il più grande evento tecnologico industriale del mondo. A ottobre 2012 un gruppo di lavoro dedicato all'Industria 4.0, coordinato da Siegfried Dais e da Henning Kagermann, presentò al governo tedesco una serie di raccomandazioni per la sua implementazione. L'8 aprile del 2013, sempre all'annuale fiera di Hannover, fu diffuso il report finale del gruppo di lavoro con una previsione di investimenti necessari su infrastrutture, scuole, sistemi energetici, enti di ricerca e aziende per ammodernare il sistema produttivo tedesco e renderlo più competitivo a livello globale. Tale modello è stato poi fonte d'ispirazione per tutti gli altri stati. L'introduzione di un mix tecnologico di automazione, informazione, connessione e programmazione sta portando ad un cambio dei modelli tecnologici e culturali che, coinvolgendo il settore industriale in tutte le sue forme, introduce nuovi obiettivi di sviluppo e di servizio all'insegna di una trasformazione digitale [5]. L'implementazione di queste nuove tecnologie, che si vedranno nel dettaglio nel prossimo paragrafo, sta ponendo le industrie di fronte ad un potenziale cambio di paradigma. A tutti gli effetti si sta vivendo una transizione dal vecchio concetto di fabbrica, al nuovo concetto di *smart factory* (fabbrica intelligente), caratterizzata da una maggiore interconnessione e cooperazione tra impianti, persone ed informazioni, sia dentro la fabbrica che lungo la catena del valore [6]. "Secondo la logica della *smart factory* le macchine saranno in grado di coordinarsi, comunicare e interagire fra di loro, condividendo informazioni e suddividendosi il lavoro, anche dal punto di vista del calcolo e del controllo. Le fabbriche, di conseguenza, saranno capaci di produrre senza scarti e senza sprechi di energia. Potranno trasformarsi, comunicare le anomalie ed imparare dai propri errori. Saranno in grado di gestire grandi numeri con la massima accuratezza, avendo sempre meno bisogno di un intervento umano" [7]. In

altre parole, non si tratta solamente di costruire un sistema attraverso le tecnologie provenienti dal mondo dell'informatica, ma anche di creare una forma di intelligenza artificiale, capace di analizzare i dati raccolti e di far diventare i processi autonomi e in grado di autoregolarsi. Il dato assume dunque un ruolo di primaria importanza nella fabbrica intelligente, che passa dall'essere un'informazione appartenente ad un sistema chiuso a diventare un mezzo per creare valore. Uno dei vantaggi principali della logica dell'Industria 4.0 è la capacità di registrare ed analizzare un elevato numero di dati della filiera logistico-produttiva in tempo reale. Questo permette di superare eventuali difficoltà produttive: le macchine interconnesse tra loro saranno capaci di effettuare delle autodiagnosi e dei lavori di manutenzione preventiva. Inoltre, nelle fabbriche 4.0, la flessibilità degli impianti e le nuove tecnologie saranno tali da consentire una forte personalizzazione dei prodotti da parte dei singoli clienti, sempre più esigenti ed attenti alla qualità.

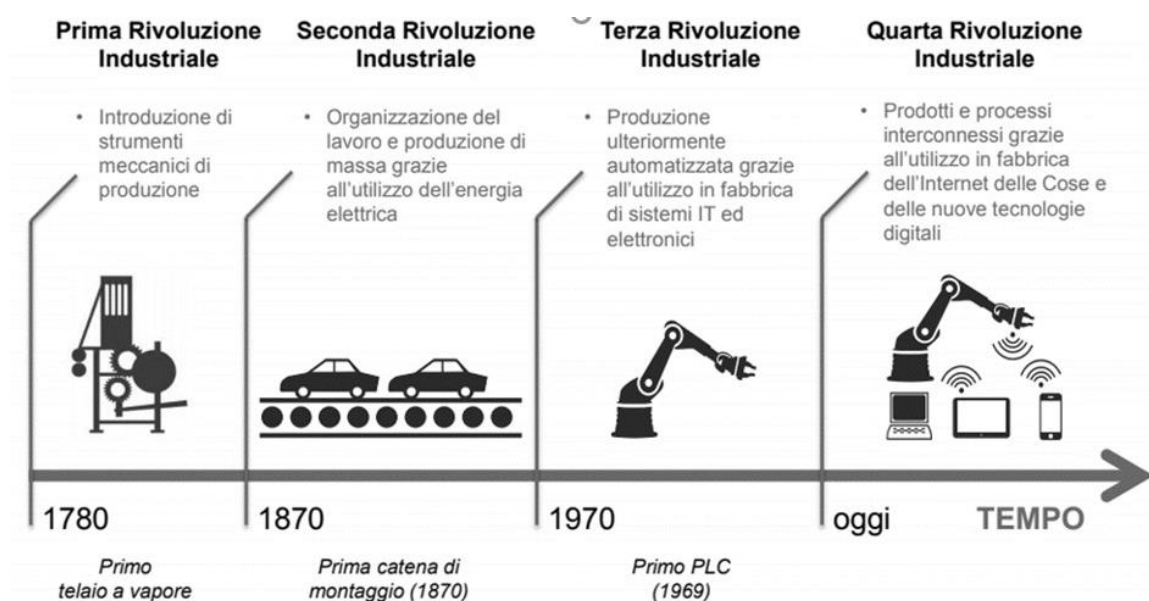


Figura 1.1 Le quattro rivoluzioni industriali.

Sorge spontaneo chiedersi se sia possibile associare il concetto di *Lean Production* con quello di Industria 4.0, o se siano approcci alternativi. Secondo alcuni studiosi il concetto di *Lean Production* può fungere da traino per l'Industria 4.0 poiché vi sono alcuni punti di contatto, come ad esempio il coinvolgimento delle persone,



l'attenzione alla misura e soprattutto l'analisi del dato come base del miglioramento. Allo stesso modo esse divergono per altri aspetti: la propensione alla semplicità e alla minimizzazione del peso dell'automazione che caratterizzano la filosofia di *Lean Production* ne sono un chiaro esempio [8].

## **1.2. Le tecnologie abilitanti**

La quarta rivoluzione industriale è nettamente diversa dall'era dei computer che l'ha preceduta: la fusione di nuove tecnologie è tale da confondere i confini tra il mondo fisico e quello digitale della produzione [9]. Dal nuovo legame tra il mondo fisico delle persone e la realtà digitale, nasce il cosiddetto *Cyber-Physical System (CPS)*, sistema cyber-fisico), cioè un insieme di differenti tecnologie, le quali generano un sistema autonomo, intercomunicante ed intelligente, pertanto capace di facilitare l'integrazione tra soggetti diversi e fisicamente distanti [10]. Il *CPS* sarà in grado di garantire un valore aggiunto nell'efficienza della modellazione, della progettazione e della distribuzione e permetterà di raggiungere nuovi servizi e nuovi prodotti ora irrealizzabili. Quando ci si riferisce alla quarta rivoluzione industriale non bisogna dunque immaginare un'unica innovazione tecnologica, ma un insieme di nuove tecnologie legate alla chiave di questa rivoluzione: Internet. Le aziende, per rimanere competitive sul mercato e per entrare in relazione con quelle che sono le esigenze dei clienti attuali, devono e dovranno riprogettare i propri sistemi di produzione ed investire in nuove tecnologie. Le tecnologie che permettono di sfruttare al meglio le interconnessioni e che permettono ad un'azienda di affrontare la digitalizzazione, nell'Industria 4.0 vengono definite tecnologie abilitanti. Esse possono essere suddivise in due macro-categorie: la prima categoria comprende tutte quelle tecnologie che riguardano più da vicino il sistema informatico, la seconda categoria invece comprende quelle tecnologie più operative. In un altro modo si possono distinguere quelle tecnologie che sono interne all'azienda da quelle che comprendono connessioni esterne all'azienda [11]. È da chiarire che non esiste uno specifico elenco delle tecnologie abilitanti, poiché questo è un mondo in continua evoluzione e risulta difficile e limitante fare una loro classificazione; è possibile che nuove tecnologie e nuove iterazioni tra di esse siano disponibili in futuro, che daranno origine a nuovi

modi d'uso delle stesse. Per fornire però una panoramica di queste tecnologie abilitanti si farà riferimento a alle nove individuate nel “Piano Nazionale Industria 4.0” stilato dal Ministero dello sviluppo economico [12]: *Advanced Manufacturing Solutions, Additive Manufacturing, Augmented Reality, Simulation, Horizontal and Vertical Integration, Industrial Internet, Cloud, Cyber-security e Big Data and Analytics.*

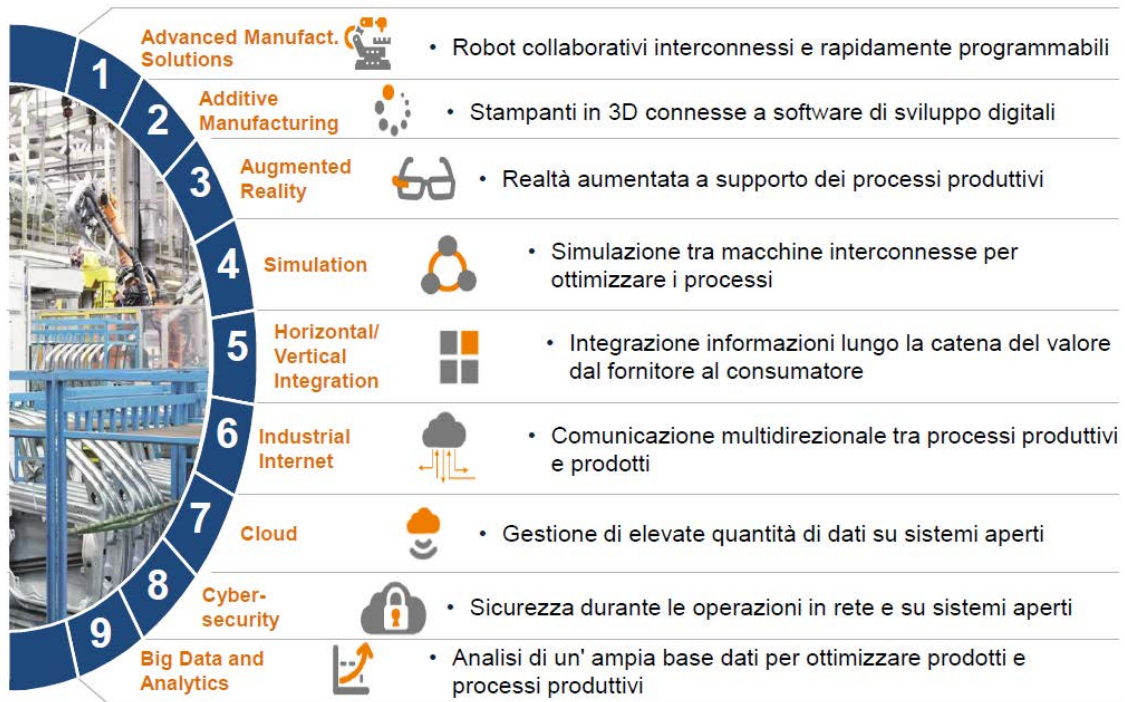


Figura 1.2 Tecnologie abilitanti del Piano Nazionale Impresa 4.0.

1) *Advanced Manufacturing Solutions* (o *Advanced Robotics*).

Qualche decina di anni fa i sistemi meccanici venivano regolati, in alcune funzioni, da degli organi meccanici. L'evoluzione dell'elettronica ha permesso di sostituire molti di questi sistemi di regolazione con attuatori più flessibili, più precisi e più affidabili. Ai sistemi analogici si sono sempre più affermati i sistemi elettronici digitali capaci di gestire i sottoinsiemi meccanici. Questo ha portato ad avere nelle fabbriche dei robot capaci di svolgere compiti sempre più complessi. È da specificare che i robot industriali non sono una tecnologia nata negli ultimi anni, ma vengono utilizzati già da parecchio tempo. Quando si parla di Industria 4.0 tuttavia questa tecnologia assume caratteri differenti, come quello di

condividere lo spazio di lavoro con gli umani per una collaborazione in condizioni di autonomia e sicurezza. “Inoltre l’evoluzione dell’*AI (Artificial Intelligence)* verso l’autoapprendimento delle macchine con l’esperienza diretta porta alla possibilità per i robot di assumere facoltà di controllo e gestione della manifattura attualmente compito dei tecnici. In realtà in Industria 4.0 i robot non avrebbero necessariamente bisogno di *AI* di alto livello ma potrebbero essere gestiti invece nel loro insieme a distanza da una macchina o una rete di macchine *AI* che ne assicura l’operatività e l’interconnessione” [11]. Le nuove soluzioni robotiche che vengono proposte consentono di rendere i sistemi di produzione automatizzati, più produttivi, più efficienti e di generare un output di maggiore qualità, rendendo quindi più competitive le aziende che decidono di implementarle. Al tempo stesso, sollevando gli operatori dalle mansioni che possono compiere i robot, ne permettono l’impiego in operazioni a maggior valore aggiunto o di controllo. I robot si utilizzano dalle mansioni più semplici a quelle più complicate e nel futuro saranno ingaggiati per lavori sempre più articolati e di maggiore pericolo per l’uomo. La loro inarrestabile evoluzione li sta portando verso una nuova generazione di robot: i cobot. Si tratta di macchine più autonome, flessibili e cooperative, in grado di lavorare a stretto contatto con l’essere umano in sicurezza grazie a sistemi di anticollisione composti da telecamere e sensori avanzati che permettono ai robot di riconoscere la presenza di persone nella loro area di lavoro.

## 2) *Additive Manufacturing (AM)*.

Per manifattura additiva si intende un insieme di tecnologie che si rifanno alla cosiddetta stampa 3D, ovvero quella tecnologia che si basa sul principio della costruzione che avviene per apporto di materiale. È un processo mediante il quale vengono impiegati i dati di progettazione del 3D digitale, per costruire un elemento tridimensionale aggiungendo *layer-upon-layer* (strato dopo strato) il materiale. A differenza delle tecniche sottrattive (fresatura, foratura, ecc.) non si parte da un pezzo pieno e si toglie il materiale in eccesso tramite asportazione di truciolo, ma si aggiunge il materiale soltanto laddove serve. Questa tecnologia nacque nel 1986 con la brevettazione della stereolitografia ed oggi, attraverso l’evoluzione di questa pratica, esistono diverse tecniche di stampa e possono

essere utilizzate svariate tipologie di materiali, con diverse caratteristiche meccaniche: dai metalli (sotto forma di polveri fine), alle plastiche, fino ad arrivare ai materiali compositi e ai biomateriali. Sfruttando tale sistema si riducono sicuramente gli sprechi di materia prima, ma il vero vantaggio principale è il quasi totale superamento dei vincoli geometrici imposti dalle tecniche tradizionali. Nel settore industriale, la manifattura additiva rende possibile la creazione di prodotti unici e distintivi, dalle geometrie complesse ed altamente personalizzabili per ciascun cliente, costituendo un nuovo segmento di mercato di grande interesse. Tutti questi vantaggi sono a discapito di tempi di lavorazione che risultano più lunghi e ad un costo maggiore della materia prima. La stampa 3D risulta dunque particolarmente economica e competitiva per la costruzione di prototipi o per delle produzioni limitate o soggette a frequenti variazioni di forma, evitando la costosa fabbricazione di attrezzature per lo stampaggio o la fusione. Un'altra limitazione che può presentarsi con l'*additive manufacturing* riguarda la struttura interna del materiale, simile a quella ottenibile con le tecniche di fonderia o di metallurgia delle polveri: priva di strutture interne cristalline orientate (fibratura), che possono influenzare positivamente le caratteristiche meccaniche del pezzo, ottenibili con la laminazione a caldo e conservate con lo stampaggio a caldo [11]. In conclusione la stampa 3D sembra una tecnologia in grado di estendere le possibilità di fabbricazione, piuttosto che di sostituire le tecnologie già esistenti: nel punto in cui la produzione convenzionale raggiunge i suoi limiti, entra in gioco la manifattura additiva. I settori in cui l'*additive manufacturing* sta avendo un forte sviluppo sono quello aerospaziale, *automotive* e biomedicale (ad esempio per le protesi), dove la richiesta di prodotti personalizzati e dalle geometrie complesse si adegua perfettamente con questa tecnologia.

### 3) *Augmented Reality (AR)*.

Una delle prospettive fondamentali dell'Industria 4.0 è quella di costruire un collegamento tra il mondo fisico reale e il mondo virtuale, il cosiddetto sistema cyber-fisico. L'*Augmented Reality (AR)* e la *Virtual Reality (VR)*, ovvero la realtà aumentata e la realtà virtuale, svolgono certamente un ruolo importante su questo

aspetto. Con il termine realtà virtuale si indentificano diverse tecnologie di simulazione di situazioni reali mediante l'utilizzo di computer, software ed interfacce appositamente sviluppate; la realtà virtuale consente di realizzare dei modelli tridimensionali dei prodotti o dei processi produttivi con lo scopo di poterne migliorare la progettazione, i processi di gestione e l'addestramento del personale. Per quanto riguarda la realtà aumentata invece, il concetto che sta alla base è quello di poter implementare in un ambiente reale oggetti o informazioni attraverso l'utilizzo di computer, tablet, smartphone, visori, ecc. Nel campo della realtà aumentata sono incluse le *wearable technologies*, ovvero tutte quelle tecnologie indossabili che permettono la condivisione virtuale di dati tra produttori, operatori e altri collegamenti esterni, quali: orologi, braccialetti intelligenti, contapassi, portachiavi ecc. L'utilizzo della realtà aumentata e della realtà virtuale, oggi, si concentra principalmente nelle fasi di progettazione del prodotto, nei programmi di addestramento e nella simulazione di scenari importanti. L'utilizzo della realtà virtuale e della realtà aumentata, nel settore manifatturiero, lo si può già vedere applicato in diversi settori e contesti vista la certezza sui benefici che queste tecnologie possono apportare. Tuttora non interessano soltanto il campo della progettazione: possono portare anche numerosi vantaggi nel campo delle *operations*, interessando in particolar modo la manutenzione e le riparazioni guidate, la gestione dei magazzini e dei centri logistici. Ad esempio attraverso un tablet è possibile dare supporto alla manutenzione fornendo indicazioni e procedure sul lavoro da svolgere, oppure è possibile aiutare i magazzinieri proiettando direttamente nel campo visivo dell'operatore la *picking list* assieme a tutte le informazioni principali per completare un ordine.

#### 4) *Simulation.*

Per simulazione si intende la creazione di un modello virtuale con lo scopo di approssimare ed analizzare un fenomeno reale. Fin dal principio, i calcolatori elettronici, venivano utilizzati per la simulazione, molto spesso per scopi militari. Grazie all'evoluzione delle capacità computazionali ed allo sviluppo di nuove tecnologie, nel tempo la simulazione ha potuto compiere un grande salto di qualità

e trovare molti impieghi industriali. Ad esempio oggi, in fase di progettazione, è possibile simulare dei prototipi bypassando la creazione degli stessi, oppure è possibile simulare diverse situazioni, come il comportamento di un fluido, la resistenza di un oggetto agli urti, ecc. Il passo successivo consiste nella creazione di un modello virtuale di tutto ciò che si trova all'interno della fabbrica. Le tecnologie dell'Industria 4.0 hanno portato alla creazione di quello che viene chiamato *digital twin* (gemello digitale), ovvero un modello matematico in grado di simulare con un ottimo grado di approssimazione un processo, un prodotto o un servizio. Questa tecnologia viene sfruttata per analizzare dei processi produttivi, per progettare nuovi prodotti, per allestire il layout di un reparto oppure dell'intera azienda e per applicare strategie di business. La realizzazione di un prototipo virtuale diventa ancora più efficace con l'integrazione dell'*IoT* al modello digitale: è possibile integrare i dati reali registrati sul campo in tempo reale per analizzarli e confrontarli. In tal modo sarà possibile intraprendere correzioni del processo produttivo di un determinato prodotto senza affrontare i costi derivanti dal *learning-by-doing* (imparare facendo) ed evitare errori di progettazione. Nel *digital twin* acquistano sempre più importanza gli algoritmi computazionali, che devono gestire ed elaborare una grandissima mole di dati. Lo sviluppo di un prodotto avviene utilizzando un modello digitale in cui gli algoritmi vengono continuamente alimentati da dati, simulando materiali e parametri di fabbricazione e i loro valori, che vengono ininterrottamente modificati ed aggiustati per la ricerca di un ottimo [11]. Il *digital twin* può interessare anche la ricerca e lo sviluppo industriale, che grazie a questi algoritmi e le possibilità di apprendimento offerte dall'intelligenza artificiale moderna può essere d'aiuto al personale.

##### 5) *Horizontal and Vertical Integration*

Integrazione è un po' la parola chiave dell'era della quarta rivoluzione industriale che stiamo vivendo: sistemi, oggetti, soggetti e tutto il resto tendono a comunicare tra loro e ad integrarsi in un unico ambiente interconnesso. Si può dire dunque che tutta questa integrazione è l'origine e la conseguenza di questa rivoluzione industriale. Con integrazione verticale si fa riferimento alla comunicazione e alla

condivisione di informazioni all'interno dell'azienda, in maniera trasversale rispetto alla struttura gerarchica della stessa. Un sistema può definirsi integrato verticalmente quando riesce a coinvolgere più soggetti partendo dalla "base", ovvero gli operatori in produzione, fino ad arrivare ai "piani alti", ovvero a coloro che hanno i compiti decisionali e manageriali dell'azienda. Così facendo le informazioni viaggiano velocemente tra tutti i soggetti coinvolti, eliminando i tempi morti che solitamente intercorrono tra l'acquisizione dei dati e il momento decisionale: tutti sono allineati in tempo reale [13]. Le soluzioni tipiche dell'integrazione verticale includono i *PLC (Programmable Logic Controller)*, che controllano i vari processi di produzione e si trovano al livello operativo, gli *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)*, che sono ampiamente utilizzati nei sistemi di controllo industriale per permettere operazioni di controllo e di supervisione e si trovano anch'essi al livello operativo, e i *MES (Manufacturing Execution Systems)*, che come si vedrà in seguito si trovano al livello esecutivo e collegano l'*ERP (Enterprise resource planning)* aziendale agli *SCADA/PLC*. Un classico esempio di integrazione verticale è l'acquisizione dei dati riguardanti l'efficacia produttiva. Attraverso l'*OEE*, un indice di prestazione che verrà trattato nel secondo capitolo, l'operatore di linea è in grado di vedere l'andamento della produzione della propria linea, verificare se ci sono delle problematiche e registrare le causali in caso di fermate o di difetti di produzione. Al tempo stesso negli uffici i manager visionano in tempo reale la situazione di tutte le linee e sono in grado di vedere l'andamento e i problemi di produzione, utili per poter prendere decisioni manageriali. Un altro esempio pratico di integrazione verticale è la connessione tra il processo produttivo e la manutenzione che acquisisce, ad esempio, dati relativi ai pezzi prodotti o le cause dei fermi macchina dall'*OEE*. Con integrazione orizzontale invece si fa riferimento alla comunicazione e alla condivisione di informazioni che avviene con soggetti esterni all'azienda, come ad esempio fornitori, distributori e clienti. In molte realtà aziendali si instaura una rete di condivisione di dati con i fornitori e i distributori, queste informazioni possono essere attinenti ad esempio alla fornitura di materie prime o alla manutenzione delle macchine: quando la quantità di una materia prima presente a magazzino scarseggia il distributore può essere

avvisato automaticamente in tempo reale o potrebbe addirittura partire automaticamente l'ordine; oppure un fornitore può comunicare attraverso il *cloud* una serie di informazioni che permettono all'azienda di gestire al meglio la manutenzione di una macchina, sia attraverso azioni preventive che predittive, ad esempio utilizzando una *piattaforma web-based* [13]. Nei casi più avanzati, l'integrazione orizzontale può coinvolgere anche il cliente, il quale potrà ordinare il suo prodotto personalizzato, interfacciandosi direttamente con le macchine presenti in linea di produzione.

6) *Industrial Internet* (o *Industrial Internet of Things, IIoT*).

L'*Internet of Things* (*IoT*, Internet delle cose) è un'interconnessione degli oggetti fisici di uso quotidiano dotati di intelligenza ed identificatori unici che, attraverso la rete Internet, scambiano in tempo reale le informazioni possedute, raccolte ed elaborate e comunicano con altri dispositivi o con gli esseri umani, creando una rete altamente distribuita di sistemi. Tale categoria racchiude al suo interno quelli che vengono chiamati *smart devices* (dispositivi intelligenti), oggetti in cui vengono integrati sensori, elementi di memoria, GPS, attuatori, piattaforme software e altri dispositivi per metterli in comunicazione diretta sfruttando una rete Internet. Quando ci si riferisce all'Industria 4.0 si parla di *Industrial Internet of Things* (*IIoT*, Internet delle cose industriale) e ci si riferisce a dispositivi pensati appositamente per l'applicazione industriale, solitamente in grado di avere più connessioni simultaneamente e di lavorare con una mole maggiore di dati. Da questo concetto nasce l'idea della *smart factory* (fabbrica intelligente), nel quale tutti i mezzi di produzione (e non solo) interagiscono tra di loro. Così facendo è possibile monitorare costantemente e tener traccia in tempo reale ogni processo produttivo, i dati accumulati da questi dispositivi possono essere analizzati per ottimizzare i prodotti, i servizi, i processi di produzione e la manutenzione predittiva. Dall'*Internet of Things* ne deriva l'attitudine alla servitizzazione della manifattura, ovvero un processo di innovazione che ripensa totalmente ai business aziendali, al fine di dare ai clienti la massima esperienza possibile. "In altre parole, si assiste ad un cambiamento di equilibri a livello strategico nell'importanza data al cliente rispetto al peso dato al prodotto" [14]. Come si vedrà successivamente, i



dati generati dai dispositivi *IoT* vengono archiviati ed elaborati sul *cloud*. Il *fog computing* è un'architettura di rete distribuita che collega lo spazio di archiviazione *cloud* agli *smart devices*. Questa rete distribuita è composta da nodi di calcolo chiamati nodi *fog*, che costituiscono dei mini *data center* decentralizzati. I nodi *fog* pre-elaborano i dati ricevuti dai dispositivi e li smistano in quelli che devono essere archiviati sul *cloud* per ulteriori analisi e in quelli che possono essere analizzati localmente ai margini della rete, comunemente detta *edge computing* [15].

## 7) *Cloud*.

Il *cloud computing*, letteralmente “nuvola informatica”, è il termine con cui ci si riferisce alla distribuzione di servizi di calcolo, come server, risorse di archiviazione, database, rete, software, analisi e *intelligence*, tramite la rete Internet. Solitamente questo termine viene confuso con la sola tecnologia che permette di archiviare dati in rete, ma fornisce invece anche algoritmi e applicazioni che possono essere utilizzati nel *digital manufacturing*. In altre parole, attraverso Internet, il cloud computing consente l'accesso ad applicazioni e dati memorizzati su un hardware remoto anziché sulla workstation locale [16]. Utilizzando questa tecnologia vi possono essere dei problemi di accesso o di esecuzione rapida nel *cloud*, funzioni necessarie alle normali operazioni aziendali. Questo ha portato all'introduzione di software e hardware che fungono da ponti intermediari tra l'azienda e la “nuvola”: come ad esempio il *fog computing*. Tale sistema, come è già stato accennato in precedenza, si pone come collegamento tra gli *smart devices* e il *cloud computing*, in modo da evitare rallentamenti o blocchi nella trasmissione con il *cloud*, conducendo lui stesso una serie di elaborazioni ed analisi dei dati [11]. Il primo vantaggio del cloud computing è la conseguente eliminazione delle spese associate all'acquisto di hardware e software ed alla configurazione e alla gestione di *data center* locali. Infatti, oltre a richiedere esperti *IT*, essi necessitano di *rack* di server e di un'alimentazione di 24 ore su 24, a cui sono associati dei costi. Un altro vantaggio dei servizi *cloud* è la possibilità di ridimensionare le risorse *IT* in modo elastico e flessibile qualora ne fosse necessario. Ad esempio è possibile aumentare o diminuire in ogni

momento la potenza di calcolo, lo spazio di archiviazione oppure la larghezza di banda richiesta. Inoltre, i più grandi servizi di *cloud computing*, sono forniti di *data center* di ultima generazione sicuri, aggiornati, veloci ed efficienti, che offrono delle prestazioni migliori rispetto all'utilizzo di un singolo *data center* aziendale. L'aspetto più critico riguardo a questa tecnologia abilitante riguarda la sicurezza dei dati sensibili aziendali, accessibili solo tramite la rete Internet. A tal riguardo bisogna entrare nel campo della *cyber-security*, che verrà discusso in seguito.

#### 8) *Cyber-security*.

Tutto ciò che è stato detto finora sembrerebbe far credere che sia tutto vantaggioso e privo di rischi. In realtà con l'aumento esponenziale dei dispositivi connessi in rete aumentano anche le possibilità di attacchi da parte di malintenzionati: tutto ciò che viene condiviso in rete presenta dei rischi. Proprio per definizione di Industria 4.0, sempre più *smart devices* vengono connessi alla rete aziendale, perciò è bene rispettare degli standard di sicurezza in quanto la rete stessa risulta essere sicura tanto quanto lo è il suo dispositivo più vulnerabile. Per *cyber-security* si intende l'insieme di tecnologie, processi e protocolli che hanno come obiettivo quello di proteggere le reti, i computer, i dati e tutto il sistema informatico dell'azienda da attacchi, danni o accessi non autorizzati da parte di *hacker*. La sicurezza informatica è implementata sia per i processi interni all'azienda, per salvaguardare i dati sensibili e individuare i malfunzionamenti informatici, sia per proteggersi da attacchi *malware* o minacce verso l'esterno [11]. La *cyber-security* è tipicamente un servizio esterno che viene offerto alle aziende e, poiché richiede investimenti finanziari importanti e privi di un ritorno economico (*ROI, Return Of Investment*), spesso i problemi, invece di essere prevenuti, vengono affrontati solamente quando si presentano [17]. Questi servizi solitamente non si limitano a proteggere il patrimonio informatico, ma in genere vengono utilizzati anche per esaminare tutti i processi informatici in modo da scoprire eventuali criticità e porvi rimedio. Va evidenziato che una sicurezza aziendale totale, ovvero del 100%, è un'utopia: si possono limitare i rischi, ma non eliminarli del tutto. Per garantire una corretta ed adeguata gestione della

sicurezza informatica è bene focalizzare l'attenzione sui tre aspetti che deve caratterizzare un sistema di *cyber-security* [18]:

- Disponibilità dei dati: il sistema di sicurezza deve difendere il patrimonio informatico nella garanzia di accesso, usabilità e confidenzialità dei dati. Deve dunque ridurre i rischi connessi all'accesso alle informazioni (intrusioni, furto di dati, ecc.) ad un livello accettabile;
- Integrità dei dati: il sistema di sicurezza deve garantire che le informazioni da proteggere non subiscano modifiche o cancellazioni, sia a seguito di errori o azioni volontarie, sia a seguito di malfunzionamenti o guasti dei sistemi tecnologici;
- Riservatezza informatica: il sistema di sicurezza deve prestare attenzione alla *data privacy* e limitare i rischi connessi all'accesso o all'uso dei dati in forma non impropria e non autorizzata.

Per concludere, in ambito industriale la *cyber-security* può ovviamente interessare anche il prodotto stesso: la progettazione di prodotti *smart* con la sicurezza informatica già implementata, porta ad un miglioramento in termini di usabilità del prodotto e del servizio, creando un reale vantaggio competitivo.

## 9) *Big data e Analytics*

Come è stato già detto, grazie all'avvento dell'*Internet of Things*, oggi è possibile registrare e raccogliere un'innumerabile mole di dati: ogni oggetto connesso alla rete, sia essa Internet o una rete interna, trasmette infatti dei dati. Il termine *big data* descrive il fenomeno di memorizzazione di questi grandi volumi di dati. Lo step successivo viene identificato dal processo *analytics* dei *big data*, ovvero il processo di gestione e di analisi dei dati raccolti, per restituire una determinata informazione come output. Una volta stabilita la dimensione fisica per la registrazione di un bit, lo spazio di stoccaggio è praticamente proporzionale alla quantità di bit da memorizzare. Le aziende che raccolgono grandissime quantità di informazioni, possono necessitare di grandi mainframe di stoccaggio, che possono essere addirittura dell'ordine delle migliaia o decine di migliaia di metri quadrati [11]. Per un'impresa si pone dunque il problema di valutare se stoccare internamente i propri dati, oppure se ricorrere allo stoccaggio esterno via Internet

in appositi centri di servizio. Lo stoccaggio esterno potrebbe risultare più economico rispetto a quello interno, ma potrebbe sollevare dei problemi di sicurezza: per questo alle volte si favorisce lo stoccaggio interno, almeno dei dati più sensibili. La definizione dei *big data* può essere fatta attraverso le proprietà delle 3V, che nel corso del tempo, con l'introduzione di nuove tecnologie, sono diventate 5V [19]:

- *Volume*: con volume si fa riferimento all'enorme quantità di dati, che non sono possibili da raccogliere con le tecnologie tradizionali. Questo volume di informazioni è in continuo aumento e per questo è difficile identificare un valore limite al di sopra del quale si può parlare di *big data*;
- *Variety*: con varietà si fa riferimento all'eterogeneità dei dati disponibili. Questa eterogeneità è garantita in primo luogo dalla coesistenza di un numero crescente di fonti dati differenti e poi anche dalla presenza di dati sia strutturati (dati numerici, database, ecc.), che destrutturati (email, foto, video, audio, ecc.);
- *Velocity*: con velocità si fa riferimento alla rapidità con cui vengono raccolti e acquisiti i dati. Tale velocità offre la possibilità di ottenere grandi vantaggi competitivi se si riescono a raccogliere e soprattutto ad analizzare queste informazioni in tempo reale, per poter prendere delle decisioni manageriali con la maggior tempestività possibile;
- *Value*: con valore si fa riferimento all'importanza di estrarre conoscenza dai dati, senza limitarsi a raccogliarli. Le metodologie per valorizzare le informazioni raccolte sono molteplici ed entrano in gioco i *big data analytics*: attraverso il loro utilizzo le aziende riescono a creare conoscenza e a prendere decisioni organizzative tempestive e consapevoli dalla raccolta dei dati.
- *Veracity*: con veridicità si fa riferimento all'affidabilità che devono avere i dati raccolti: devono raccontare il vero. La qualità e l'integrità delle informazioni rappresentano un punto fondamentale nell'analisi degli stessi, per poter essere utili ed affidabili. Risulta dunque necessario usufruire di tecniche di bilanciamento e di pulizia dei dati.

Va evidenziato che troppi dati alle volte possono creare dei sovraccarichi inutili di informazioni, rendendo l'organizzazione e l'analisi delle stesse problematiche

e costose. È importante dunque saper gestire questi volumi: molte aziende non sanno come sfruttare tutti i dati che raccolgono per creare nuova conoscenza. I *big data* possono portare ad una migliore conoscenza del comportamento dei clienti e delle criticità dei prodotti e dei processi produttivi, fattori fondamentali per prendere delle decisioni manageriali. L'analisi *real time* dei dati provenienti dagli impianti industriali interconnessi è in grado di fornire degli indicatori di produzione in tempo reale, come ad esempio l'*OEE*, che verrà trattato nel secondo capitolo. Questo permette di agire tempestivamente per ridurre al minimo i fermi produttivi e gli sprechi, oltre ad individuare eventuali criticità attraverso la ricerca automatica di dati ricorrenti. Il maggior vantaggio lo si ottiene quando vengono utilizzati degli algoritmi di *AI* in grado di occuparsi contemporaneamente sia dell'analisi dei dati, sia delle fasi decisionali. Si può capire ora perché il valore dei dati e delle informazioni è sempre più elevato e perché essi assumono un ruolo di primaria importanza nella fabbrica 4.0.

### **1.3. L'evoluzione del lavoro e i vantaggi dell'Industria 4.0**

Nella fabbrica intelligente, come per le epoche precedenti, il lavoro continua ad essere centrale. “Tuttavia esso perde le caratteristiche di pura manualità e di “forza lavoro” da controllare con la supervisione diretta come per gli “uomini-bue” di cui di occupava F. Taylor. Il lavoro acquista invece sempre più le caratteristiche di lavoro intelligente, cioè di lavoro che mescola interventi manuali con forti capacità tecniche di analisi e diagnosi e, in certi casi, anche di ragionamento scientifico, con applicazione di conoscenze complesse” [20]. Anche le competenze e le abilità richieste dal personale cambiano: il *problem solving* rimane la *skill* più importante, ma il pensiero critico, la creatività, la capacità di collaborazione, l'intelligenza emotiva, l'orientamento al servizio, la negoziazione e la flessibilità mentale sono diventate caratteristiche sempre più ricercate [21]. L'impatto che l'Industria 4.0 avrà sull'occupazione professionale sarà quella di una riqualificazione degli operatori, che dovranno avere una maggiore conoscenza riguardo all'intero processo produttivo, piuttosto che quella di una diminuzione dei posti di lavoro. Ai nuovi lavoratori sarà richiesto di essere parte attiva, con mansioni sempre più complesse e un livello di

responsabilità maggiore, del processo produttivo: il ruolo del semplice operaio della filosofia fordista verrà meno, in quanto al lavoratore 4.0 verranno affidate mansioni di elevata professionalità. Inoltre i lavoratori non avranno più delle mansioni individuali, ma vi sarà un continuo scambio di informazioni tra operai dello stesso reparto, capi squadra, manutentori, ingegneri e manager. Esperti ed osservatori stanno cercando di capire come cambierà il lavoro, quali nuove mansioni saranno richieste e quali invece saranno destinate a scomparire. Attualmente non è possibile sapere con certezza quali modelli di business si utilizzeranno in futuro, ma si può affermare che le professioni riguardanti l'ambito amministrativo e produttivo diminuiranno, per dare più spazio invece a lavori nell'ambito informatico, ingegneristico e finanziario. Attraverso delle interviste fatte nelle fabbriche digitalizzate italiane, sono state individuate delle figure fondamentali nell'Industria 4.0 [21]:

- Il sistemista, che gestisce tutte le tecnologie coinvolte nell'azienda;
- Il tecnologo, che istruisce le macchine a compiere il loro lavoro affinché l'essere umano intervenga il meno possibile;
- Il coordinatore tecnico, specialista dalle competenze tecniche elevate che organizza le mansioni tradizionali, unite alle tecniche innovative e ed automatizzate;
- L'ingegnere 4.0, una delle figure professionali su cui concentrano maggiormente i cambiamenti. È possibile distinguere due differenti tipologie: il primo opera orizzontalmente, in sinergia con le imprese partner, i concorrenti e le istituzioni universitarie, nella ricerca e nell'innovazione, mentre il secondo opera verticalmente, direttamente in reparto o in laboratori di realtà virtuale, specializzandosi nell'engineering, nello sviluppo e nella progettazione dei processi produttivi.

Nelle fasi iniziali, di introduzione delle tecnologie abilitanti nelle realtà aziendali, ci si aspettano grandi innovazioni e benefici da esse. In seguito vengono riassunti i principali vantaggi che i loro svariati usi possono portare alla manifattura [11]:

- Riduzione della manodopera e dei suoi costi, grazie all'utilizzo della robotica avanzata e dell'intelligenza artificiale, che in un prossimo futuro potrebbero toccare anche il personale addetto al controllo e alla gestione della produzione;

- Aumento della velocità di produzione, grazie al collegamento tra le operazioni tecnologiche con le varie tecnologie hardware e software del *digital manufacturing*;
- Miglioramento della qualità produttiva e riduzione degli scarti, grazie alla comunicazione tra gli impianti di produzione e le tecnologie digitalizzanti, il *cloud computing* e l'utilizzo dei *big data*;
- Migliore monitoraggio e conoscenza dell'usura delle attrezzature (con un conseguente aumento della loro vita), grazie all'utilizzo di sensori e della simulazione virtuale dei materiali delle parti soggette ad usura;
- Ottimizzazione complessiva dei processi manifatturieri, grazie alla raccolta dei dati in tempo reale attraverso dei sensori, all'analisi dei *big data* e alla simulazione virtuale degli stessi processi produttivi;
- Miglioramento del lavoro di sviluppo per i nuovi materiali, grazie al trasferimento e allo studio in ambiente virtuale dei materiali in analisi;
- Maggiore flessibilità di produzione, grazie alla realizzazione di piccoli lotti personalizzati al costo della grande scala di produzione;
- Collegamento della manifattura con il prodotto finito, grazie all'*Internet of Things*, per comprendere meglio il funzionamento e il comportamento del prodotto ed introdurre eventuali migliorie future o per effettuare aggiornamenti, controlli, manutenzioni e riparazioni a distanza in caso di necessità;
- Possibilità di realizzare parti dalla geometrica complessa e irrealizzabili con le tecniche tradizionali, grazie all'*additive manufacturing*;
- Miglioramento nel controllo e nella gestione delle risorse umane, grazie all'uso di strumenti a realtà aumentata.

Bisogna infine riflettere sul fatto che l'obiettivo finale dell'Industria 4.0 è quello di sviluppare una produzione completamente autogestita da parte delle macchine, che andranno a sostituire l'uomo sia per la produzione, che per il suo controllo e la sua gestione. Anche se non si hanno idee precise sui tempi in cui si completerà questa rivoluzione industriale, la tendenza è quella di cedere sempre più mansioni operative e gestionali alle macchine *AI*, concentrando il lavoro umano in attività di progetto ed innovazione. Questo sviluppo della fabbrica intelligente sarà accompagnato

inevitabilmente da un'evoluzione delle tecnologie abilitanti, di cui alcune prenderanno importanza e di altre invece se ne ridurrà l'utilizzo [11].

#### **1.4. Manufacturing Execution System (MES)**

Con il termine digitalizzazione si intende quel processo tramite cui si convertono dei dati in formato digitale, leggibili dai computer: per le aziende significa gestire il flusso di informazioni senza l'utilizzo di documenti cartacei che portano soltanto a delle inefficienze. L'*ERP (Enterprise Resource Planning)* e il *MES (Manufacturing Execution System)* sono due software impiegati per il processo di digitalizzazione industriale. L'*Enterprise Resource Planning*, letteralmente "pianificazione delle risorse d'impresa", è un software che si occupa della gestione ed integra tutti i processi di business rilevanti di un'impresa (vendite, acquisti, gestione del magazzino, contabilità, ecc.). In altre parole un sistema *ERP* permette di gestire e di tenere sotto controllo tutta l'azienda. Ad esempio, qualora ci fosse una richiesta d'acquisto, il responsabile delle vendite potrebbe verificare in tempo reale nel sistema *ERP* se un certo prodotto è presente o meno in magazzino e in caso confermare l'effettiva disponibilità della merce. Qualora l'ordine fosse confermato, questo verrebbe trasmesso automaticamente alla logistica per l'evasione, evitando inutili passaggi intermedi di carte, inserimento dati e altre perdite di tempo. Un sistema *ERP*, per sua natura, non è adatto però a controllare i processi quotidiani di produzione e, a questo scopo, è stato introdotto un nuovo tipo di software aziendale chiamato *Manufacturing Execution System (MES)*, letteralmente "sistema di esecuzione della produzione". Un sistema *MES* fornisce informazioni su tutte le attività del processo produttivo in tempo reale, consentendo la gestione, il controllo e l'ottimizzazione delle operazioni. Come si può vedere nella Figura 1.3, idealmente nella fabbrica 4.0, il *Manufacturing Execution System* si colloca al livello esecutivo, tra il livello decisionale, in cui si trova l'*ERP*, ed il livello operativo, composto dagli *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)* e dai *PLC (Programmable Logic Controller)*, mettendoli in



collegamento: in pratica un programma *MES* è un software, personalizzabile secondo le proprie esigenze aziendali, che permette di monitorare il ciclo produttivo [22].

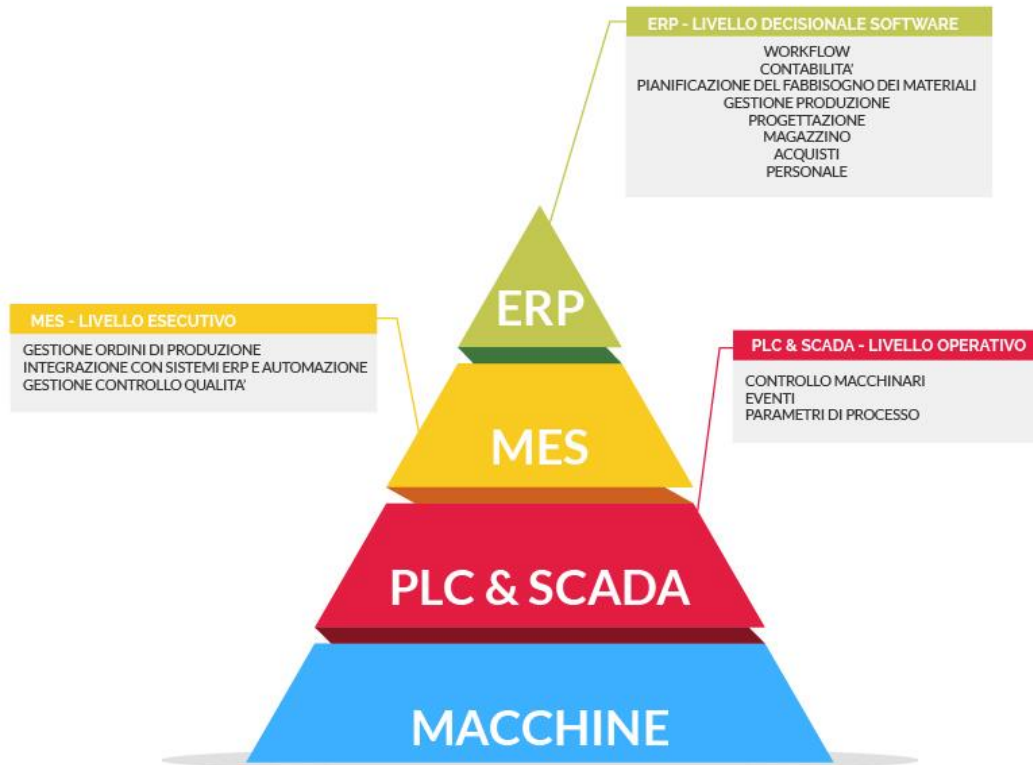


Figura 1.3 Sistema di gestione della produzione.

Le prime versioni dei sistemi *MES* erano applicazioni in loco, configurate in modo da rappresentare il processo produttivo della relativa azienda. Oltre a richiedere grossi capitali di investimento, sia per l'attrezzatura hardware, sia per la codifica del software, erano sistemi rigidi: per le imprese era difficile implementare delle modifiche, se non a fronte di rilevante spesa, e richiedevano di assumere del personale esperto per la sua installazione e manutenzione. I moderni sistemi *MES* sono invece più flessibili e le applicazioni sono basate sul *web off-site*, permettendo alle imprese di non affrontare più grosse spese di investimento in hardware come prima e di poter essere utilizzati in qualsiasi luogo, purché vi sia una connessione alla rete Internet. Le applicazioni *MES* sono diventate anche più modulari, consentendo alle imprese di scegliere e pagare soltanto le funzionalità desiderate, risultando più economiche e personalizzabili grazie alla loro architettura flessibile. Inoltre gli attuali sistemi *MES*

consentono agli utenti finali di configurare e personalizzare le interfacce di lavoro, i report e i *dashboard* secondo le proprie esigenze, nonché forniscono le informazioni necessarie per intraprendere scelte decisionali in un arco di tempo ridotto. Nell'ambiente industriale, dove tutto sta diventando *smart*, i sistemi *MES* sono diventanti estremamente indispensabili per permettere un'interconnessione tra i sistemi e per gestire ed analizzare il flusso dei dati che generano, che altrimenti risulterebbero "inutili". Ad esempio, inserire lungo una linea di produzione dei sensori intelligenti ed interconnessi, porterebbe a raccogliere dei dati, ma non di avere una panoramica completa delle performance della linea. Il sistema *MES* è in grado di raccogliere ed elaborare, grazie ad appositi algoritmi, questi dati "grezzi" e di dargli un significato, consentendo di avere in tempo reale una precisa conoscenza di ciò che sta avvenendo nella linea di produzione. Un sistema *MES* altamente interconnesso, in grado di comunicare sia con l'impianto di produzione, mediante una rete *IoT*, sia con l'*ERP*, rientra a tutti gli effetti nella *Horizontal & Vertical Integration*, una delle nove tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 che si son viste nel paragrafo 1.2. Secondo il modello internazionale *MESA (Manufacturing Execution Systems Association)*, un'associazione nata nel 1992 per rappresentare gli sviluppatori e i venditori dei prodotti e dei servizi relativi al *MES*, un'applicazione *MES* deve rappresentare dieci "pilastri", che corrispondono ai processi gestiti dal sistema [23]:

- *dispatching* dei piani di produzione;
- raccolta dati manuale;
- controllo e raccolta dati con interfacciamento automatico con le macchine o con tecnologie *bar-code*, *RFid* (identificatori a radio frequenza), ecc.;
- controllo e avanzamento della produzione;
- gestione della manodopera;
- gestione delle risorse di produzione;
- controllo qualità;
- tracciabilità e rintracciabilità di prodotto e processo;
- *warehouse management*;
- analisi delle *performance* di produzione.

Grazie a queste dieci funzionalità, un software MES assiste le aziende nel processo di riduzione dei costi e di ottimizzazione dell'efficacia di produzione, contribuendo attivamente anche al miglioramento complessivo della qualità della produzione e della *supply-chain*, con un conseguente miglioramento del servizio al cliente finale e del rapporto di fiducia tra l'azienda e quest'ultimo.

#### **1.4.1. KPI tracking**

Nel mercato odierno la capacità produttiva è diventata un pilastro fondamentale per la sopravvivenza e la sostenibilità delle imprese. Negli ultimi vent'anni, come si vedrà nel prossimo capitolo, la rilevazione dei dati legati al ciclo produttivo hanno ottenuto sempre più importanza, per individuare e comprendere l'efficacia degli impianti di produzione, le loro criticità e i costi che ne conseguono. Un moderno sistema *MES* deve poter supportare la gestione degli obiettivi legati alle *performance* degli impianti, ovvero deve implementare e monitorare, a livello esecutivo della produzione, tutti i parametri rilevanti per il raggiungimento dei target prefissati. È di fondamentale importanza l'utilizzo di dati misurabili, e quindi verificabili, nella gestione delle prestazioni: obiettivi mal formulati e difficili da verificare difficilmente possono essere utilizzati come strumento di gestione. I *KPI* (indicatori chiave di prestazione), come ad esempio l'*Overall Equipment Effectiveness*, risultano essere degli strumenti sintetici particolarmente utili per la gestione degli obiettivi. Il calcolo manuale di un *KPI* risulta essere una stima approssimata e può essere adeguato per un nuovo stabilimento/linea, dove la curva d'esperienza è relativamente bassa; per un impianto ben consolidato l'accuratezza della raccolta dei dati e la precisione delle misurazioni dei tempi di fermo, del tempo ciclo e della qualità dei prodotti realizzati, sono invece essenziali per migliorare le *performance*. È qui che il *Manufacturing Execution System* fa il suo grande ingresso, avendo la capacità di estrarre i dati di processo dell'impianto di produzione con una grandissima precisione *in real time*: un software *MES* è in grado di calcolare i tempi di fermo precisi al secondo, i dati esatti sulla perdita di qualità e la velocità complessiva di produzione. Tutto ciò rende possibile l'esatto calcolo dei *KPI* di interesse, aiutando la direzione a prendere delle decisioni manageriali migliori relative alla capacità del processo, alle

prestazioni del processo, alla pianificazione della produzione, alle prestazioni degli operatori e al miglioramento dei processi. Dalla raccolta automatizzata dei dati deriva inoltre un grande risparmio di tempo e di fatica, che automaticamente porta a migliorare le prestazioni della produzione, e rende possibile approfondire la causa esatta di un problema relativo alle *performance*. I sistemi *MES* solitamente consentono agli utenti di utilizzare i *KPI* calcolati a proprio vantaggio fornendo dei report strutturati. Quando i suddetti *KPI* dimostrano una deviazione dai target prefissati, è essenziale scoprirne le cause e le motivazioni. Il software *MES* deve dunque offrire rapporti adeguati che consentano un'analisi semplice e veloce dei dati raccolti. Infine l'applicazione *MES* è di grande beneficio nell'implementazione di un *KPI*, in quanto è in grado di fornire dati specifici, non solo per le attrezzature e le linee di produzione, ma anche per le varie classi di prodotto, per ogni lotto di prodotto, per ogni turno di lavoro e per ogni singolo operatore. Per concludere, i *Manufacturing Execution Systems*, possono quindi fornire informazioni dettagliate sull'efficacia generale dell'impianto produttivo, così come di tutte le altre risorse aziendali, ed aiutare ad analizzare le aree critiche e problematiche in modo più preciso e completo, portando grossi benefici sulle prestazioni di un sistema produttivo.

# Capitolo 2

## L'Overall Equipment Effectiveness

### 2.1. Il concetto di Total Production Maintenance (TPM)

Alla fine degli anni '80 il concetto di *Total Production Maintenance (TPM)* introdotto dal giapponese Seiichi Nakajima si è diffuso nel mondo occidentale e con esso anche l'utilizzo dell'*OEE*, un suo pilastro fondamentale. *Total Production Maintenance* si traduce come Manutenzione Produttiva Totale ed è quel processo che coinvolge i dipendenti nella manutenzione delle proprie apparecchiature, enfatizzando le tecniche di manutenzione proattiva e preventiva [24]. La manutenzione reattiva infatti è costosa, poiché non deve sostenere solo i costi per le riparazioni dei macchinari, ma anche quelli per i tempi di fermo non pianificati. Le aziende negli ultimi anni hanno dato sempre più importanza alla manutenzione, che ha assunto un ruolo molto significativo nella gestione degli impianti industriali. Per la *TPM* è una parte necessaria e di vitale importanza del business aziendale, non la considera un'attività senza scopo di lucro. "I tempi di fermo per la manutenzione sono programmati come parte della giornata di produzione e, in alcuni casi, come parte integrante del processo di produzione" [25]. La *Total Production Maintenance* mira ad una produzione perfetta, ossia senza nessun guasto, nessuna fermata, nessun difetto e nessun incidente. Per ottenere ciò la manutenzione preventiva deve essere in prima linea nella mente di tutti ed un programma *TPM* aiuta a sbarazzarsi della mentalità "lo ripareremo quando si rompe" [24]. La *TPM* appartiene al più ampio contesto di *Total Quality Management (TQM)* e di *Lean Production* ed è costituito da un insieme di tecniche di gestione della manutenzione che aspira ad integrare la manutenzione con la produzione, da qui il nome di manutenzione produttiva totale. Al fine di rendere la *TPM* di successo è di fondamentale importanza che vengano coinvolti e motivati tutti i dipendenti, rendendoli consapevoli delle proprie responsabilità. È quindi necessario

coinvolgere tutti i reparti aziendali da un punto di vista di integrazione e miglioramento continuo (*Kaizen*).

### 2.1.1. *Gli otto pilastri della TPM*

La *Total Production Maintenance* si basa su otto pilastri basati sul sistema delle 5-S [25]. Il sistema 5-S è un metodo organizzativo basato su cinque parole e sul loro significato:

- *Seiri* (organizza): eliminare il disordine dallo spazio di lavoro separando ciò che è utile da ciò che non è utile;
- *Seiton* (ordine): garantire l'ordine seguendo l'idea di "un posto per ogni cosa e ogni cosa al suo posto" in funzione dell'attività da seguire;
- *Seiso* (pulizia): mantenere pulita l'area di lavoro;
- *Seiketsu* (standardizza): standardizzare tutti i processi di lavoro in modo da ridurre le variabilità e possibili problemi;
- *Shitsuke* (sostegno): rinforzare costantemente i primi quattro passaggi e diffondere la mentalità del miglioramento continuo.

Gli otto pilastri della manutenzione produttiva totale si concentrano su tecniche proattive e preventive per migliorare l'affidabilità e l'efficienza delle apparecchiature aziendali. Come evidenziato da Trout [24], gli otto pilastri, riportanti in Figura 2.1, sono:

#### 1) *Autonomous maintenance*.

Manutenzione autonoma significa formare gli operatori sulla manutenzione ordinaria delle apparecchiature ed affidarla esclusivamente alle loro mani. Ciò dà agli operatori un senso di appartenenza delle macchine che utilizzano e ne aumenta sensibilmente la loro conoscenza. Garantisce così che i macchinari siano sempre puliti e ben tenuti, aiuta ad identificare i problemi prima che diventino guasti e libera il personale di manutenzione per altre attività di livello superiore. Per implementare la manutenzione autonoma è importante standardizzare i

processi di pulizia, d'ispezione e di manutenzione ordinaria in modo che gli operatori seguano tutti le stesse procedure.

2) *Focused improvement.*

Il miglioramento mirato si basa sul termine giapponese *Kaizen* che è la composizione di due termini, *Kai* (cambiamento, miglioramento) e *Zen* (buono, migliore), e significa cambiare in meglio. Nel mondo della produzione questo si traduce con un miglioramento continuo delle funzioni e dei processi, prima esaminandoli e poi raccogliendo idee su come migliorarli. È di fondamentale importanza creare dei team che lavorino insieme in modo proattivo per implementare un miglioramento continuo delle apparecchiature. La diversificazione dei membri del team permette una buona identificazione dei possibili problemi, è quindi necessario coinvolgere personale di diverse funzioni. Il miglioramento specifico infine deve garantire che i miglioramenti siano standardizzati, rendendoli ripetibili e sostenibili.

3) *Planned maintenance.*

La manutenzione programmata si basa sull'analisi dei tassi di guasto e del tempo di inattività, per pianificare attività di manutenzione sulle apparecchiature quando queste sono inattive o producono a bassa capacità, interrompendo raramente la produzione. Questo approccio proattivo riduce notevolmente i tempi di fermo non pianificati e una graduale diminuzione dei guasti che porta ad una riduzione degli investimenti di capitale in attrezzature poiché si cerca sempre di utilizzarle al loro massimo potenziale.

4) *Quality maintenance.*

La manutenzione per la qualità si concentra a rendere più affidabili i processi di produzione, individuando ed eliminando in modo proattivo gli errori di progettazione del lavoro che sono fonti ricorrenti di difetti. Si mira ad affrontare i problemi di qualità, prendendo contromisure per ridurre al minimo o eliminare completamente i difetti e i tempi di fermo relativi ai prodotti difettosi (rilavorazioni).

5) *Early equipment management.*

La gestione anticipata delle attrezzature mira a collaborare con i fornitori per migliorare la progettazione di nuove apparecchiature. È molto importante il contributo degli operatori che utilizzano maggiormente le attrezzature e pensare a cose come la facilità di pulizia e lubrificazione, l'accessibilità delle parti, il posizionamento ergonomico dei comandi, il modo in cui avvengono i cambi e le caratteristiche di sicurezza. Le nuove apparecchiature, soddisfacendo già le specifiche desiderate, avranno meno problemi di avviamento e raggiungeranno rapidamente i livelli di prestazione desiderati, aumentandone ulteriormente l'efficacia.

6) *Training and education.*

La mancanza di conoscenza delle attrezzature può far crollare un programma di *TPM*. La formazione e l'istruzione non deve interessare solo il personale di manutenzione, ma tutti i membri del team di progetto quali operatori di produzione e dirigenti. Il personale di manutenzione deve imparare ad implementare un programma di manutenzione proattivo e preventivo, gli operatori devono apprendere le procedure operative per mantenere proattivamente le attrezzature e identificare eventuali problemi emergenti, i dirigenti devono acquisire familiarità con i principi della *TPM* e la formazione dei dipendenti. Questo ha lo scopo di garantire che tutti i membri del team possano contribuire ad affrontare eventuali problematiche e che gli obiettivi di miglioramento siano raggiungibili.

7) *Safety, health and environment.*

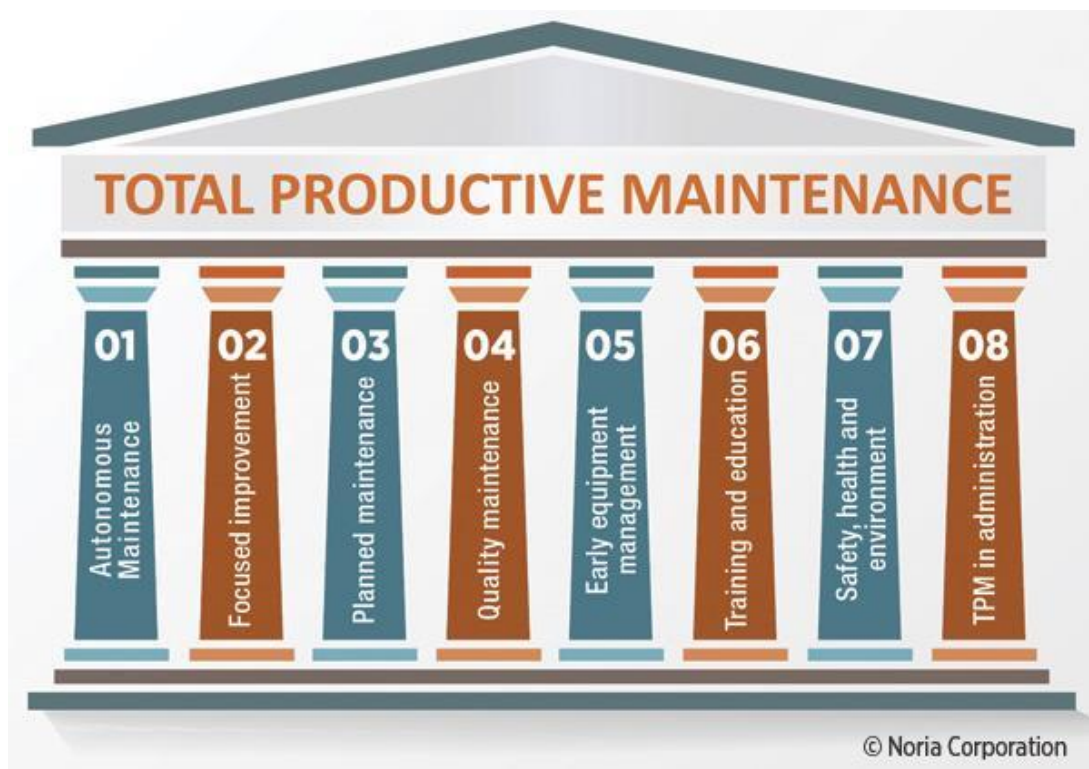
Qualsiasi soluzione introdotta dal progetto della *TPM* deve considerare la sicurezza, la salute e l'ambiente di lavoro. Un ambiente di lavoro sicuro significa che gli operatori possano svolgere i normali processi lavorativi senza rischi per la salute. Inoltre è importante cercare di creare un ambiente che renda la produzione più efficiente senza compromettere la sicurezza e la salute dei dipendenti. Queste considerazioni sono molto importanti particolarmente durante le fasi di gestione anticipata delle attrezzature e di progettazione del layout di lavoro. Rendere un



ambiente di lavoro sicuro migliora anche l'atteggiamento dei dipendenti, con un conseguente aumento di produttività.

8) *TPM in administration.*

La *Total Production Maintenance* non deve riguardare solo i reparti di produzione, ma anche tutte le funzioni amministrative. Ciò significa supportare la produzione migliorando quelle funzioni amministrative come l'elaborazione degli ordini, l'approvvigionamento e la programmazione che sono spesso alla base di tutto il processo produttivo: quindi è importante che siano snelle e senza sprechi per migliorare l'efficacia delle attrezzature.



**Figura 2.1** *I pilastri della Total Production Maintenance.*

## 2.2. I sistemi di misura delle prestazioni aziendali

Gli impianti industriali sono progettati per produrre, ma spesso non riescono a sottostare a determinate aspettative per cui sono stati realizzati poiché l'ambiente aziendale è fortemente influenzato da diversi fattori interni ed esterni difficili da controllare direttamente. Pertanto in ogni realtà aziendale un aspetto essenziale è la misura delle prestazioni delle proprie attività: è dunque necessario calcolare ed analizzare degli appositi indicatori, chiamati *KPI (Key Performance Indicator)*, che siano significativi per valutare le *performance* dei processi produttivi. Questi devono essere utilizzati dai dirigenti per funzioni di controllo e per implementare soluzioni per il miglioramento continuo della produzione. È quindi fondamentale poter confrontare questi indici nel tempo e valutare eventuali progetti migliorativi degli impianti. Quando si progetta un sistema di misura è prassi porsi due domande: cosa misurare e come misurarlo. Per rispondere alla prima domanda è importante tenere a mente di considerare tutte le dimensioni che vengono considerate critiche per il successo dell'azienda, senza però complicare ed appesantire il sistema di misura con dati superflui di non particolare rilevanza. Per rispondere alla seconda domanda bisogna invece tenere a mente che nel caso in cui le misurazioni non vengano fatte correttamente, gli indicatori non saranno di nessuna utilità e potrebbero addirittura nascondere quelli che sono i problemi aziendali. Come riportato da Jonsson e Lesshammar [26], per rispondere a queste due domande è necessario concentrarsi su alcune dimensioni e caratteristiche fondamentali, riportate nella Tabella 2.1, che il sistema di misura deve avere.

Per decidere “cosa misurare” bisogna considerare le seguenti caratteristiche:

- *Strategy* (strategia): il sistema di misura deve tradurre ed implementare le strategie aziendali a tutti i livelli dell'organizzazione. Cioè le misure devono essere strettamente collegate alla strategia aziendale, sottolineando gli aspetti più importanti per il successo dell'azienda. Il sistema deve monitorare soprattutto i fattori chiave a lungo termine, non solo quelli a breve termine. Ciò non è di facile realizzazione a causa dell'importanza che viene sempre più data alla flessibilità e alla diversità dei beni prodotti dalle aziende.

- *Flow Orientation* (orientazione del flusso): il sistema di misura deve integrare tutte le funzioni, le attività e i processi lungo la *supply chain* (catena di approvvigionamento). Uno degli obiettivi per ottenere una produzione efficace ed efficiente è una gestione ottimale dei flussi dei materiali, sia per quanto riguarda la qualità, sia per i tempi di attraversamento. È quindi necessario utilizzare indicatori che analizzano l'intero processo di produzione piuttosto che analizzare le singole funzioni aziendali, anche se ciò comporta a rendere più complesso il sistema di misura.
- *Internal Efficiency* (efficienza interna): il sistema di misura deve rendere possibile un controllo della produttività e un confronto tra le funzioni interne. L'obiettivo di questa dimensione è poter valutare le prestazioni di singole funzioni aziendali, introducendo anche indicatori finanziari per avere una panoramica più completa e per poter confrontare rapidamente diversi dipartimenti e condurre delle analisi di *trade-off* tra costi e benefici.
- *External Efficiency* (efficienza esterna): il sistema di misura deve interagire con i clienti e misurare il loro livello di soddisfazione. Questa dimensione mira a poter valutare il livello dei servizi offerti dall'azienda e la loro qualità, sia dal punto di vista strategico, sia da quello operativo. Tuttavia questi indicatori potrebbero non essere sufficienti per poter comprendere la reale soddisfazione del cliente poiché spesso si riferiscono solamente ad un'efficienza aziendale interna e non correlata direttamente col consumatore.

Per decidere “come misurare” bisogna invece considerare le seguenti caratteristiche:

- *Improvement Drivers* (driver per il miglioramento): lo scopo del sistema di misura è quello di fornire degli indicatori che devono essere alla base per elaborare ed intraprendere delle soluzioni migliorative, non deve dunque fungere soltanto da controllo passivo. Questi indicatori dipendono strettamente dai dati raccolti e da come questi vengono poi analizzati; il sistema di misura deve avere tre caratteristiche chiave:

- a. Le misure devono raccogliere dati riguardati tutti gli aspetti critici e rilevanti per indicare il potenziale di possibili interventi migliorativi;
  - b. La misurazione come è già stato detto non deve essere mirata soltanto al controllo passivo, ma deve identificare e generare un miglioramento continuo. Questo aspetto non solo è importante per le misure relative ad attività a valore aggiunto, ma anche per quelle non a valore aggiunto;
  - c. Se le misure sono rilevate su un periodo continuo, piuttosto che ad intervalli regolari, devono svolgere un ruolo importante nel processo di continuo miglioramento.
- *Simple & Dynamic* (semplicità e dinamicità): il sistema di misura deve essere semplice e dinamico, in modo da includere solo aspetti rilevanti e da renderlo adattabile alle specifiche richieste aziendali, sempre in continua evoluzione. Gli indicatori devono essere semplici e di facile interpretazione, l'utilizzo di indicatori troppo complessi e/o l'utilizzo di troppi indicatori rischia di rendere il sistema di misura reattivo anziché proattivo, focalizzandosi solamente su un controllo delle prestazioni e non sul processo di miglioramento continuo.

Tabella 2.1 Le dimensioni e caratteristiche di un sistema di misura.

Dimensione/Caratteristica	Descrizione
<b>Strategy</b> <i>Strategia</i>	Il sistema di misura deve tradurre ed implementare le strategie aziendali a tutti i livelli dell'organizzazione
<b>Flow orientation</b> <i>Orientazione del flusso</i>	Il sistema di misura deve integrare tutte le funzioni, le attività e i processi lungo la <i>supply chain</i> (catena di approvvigionamento)
<b>Internal efficiency</b> <i>Efficienza interna</i>	Il sistema di misura deve rendere possibile un controllo della produttività e un confronto tra le funzioni interne
<b>External efficiency</b> <i>Efficienza esterna</i>	Il sistema di misura deve interagire con i clienti e misurare il loro livello di soddisfazione
<b>Improvement drivers</b> <i>Drivers per il miglioramento</i>	Lo scopo del sistema di misura è quello di fornire degli indicatori che devono essere alla base per elaborare ed intraprendere delle soluzioni migliorative, non deve dunque fungere soltanto da controllo passivo
<b>Simple and dynamic</b> <i>Semplicità e dinamicità</i>	Il sistema di misura deve essere semplice e dinamico, in modo da includere solo aspetti rilevanti e da renderlo adattabile alle specifiche richieste aziendali, sempre in continua evoluzione

### 2.3. Differenza tra efficienza ed efficacia

Prima di entrare nel dettaglio e vedere cos'è, come si calcola e a che cosa serve l'OEE è molto importante fare chiarezza sulla differenza tra efficacia ed efficienza poiché c'è sempre confusione tra questi due termini. Inizialmente l'OEE è nato come misura di efficienza (*Overall Equipment Efficiency*), mentre ora è generalmente conosciuto come misura di efficacia (*Overall Equipment Effectiveness*). Come evidenziato da Iannone e Nenni l'efficienza è il rapporto tra i dati di input reali e quelli teorici, mentre l'efficacia è il rapporto tra i dati reali di output e quelli teorici [27]. L'efficienza di una risorsa produttiva indica quindi la capacità di funzionare bene al minor costo, ma a differenza dell'efficacia è scollegata a quelli che sono gli obiettivi aziendali che creano valore: gli output. Sia l'efficienza che l'efficacia influenzano la produttività (*productivity*), che è definita come l'output reale rispetto all'input reale (ad esempio il numero di pezzi prodotti per dipendente). La Figura 2.2 riassume ciò che è stato detto, mettendo a confronto efficienza, efficacia e produttività.

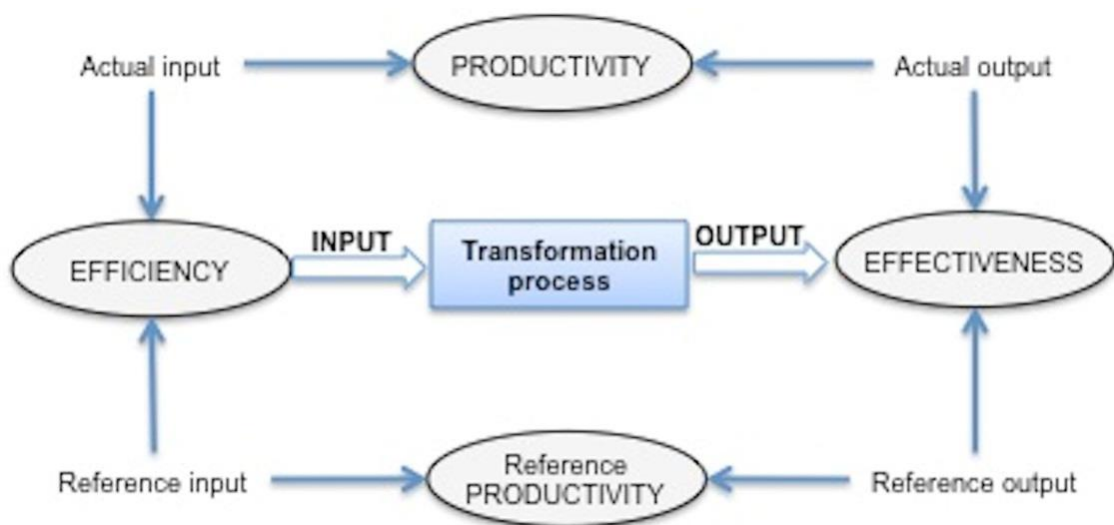


Figura 2.2 Relazione tra efficienza, efficacia e produttività.

## 2.4. Definizione di Overall Equipment Effectiveness (OEE)

L'*OEE*, acronimo di *Overall Equipment Effectiveness* (in italiano “efficacia generale dell’attrezzatura”), è uno degli indicatori di *performance* più utilizzato in tutte le aziende nel mondo per comprendere e valutare i propri processi di produzione. È stato proposto negli anni '80 dal giapponese Seiichi Nakajima come strumento per quantificare l’efficacia dei piani di *TPM*, ma oggi è spesso utilizzato come uno strumento di miglioramento indipendente. Il punto di forza dell'*OEE* è quello di essere un indice molto sintetico e quantitativo: è costituito da un singolo valore percentuale di facile comprensione, in grado però di contenere al suo interno un gran numero di informazioni riguardanti l’impianto di produzione. Altro non è che il rapporto tra l'*output* reale e l'*output* massimo teorico di produzione:

$$= \frac{\text{put di pr du}}{\text{put mass mo co di pr du}} \quad (2.1)$$

Avere un *OEE* elevato è un segno di una fabbrica altamente efficiente con un'elevata produttività. Un *OEE* basso, d'altra parte, significa che ci sono risorse che stanno producendo perdite anziché produrre valore [28]. L'idea fondamentale su cui si basa il calcolo dell'*OEE* è che ogni processo di produzione è sempre caratterizzato da fenomeni di disturbo al normale funzionamento, che determinano vari tempi persi. Monitorando l'*OEE* è possibile misurare e quantificare il potenziale delle apparecchiature ed identificare e classificare le fonti di perdite. Analizzando tutte le perdite dell’impianto di produzione, l'*OEE* non mostra soltanto ciò che è stato prodotto, ma anche ciò che si sarebbe potuto produrre; in altre parole l'*OEE* aiuta a comprendere il vero potenziale della fabbrica [28]. Inoltre, concentrandosi sul potenziale delle attrezzature e le varie fonti di perdite che impediscono di raggiungerlo, permette di identificare possibili soluzioni migliorative e ad indirizzare la manutenzione verso un sistema predittivo. “In definitiva, l'*OEE* mira a ridurre gli sprechi (perdite di produzione), abbassando così i costi e migliorando anche la produttività. Un vantaggio di secondo ordine dell'utilizzo dell'*Overall Equipment Effectiveness* è che può prolungare la vita utile delle macchine attraverso una maggiore consapevolezza e attenzione alla salute e alla produttività di esse” [29].

Quindi l'*OEE* non è solo un indicatore di prestazione, ma è soprattutto uno strumento di miglioramento continuo che ci consente di eliminare gli sprechi identificando quelle che vengono chiamate *The Six Big Losess* (in italiano “le sei grandi perdite”) che caratterizzano praticamente ogni impianto di produzione. L'utilizzo del concetto di *OEE* può aiutare le aziende di produzione a rimanere competitive nell'avvento dell'Industria 4.0, poiché sprecare risorse e operare al di sotto del vero potenziale non è una strategia sostenibile nel mondo di oggi. La possibilità di capire dove intervenire per migliorare le prestazioni è garantita dalla particolare composizione dell'*OEE*, infatti come vedremo più avanti esso è caratterizzato da tre fattori fondamentali di un impianto così definiti:

- *Availability* (disponibilità): percentuale di tempo in cui l'impianto sta effettivamente lavorando rispetto al tempo di produzione disponibile;
- *Performance* (prestazione): percentuale di prodotti realizzati rispetto alla potenzialità teorica nel periodo in cui l'impianto sta lavorando. Corrisponde alla velocità di produzione reale rispetto a quella nominale;
- *Quality* (qualità): percentuale di prodotti conformi realizzati rispetto al totale della produzione.

Sebbene la definizione di *OEE* sia piuttosto standard, ciò che spesso cambia è il metodo con il quale questi tre fattori vengono calcolati. Infatti ogni realtà aziendale può avere una diversa valutazione dei tre fattori che incidono sul calcolo dell'*OEE*. Il valore dell'*OEE* e delle sue voci costituenti è sempre inferiore al 100%, ovvero alla condizione ideale e impossibile da raggiungere. Studi effettuati in tutto il mondo hanno rilevato che il valore medio dell'*OEE* nelle aziende produttrici è circa il 60%, ma valori molto bassi, intorno al 40%, non sono comunque insoliti [30]. L'85% rappresenta un chiaro target di miglioramento per molte aziende.

## 2.5. Le Six Big Losses

Si è visto che ogni impianto industriale è fortemente influenzato da eventi di disturbo che causano tempi persi, deviandolo dal proprio funzionamento ideale. Questi eventi sono ovviamente uno spreco di tempo che potrebbe essere utilizzato per svolgere altro; in quanto non sono attività a valore aggiunto fanno aumentare il costo dei prodotti. A seconda della loro frequenza di accadimento, possono essere occasionali o cronici [26]. I fenomeni occasionali accadono irregolarmente e ad intervalli piuttosto lunghi tra loro, causando generalmente gravi problemi in termini di durata del singolo disturbo. Quelli cronici invece sono caratterizzati da una maggiore frequenza di accadimento e da una durata minore del singolo disturbo. Tuttavia in un impianto di produzione le perdite più significative sono quelle croniche, infatti, sebbene singolarmente siano di minore entità, la loro elevata frequenza di manifestazione conduce ad un basso tasso di utilizzo dell'apparecchiatura causando elevati costi. Inoltre i disturbi cronici sono più difficili da individuare e facilmente vengono confusi come il normale funzionamento del processo produttivo, venendo quindi sottovalutati o addirittura per nulla considerati. Nella metodologia *TPM* le perdite di efficienza legate all'apparecchiature vengono classificate in sei grandi cause di perdita, le *Six Big Losses*, divise in tre tipologie:

- *Availability losses* (perdite di disponibilità): è il tempo perso perché le attrezzature, anziché funzionare, sono ferme. In altre parole, è il tempo di inattività della produzione. Questa tipologia di perdite è molto critica e solitamente è la prima che viene affrontata dai produttori. Inoltre è quella con il maggior numero di ragioni possibili.
- *Performance losses* (perdite di prestazione): è il tempo perso perché le attrezzature non lavorano alla massima velocità prevista. Questa tipologia di perdite è la più difficile da identificare e molte volte viene sottostimata o del tutto trascurata, poiché spesso non si conoscono le massime velocità di produzione delle macchine ed una produzione più lenta viene considerata “normale”.
- *Quality losses* (perdite di qualità): è il tempo perso per realizzare prodotti che non soddisfano i requisiti di qualità specificati. Questa tipologia di perdite è la più costosa poiché, oltre a perdere tempo di produzione, viene sprecato anche il



materiale. Anche se un prodotto può essere rilavorato, è comunque classificato come una perdita poiché le rilavorazioni richiedono tempo.

Come evidenziato da Trubaciate [31], le *Six Big Losses* si dividono in:

1. *Planned stops* (fermate pianificate): “orario in cui l'attrezzatura è programmata per la produzione ma non è in funzione a causa di un evento pianificato” [31]. Questa tipologia di fermate vengono definite come perdite di disponibilità ed è possibile definire quattro categorie di esse:

i. Perdite di attrezzaggio, di avviamento e di spegnimento.

- Il tempo di attrezzaggio/regolazione, anche chiamato tempo di *set-up* dall'inglese, è il periodo di tempo speso per preparare l'impianto tra una produzione e l'altra. In altre parole è il tempo che intercorre tra la produzione dell'ultimo pezzo conforme del prodotto A e il primo pezzo conforme del prodotto B. Per ridurre la durata dei singoli setup l'approccio più utilizzato è lo *SMED*, metodologia integrata nella teoria della *lean production* introdotta dall'ingegnere giapponese Shigeo Shingo. Lo *SMED*, acronimo di *Single Minute Exchange of Dies*, che si traduce letteralmente in “cambio stampi in un minuto”, nasce nell'industria dell'auto (Toyota) ed il suo merito è quello di aver introdotto una rivoluzione su come affrontare le problematiche dei set-up delle attrezzature. La globalizzazione ha inoltre reso necessario per le aziende produrre una vasta gamma di prodotti, incrementando notevolmente anche la frequenza dei setup con il risultato di aumentare il tempo di fermo degli impianti. Producendo per grandi lotti è possibile ridurre la frequenza degli attrezzaggi, tuttavia così facendo per contro aumentano i costi di giacenza in magazzino. Considerando i costi di set-up da una parte e i costi di giacenza dall'altra è possibile calcolare il lotto economico di produzione. Grazie al metodo *SMED*, come si è visto, è possibile limitare i tempi e i costi di attrezzaggio, e di conseguenza ridurre il lotto economico di produzione ed ottenere una maggiore flessibilità. Oltre a ridurre i singoli

tempi di *set-up*, ove è possibile si cerca sempre di effettuare gli attrezzaggi in tempi mascherati.

- Il tempo di avviamento, anche chiamato tempo di *start-up* dall'inglese, è il periodo di tempo speso per portare l'impianto di produzione dalla condizione di arresto alla condizione di lavoro. Tale periodo potrebbe includere anche controlli di sicurezza e rifornimento di materiali prima dell'avvio.
- Il tempo di spegnimento, anche chiamato tempo di *shut-down* dall'inglese, è il periodo di tempo speso per portare l'impianto di produzione dalla condizione di lavoro alla condizione di arresto in condizioni accettabili.

*ii.* Perdite sistemiche.

Questi tempi di inattività non sono necessariamente negativi, tuttavia vanno monitorati per comprendere a pieno le prestazioni e verificare che questi siano gestiti in modo efficace.

Alcuni esempi di queste perdite possono essere:

- Colloqui, riunioni, formazioni;
- Pulizie programmate;
- Manutenzione programmata;
- Pause di riposo.

“Per la manutenzione programmata, l'obiettivo è organizzare le attività di manutenzione in modo che avvengano al momento giusto e con la giusta frequenza. La manutenzione predittiva utilizza i dati di monitoraggio della produzione per determinare questi periodi e frequenze” [31].

*iii.* Perdite dovute alla pianificazione ed ottimizzazione.

Questi tempi di inattività sono correlati alla logistica subottimale, alla pianificazione della produzione e alla pianificazione della forza lavoro.

Alcuni esempi di queste perdite possono essere:

- Carezza di personale, dovuta sia per assenteismo che per dimensionamento errato del team di lavoro;
- Attesa della fornitura di materie prime;

- Accumulo di prodotto finito;
  - Ordini annullati;
  - Ritardo di veicoli di consegna o di carico.
- iv. Tempo di inattività dovuto a perdite di qualità.
- Quando a causa di difetti i prodotti devono essere scartati oppure rilavorati, la perdita, oltre ad essere di qualità e materiale, è anche di tempo produttivo.

Le perdite di disponibilità legate alla qualità produttiva possono essere:

- Periodi di inattività a seguito di interruzioni dell'impianto per indagare o risolvere problemi di qualità;
- Tempo speso per rielaborare (o smaltire) una produzione che non sia "*Right First Time*".

È importante affermare che nella formulazione originale dell'*OEE* fan parte di questa tipologia di perdita solo gli attrezzaggi e le altre fermate pianificate, come ad esempio la manutenzione programmata, vengono omesse dal calcolo dell'*OEE* e considerate come tempo non schedato alla produzione. Questo è sconsigliato poiché, anche se tutti questi tempi di inattività sono "pianificati", contano comunque come perdite di produzione ed è sempre possibile monitorare e ridurre la durata di tali soste.

2. *Unplanned stops* (fermate non pianificate): “orario in cui l'attrezzatura è programmata per la produzione ma non è in funzione a causa di un evento non pianificato” [31]. Come per le fermate pianificate, vengono definite come perdite di disponibilità e, poiché derivano da problematiche delle macchine, questa categoria viene spesso chiamata semplicemente “guasti”. Per poter avere dei benefici a monitorare i dati di produzione, è molto importante definire con informazioni sufficienti e classificare tali perdite relative ai guasti in base a cosa esattamente non ha funzionato. Un guasto non pianificato potrebbe portare alla successiva necessità di programmare un evento di manutenzione in una data successiva. L'obiettivo della manutenzione predittiva è quello di ridurre il più possibile questa categoria di fermate, sebbene sia molto complicata da eliminare completamente.

3. *Micro stops* (micro fermate): “l'apparecchiatura si ferma per un periodo di tempo molto breve, in genere un minuto o meno e l'arresto viene spesso risolto dall'operatore” [31]. Durante le micro fermate la macchina è ferma, eppure queste non vengono definite come perdite di disponibilità, ma come perdite di prestazione: infatti le micro fermate sono generalmente causate da problemi di processo piuttosto che da guasti alle attrezzature. Queste tipologie di fermate sono spesso sottovalutate poiché sono brevi, difficili da misurare e da classificare; in realtà possono avere un grande peso nel calo delle prestazioni di un impianto, dal momento che possono avere una frequenza di accadimento molto elevata. Il lato positivo delle micro fermate è che sono prevedibili, il che significa che possono essere spesso prevenute o limitate. In molti casi però la causa principale è connessa al processo produttivo, quindi richiede un cambiamento nella pratica lavorativa.

Tipiche cause di micro fermate possono essere:

- Disallineamento o cattivo posizionamento dell'attrezzatura;
- Impostazioni errate;
- Sensori bloccati;
- Inceppamenti dei materiali;
- Problemi di progettazione dell'attrezzatura;
- Pulizia rapida.

4. *Slow cycles* (cicli lenti): “l'attrezzatura è più lenta della "targa", il tempo teorico più veloce possibile per produrre un pezzo” [31]. I cicli lenti, anche semplicemente chiamati “riduzioni di velocità”, vengono definiti come perdite di prestazione, come le micro fermate. La differenza tra i due è che nel caso di una micro fermata l'apparecchiatura si ferma effettivamente, mentre nel caso di una riduzione di velocità è ancora in funzione, anche se non alla velocità a cui dovrebbe lavorare. “I cicli lenti, proprio come i micro stop, hanno un impatto spesso sottovalutato. Il motivo è che l'attrezzatura in funzione non attira l'attenzione. Inoltre, le macchine che funzionano lentamente diventano spesso la normalità e il personale potrebbe semplicemente anche non essere a conoscenza della vera capacità ottimale dell'attrezzatura” [31]. Per monitorare queste perdite

il primo passaggio consiste quindi nel determinare i tempi cicli ideali di ogni produzione e fissare l'obiettivo agli operatori. Il passo successivo è quello di monitorare e registrare i tempi cicli effettivi, insieme alle cause delle eventuali riduzioni di velocità.

Secondo Trattner, Hvam, e Haug [32], i fattori di perdita di velocità possono essere suddivisi in tre categorie:

a) Fattori tecnologici:

- Affidabilità della tecnologia;
- Limitazioni tecnologiche;
- Limitazioni ambientali.

b) Fattori umani:

- Inefficienza dell'operatore (cioè a causa della mancanza di formazione);
- Errore di misurazione;
- Problemi di pianificazione;
- Imprecisione nell'impostare il tempo ciclo ideale.

c) Fattori di processo:

- Disponibilità dei materiali;
- Qualità dei materiali;
- Varietà di prodotti;
- Qualità del prodotto finito.

5. *Start-up rejects* (scarti per avviamento): “difetti prodotti dall'avviamento fino al raggiungimento di una produzione stabile” [31]. Gli scarti per avviamento vengono definiti come perdite di qualità.

In genere questi difetti si verificano dopo:

- Un'accensione di una macchina;
- Una modifica delle impostazioni;
- Un cambio di produzione.

Per ridurre questa tipologia di perdite, gli operatori devono saper modificare le impostazioni delle attrezzature nel modo più preciso, evitando l'approccio per tentativi ed errori.

6. *Production rejects* (scarti di produzione): “difetti prodotti durante la produzione stabile (*steady-state*), compresi quelli che possono essere rielaborati (l'*OEE* misura la qualità sulla base del "*Right First Time*")” [31]. Come gli scarti per avviamento, anche gli scarti di produzione vengono definiti come perdite di qualità.

Possibili ragioni per difetti prodotti durante la produzione stabile sono:

- Impostazioni errate di un'apparecchiatura;
- Malfunzionamento di una macchina;
- Qualità scadente dei materiali;
- Cattiva gestione di un'attrezzatura.

Le *Six Big Losses*, utilizzate per classificare le perdite, vengono quindi suddivise in tre categorie generali: perdite di disponibilità, perdite di prestazioni e perdite di qualità. La Tabella 2.2 riassume ciò che è stato detto nel paragrafo 2.5, fornendo una rapida panoramica su queste perdite:

Tabella 2.2 *Le Six Big Losses*.

OEE	SIX BIG LOSSES	DEFINIZIONE	ESEMPI
Availability loss <i>Perdite di disponibilità</i>	1 <b>Planned stops</b> <i>Fermate pianificate</i>	Orario in cui l'attrezzatura è programmata per la produzione ma non è in funzione a causa di un evento pianificato	Set-up, avviamento, spegnimento, pulizia programmata, manutenzione programmata, ispezione di qualità, pause di riposo, riunioni
	2 <b>Unplanned stops</b> <i>Fermate non pianificate</i>	Orario in cui l'attrezzatura è programmata per la produzione ma non è in funzione a causa di un evento non pianificato	Guasti alle apparecchiature, manutenzione non programmata
Performance loss <i>Perdite di prestazione</i>	3 <b>Micro stops</b> <i>Micro fermate</i>	L'apparecchiatura si ferma per un periodo di tempo molto breve, in genere un minuto o meno e l'arresto viene spesso risolto dall'operatore	Disallineamento dell'attrezzatura, impostazioni errate, sensori bloccati, inceppamenti dei materiali, pulizia rapida
	4 <b>Slow cycles</b> <i>Cicli lenti</i>	L'attrezzatura è più lenta della "targa", il tempo teorico più veloce possibile per produrre un pezzo	Limitazioni tecnologiche, affidabilità dell'attrezzatura, errori umani, obiettivi bassi, qualità dei materiali
Quality loss <i>Perdite di qualità</i>	5 <b>Start-up rejects</b> <i>Scarti per avviamento</i>	Difetti prodotti dall'avviamento fino al raggiungimento di una produzione stabile	Cambi di produzione non ottimali, macchine che necessitano di cicli di "riscaldamento" o che producono sempre scarti all'avviamento
	6 <b>Production rejects</b> <i>Scarti di produzione</i>	Difetti prodotti durante la produzione stabile, compresi quelli che possono essere rielaborati	Impostazioni errate, malfunzionamento di un'apparecchiatura, cattiva gestione di una macchina

## 2.6. Il calcolo dell'OEE

Il primo passo per arrivare alla determinazione dell'OEE è quello definire il tempo di produzione disponibile (*available production time*), ovvero la differenza tra il tempo di produzione teorico (*theoretical production time*), anche detto tempo solare, ed il tempo di produzione in cui non è programmata la produzione (weekend, festività, ecc.), denominato tempo non schedato (*unscheduled time*):

$$\begin{aligned}
 mp_{di\ pr\ du} \quad \text{dispo}_{bi} & & (2.2) \\
 = mp_{di\ pr\ du} \quad \text{co} & \\
 - mp_{sch\ du} &
 \end{aligned}$$

Parte del tempo disponibile di produzione viene generalmente perso per delle perdite di disponibilità (*availability losses*), dovute a fermate pianificate e non pianificate. Se si sottrae al tempo disponibile di produzione la durata di queste perdite si ottiene il tempo operativo lordo (*gross operating time*):

$$\begin{aligned}
 mp_{pe} \quad \text{do} & & (2.3) \\
 = mp_{di\ pr\ du} \quad \text{disp}_{bi} & \\
 - Pe_{di} \quad \text{di dispo}_{bi} \quad \grave{a} &
 \end{aligned}$$

Durante la produzione possono manifestarsi delle perdite di prestazione (*performance losses*), dovute a micro fermate e cicli lenti. Se si sottrae al tempo operativo lordo la durata di queste perdite si ottiene il tempo operativo netto (*net operating time*):

$$\begin{aligned}
 mp_{pe} & & (2.4) \\
 = mp_{pe} \quad \text{do} & \\
 - Pe_{di} \quad \text{di pr}_{st} &
 \end{aligned}$$

Infine, nel caso in cui non tutti i pezzi di produzione siano conformi alle specifiche richieste, possono esserci anche delle perdite di qualità (*quality losses*), dovute a scarti di avviamento e scarti di produzione. Se si sottrae al tempo operativo netto la durata di queste perdite si ottiene il tempo operativo reale (*valuable operating time*):

$$\begin{aligned}
 mp_{pe} & & (2.5) \\
 = mp_{pe} \quad - Pe_{di} \quad \text{di qual} \quad \grave{a} &
 \end{aligned}$$

A partire da queste definizioni di classi di tempo è possibile calcolare i tre fattori fondamentali su cui si basa l'*Overall Equipment Effectiveness*: disponibilità, prestazione e qualità.



La disponibilità (*availability*, A) indica il tempo nella quale la macchina ha effettivamente lavorato rispetto al potenziale tempo totale di lavoro. È calcolabile come:

$$= \frac{mp \quad pe \quad do}{mp \quad di \quad pr \quad du \quad dispo \quad bi} \quad (2.6)$$

La prestazione (*performance*, P) indica la velocità effettiva a cui la macchina ha lavorato rispetto alla sua velocità massima teorica. Questo parametro è puramente quantitativo e non fa riferimento a tutti gli scarti e rilavorazioni che ci possono essere durante la produzione. È calcolabile come:

$$= \frac{mp \quad pe}{mp \quad pe \quad do} \quad (2.7)$$

La qualità (*quality*, Q) indica i pezzi prodotti conformi alle specifiche caratteristiche di produzione rispetto al totale dei pezzi prodotti. È calcolabile come:

$$= \frac{mp \quad pe}{mp \quad pe} \quad (2.8)$$

Nel paragrafo 2.4 l'OEE è stato definito come il rapporto tra l'*output* reale di produzione e l'*output* massimo teorico di produzione. È possibile ora ridefinirlo utilizzando questi tre fattori:

$$\begin{aligned} &= Dispon \quad bi \quad \grave{a} \cdot Pr \quad st \quad \grave{a} \quad \cdot \quad \grave{a} \quad (2.9) \\ &= \frac{\cdot \quad pe \quad do}{\cdot \quad di \quad pr \quad du \quad dispo \quad bi} \cdot \frac{\cdot \quad pe}{\cdot \quad pe \quad do} \\ &\quad \cdot \frac{\cdot \quad pe}{\cdot \quad pe} \\ &= \frac{mp \quad pe}{mp \quad di \quad pr \quad du \quad dispo \quad bi} \end{aligned}$$

Uno schema generale di queste classi di tempo, con riferimento alle *Six Big Losses* viene rappresentato in Figura 2.3. Va specificato che in letteratura queste classi di tempo possono trovarsi con differenti nomi, ma le definizioni non cambiano. Ciò che può cambiare invece sono i metodi con cui vengono calcolate le perdite, infatti ogni azienda le adatta alle proprie specifiche esigenze. Per fare un esempio, nella formulazione originale dell'*OEE* sviluppata da Nakajima, la manutenzione programmata non viene considerata come tempo perso, ma come tempo non schedulato alla produzione e questo può portare ad avere una valutazione differente dell'*OEE*. Non è insolito dunque trovarsi davanti a realtà aziendali in cui queste perdite di disponibilità non vengono considerate.

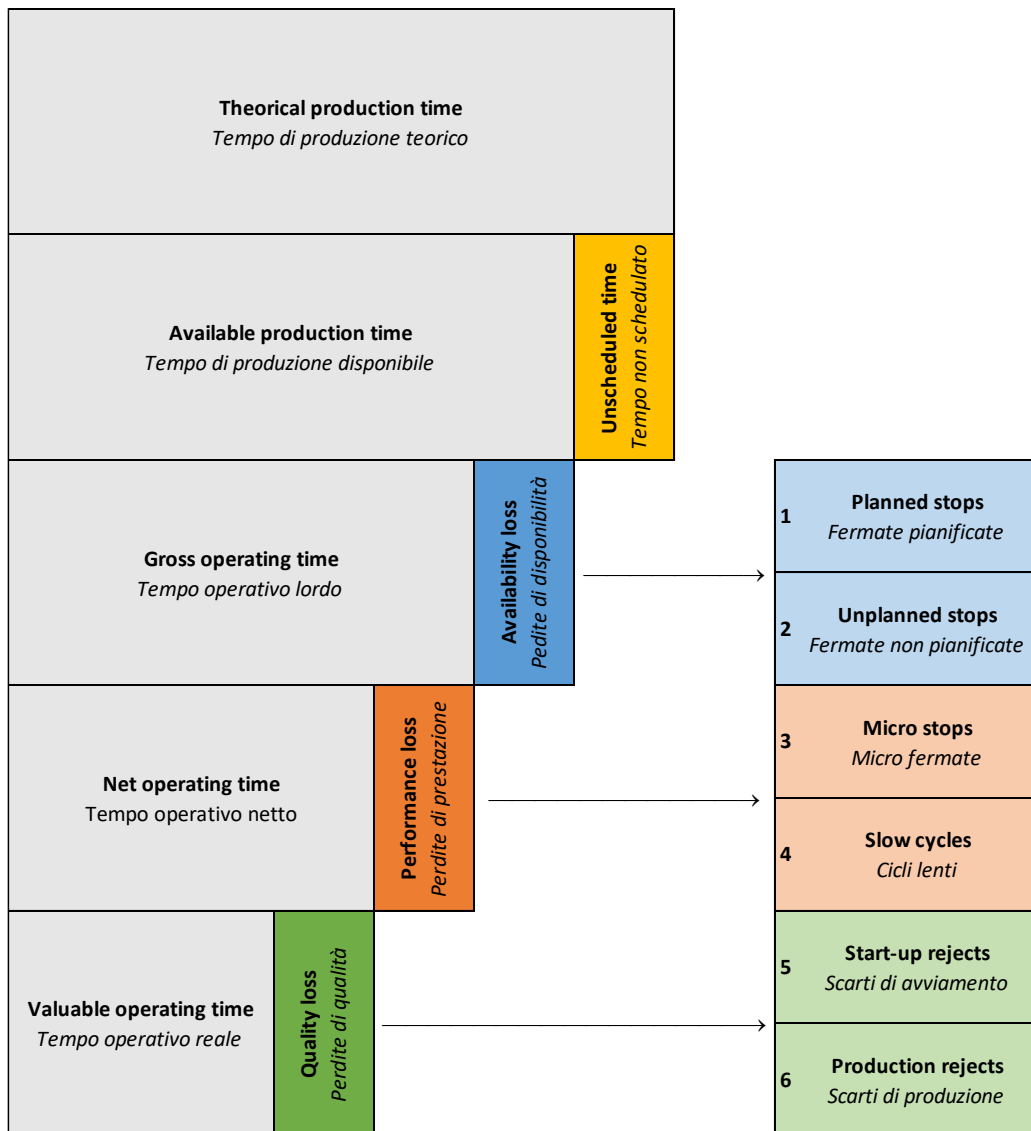


Figura 2.3 Rappresentazione grafica delle perdite di produzione.

Per definire i tre fattori che compongono l'OEE, è stato utilizzato il tempo come unità di misura. Alle volte risulta più comodo utilizzare altre unità di misura, quali la velocità ed il volume di produzione.

Ad esempio, dal momento che i tempi delle micro fermate e dei cicli lenti sono difficili da misurare, per valutare la prestazione solitamente è preferibile fare riferimento alla velocità o al volume di produzione:

$$= \frac{mp \text{ cicl} \quad co}{mp \text{ cicl}} \quad (2.10)$$

$$= \frac{Pr \text{ du} \quad mass \text{ ma} \quad ca \quad mp \quad pe \quad do}{Pr \text{ du}} \quad (2.11)$$

Allo stesso modo, poiché è difficile stabilire il tempo perso per produrre scarti, per valutare la qualità è preferibile fare riferimento al volume di produzione:

$$= \frac{Pr \text{ du} \quad co \text{ fo} \text{ me}}{Pr \text{ du}} \quad (2.12)$$

La Tabella 2.3 mostra come questi tre fattori possono essere calcolati utilizzando diverse unità di misura.

**Tabella 2.3** Fattori che compongono l'OEE espressi in diverse unità di misura.

	TEMPO	VELOCITÀ	VOLUME
DISPONIBILITÀ	$\frac{\text{Tempo operativo lordo}}{\text{Tempo di produzione disponibile}}$		
PRESTAZIONE	$\frac{\text{Tempo operativo netto}}{\text{Tempo operativo lordo}}$	$\frac{\text{Tempo ciclo teorico}}{\text{Tempo ciclo reale}}$	$\frac{\text{Produzione totale}}{\text{Produzione massima teorica nel tempo operativo lordo}}$
QUALITÀ	$\frac{\text{Tempo operativo reale}}{\text{Tempo operativo netto}}$		$\frac{\text{Produzione conforme}}{\text{Produzione totale}}$
OEE	$\frac{\text{Tempo operativo reale}}{\text{Tempo di produzione disponibile}}$		$\frac{\text{Produzione conforme}}{\text{Produzione massima teorica nel tempo di produzione disponibile}}$

L'OEE si esprime in punti percentuali: il valore massimo, pari al 100%, significherebbe che l'impianto produrrebbe esclusivamente pezzi conformi (100% di qualità), nel minor tempo possibile (100% di prestazione) e senza mai fermarsi (100% di disponibilità). Ovviamente la soglia ideale del 100% costituisce un riferimento solo teorico, "normalmente, l'esperienza indica che le aziende manifatturiere dispongono indicativamente di valori di OEE intorno al 60-70%. Sempre l'esperienza indica che, grazie all'impiego del sistema di analisi, è possibile incrementare l'OEE tra un 5% ed un 25%, considerando che un valore di OEE dell'85% viene considerato un ottimo livello di Lean Manufacturing" [33]. La Tabella 2.4 sottostante indica i valori di riferimento dei tre fattori per raggiungere il valore "world class" dell'85%:

**Tabella 2.4** Valori "world class" dei fattori che compongono l'OEE.

FATTORE	WORLD CLASS
Disponibilità	90.0%
Prestazione	95.0%
Qualità	99.9%
OEE	85.0%

### 2.6.1. Esempio di calcolo

A titolo esemplificativo, con riferimento al periodo di una giornata lavorativa, si supponga di voler determinare l'OEE di un ipotetico impianto produttivo caratterizzato dai seguenti dati:

- L'impianto lavora 2 turni al giorno, ciascuno della durata di 8 ore;
- L'impianto produce un solo tipo di prodotto in questo periodo di produzione e il tempo ciclo è di 32 secondi/pezzo;
- Ci sono stati fermi dovuti ad attrezzaggio, guasti e manutenzione programmata per 12000 secondi totali;
- Sono stati prodotti in totale 1300 pezzi e ne sono risultati conformi 1240.

Come prima cosa si calcola il tempo di produzione disponibile:

$$mp \text{ di } pr \text{ du} \quad dispo \text{ bi} = 2 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}} \cdot 8 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}} = 16 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}}$$

$$= 57600 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}}$$

Poiché si conoscono le perdite di disponibilità, è possibile calcolare il tempo operativo lordo:

$$mp \text{ pe} \quad do = 57600 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}} - 12000 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}} = 45600 \frac{\text{giorno}}{\text{giorno}}$$

Si è ora in grado di definire il tasso di disponibilità:

$$= \frac{po \text{ pe}}{mp \text{ di } pr \text{ du}} \frac{do}{dispo \text{ bi}} = \frac{45600 \text{ /giorno}}{57600 \text{ /giorno}} = 0.792 = 79.2\%$$

Conoscendo il tempo operativo lordo e il tempo ciclo di produzione, è possibile calcolare la produzione massima teorica in tale intervallo di tempo:

$$Pr \text{ du} \quad mass \text{ ma} \quad ca \quad mp \text{ pe} \quad do = \frac{45600 \text{ /giorno}}{32 \text{ /pe}}$$

$$= 1425 \frac{pe}{giorno}$$

Quindi si può calcolare il tasso di prestazione:

$$= \frac{Pr \text{ du}}{mp \text{ pe}} \frac{mass \text{ ma} \quad ca}{do} = \frac{1300 \text{ pe}}{1425 \text{ pe}} \frac{\text{/giorno}}{\text{/giorno}} = 0.912 = 91.2\%$$

Infine dai dati si può calcolare il tasso di qualità:

$$= \frac{\text{Pr du co fo me}}{\text{Pr du}} = \frac{1240 \text{ pe /giorno}}{1300 \text{ pe /giorno}} = 0.954 = 95.4\%$$

In conclusione l'*Overall Equipment Effectiveness* risulta:

$$= \cdot \cdot = 0.792 \cdot 0.912 \cdot 0.954 = 0.689 = 68.9\%$$

In questo esempio molto semplificato, il fattore più gravoso che abbassa il valore complessivo dell'*OEE* è la disponibilità (come nella maggior parte dei casi reali). Converrebbe quindi lavorare su di esso per migliorare l'efficacia complessiva dell'impianto.

## 2.7. Metodi di rilevamento dell'OEE

Quando si parla di Industria 4.0 non si può non parlare di quanto sia importante monitorare in modo costante e approfondito tutte le attività connesse alla produzione e alla gestione degli impianti di produzione. L'obiettivo principale di ogni azienda manifatturiera infatti è quello di aumentare le prestazioni delle proprie risorse, diminuendo i tempi di fermo macchine, i rallentamenti e il numero di prodotti che non rispettano le specifiche richieste di qualità. Il primo passo di qualsiasi programma di miglioramento dovrebbe essere la raccolta dati, poiché è impossibile "aggiustare" qualcosa senza misurarlo. Quando si raccolgono dei dati, essi dipendono dal tipo di analisi che si sta sviluppando, infatti non ha senso raccogliere un gran numero informazioni se poi queste sono irrilevanti e inutili per il progetto in esame. Inoltre i dati da raccogliere non devono essere troppo complessi per non creare difficoltà, sia nella fase di raccolta, sia in quella di analisi [26]. Si è visto che l'*Overall Equipment Effectiveness* è un indicatore impiegato in tutto il mondo per esprimere l'efficacia reale di un impianto di produzione e per comprendere le varie fonti di perdite di produzione. Le informazioni che tipicamente vengono raccolte per la sua misurazione sono [34]:

- Tempo di *start-up*: tempo che intercorre dall'inizio di una produzione fino alla sua stabilizzazione;

- Tempo di *set-up*: tempo perso per attrezzare l'impianto quando si cambia produzione;
- Tempo di fermata: tempo perso in cui l'impianto resta fermo a causa di un problema non pianificato;
- Tempo ciclo: tempo che intercorre dall'inizio della lavorazione di un prodotto fino alla sua realizzazione;
- Tempo di microfermata: tempo perso in cui l'impianto resta fermo per una breve fermata;
- Numero di prodotti realizzati, numero di prodotti che richiedono rilavorazioni e numero di scarti.

Oltre a quali dati raccogliere è importante anche stabilire come raccogliarli ed elaborarli. Fondamentalmente le metodologie di raccolta dati sono tre: raccolta manuale, automatica e semi-automatica. Il metodo di misurazione più efficiente ed affidabile è attraverso la raccolta automatica dei dati, ma in questo paragrafo verranno trattati e confrontati i tutti e i tre metodi per comprenderne i vantaggi e i limiti di ciascuno.

### ***2.7.1. Raccolta manuale***

Solitamente la raccolta manuale dei dati di produzione è affidata agli operatori responsabili delle varie attrezzature o dal personale di manutenzione, mentre l'elaborazione delle informazioni e il calcolo dell'*OEE* è affidato al personale d'ufficio. Il principale vantaggio di questo metodo di raccolta dati è la flessibilità nella raccolta e nella valutazione delle cause delle perdite di produzione, oltre al basso costo d'implementazione dal momento che non devono essere introdotti particolari sistemi di rilevazione, ma è necessario soltanto sviluppare degli appositi moduli di raccolta dati e formare il personale addetto alla compilazione. I tre problemi più comuni con i dati raccolti manualmente sono invece la mancanza di tempestività, l'inesattezza e la distorsione delle informazioni raccolte, ma se ne possono elencare molti altri, così riassunti [35]:

- I dati potrebbero non essere raccolti dal personale addetto per dimenticanza o mancanza di tempo;
- L'operatore potrebbe non essere dotato di cronometro e quindi i tempi persi segnalati risulterebbero essere soltanto delle approssimazioni delle vere perdite di produzione;
- Le diminuzioni di velocità e le microfermate risultano essere difficili da misurare manualmente;
- La vera causa che sta alla radice di un tempo perso potrebbe essere nascosta all'operatore;
- I dati non vengono processati in tempo reale: soltanto a posteriori è possibile avere dei report sull'andamento della produzione;
- La registrazione dei dati di produzione comporta dei tempi aggiuntivi per l'operatore, che potrebbe impiegare per attività sulla macchina (es. controllo, pulizia, ecc.);
- Il personale addetto alla registrazione dei dati potrebbe non essere motivato a farlo se non viene ben formato e coinvolto sugli obiettivi aziendali. Ciò comporterebbe poca attenzione da parte dell'operatore e poca accuratezza dei dati raccolti;
- L'operatore potrebbe essere sovraccaricato di lavoro, poiché in caso di problemi di produzione dovrebbe sia intervenire sulle macchine, che registrare i tempi persi e le cause dei problemi;
- La registrazione dei dati dovrebbe avvenire subito dopo la manifestazione dell'evento, altrimenti l'operatore potrebbe scordare dei dati o comunque essere meno preciso;
- Potrebbero esserci degli errori di scrittura o degli errori di distrazione da parte dell'operatore;
- A seconda dell'operatore addetto, potrebbero esserci delle discrepanze nel modo di registrare i dati di produzione;
- I moduli per la raccolta dati potrebbero essere non sufficientemente semplici per gli operatori, dal momento che solitamente non sono loro a progettarli;
- I moduli cartacei potrebbero andare persi o causare delle inefficienze.



Alcuni di questi problemi sono legati a scelte organizzative e quindi si possono risolvere o limitare fortemente, altri invece non si possono proprio eliminare per la natura stessa di un sistema di raccolta manuale (ad esempio gli errori di scrittura o la discrepanza nella raccolta dati tra operatori diversi). Considerando che le informazioni raccolte costituiscono la base per il calcolo dell'*OEE*, e dunque per le decisioni manageriali che vengono prese grazie all'analisi di tale indicatore, eventuali problemi, errori o inesattezze dei dati possono provocare un impatto negativo sulla produttività. La raccolta manuale dunque, pur essendo un metodo molto flessibile, e volendo molto dettagliato per quanto riguarda le cause delle perdite di produzione, comporta grossi limiti connessi all'intervento umano nella registrazione dei dati e nella loro successiva elaborazione.

### **2.7.2. Raccolta automatica**

Gran parte dei problemi descritti per la raccolta manuale possono essere eliminati quando i dati vengono registrati attraverso i sistemi *MES* discussi nel precedente capitolo. La raccolta automatica prevede di andare a registrare la durata e la causa delle perdite di produzione in tempo reale tramite un sistema automatico presente sull'impianto produttivo, dotato di particolari sensori in grado di identificare il motivo e la localizzazione del problema che determina la perdita. Un moderno sistema di raccolta dati automatizzato è composto da un *data logger*, un *transaction manager*, un database e un *report generator* che lavorano assieme, tipicamente sullo stesso server [36]. Il *data logger*, in italiano registratore di dati, è un dispositivo elettronico che ha il compito di raccogliere i dati di produzione attraverso dei sensori. Il *transaction manager* è il responsabile delle transizioni dei dati e ha il compito di ricevere i dati grezzi dal *data logger*, di analizzarli e di eseguire delle operazioni su di essi e di memorizzarli nel database. Il database ha il compito di memorizzare tutti i dati di produzione. Il database dovrebbe essere in grado di gestire più utenti contemporaneamente ed essere modulabile in base alle esigenze aziendali. Il *report generator* ha invece il compito finale di creare report, tabulati e grafici delle informazioni raccolte nel database. I report in genere possono essere configurati per visualizzare le informazioni in base all'intervallo di date, turno, macchina, strumento,

prodotto e/o operatore. Ad esempio è possibile specificare di voler visualizzare il valore dell'*OEE* per un determinato turno di lavoro piuttosto che per una specifica produzione. Inoltre il *report generator*, una volta pianificato, genera e solitamente distribuisce automaticamente i rapporti di produzione. Il vantaggio principale di questa metodologia di raccolta è che, una volta implementata, permette di essere effettuata in modo continuo e senza perdere alcuna informazione, garantendo la tempestività, l'accuratezza e l'imparzialità dei dati che non riesce a garantire la raccolta manuale. Passando da un sistema di raccolta dati manuale ad uno automatico, è possibile dunque elencare i seguenti benefici:

- I tempi delle perdite di produzione vengono registrati in modo preciso al secondo e non in modo approssimativo;
- È possibile gestire il flusso di informazioni senza l'utilizzo di documenti cartacei, che portano soltanto a delle inefficienze. Infatti i dati vengono raccolti da dispositivi *IoT*;
- Non è più necessario inserire i dati raccolti in fogli di calcolo Excel. Ciò fa risparmiare innumerevoli ore di lavoro al personale addetto, che puoi utilizzarle in modo più produttivo;
- È possibile avere in qualsiasi momento gli output di produzione e le ragioni delle perdite di disponibilità, di prestazione e di qualità degli impianti produttivi in tempo reale;
- È possibile fornire un *feedback* visivo dell'andamento della produzione. Ciò migliora notevolmente la capacità di lavorare e di comprendere dati complessi, consentendo agli operatori di capire cosa possono fare per migliorare la produzione.
- Le cause delle perdite di produzione vengono standardizzate, eliminando la discrepanza che si può verificare tra differenti operatori. Questo permette di avere un'immagine chiara di ciò che sta accadendo in produzione, facilitando l'analisi e la comprensione dei problemi più critici e ricorrenti. Infatti, con la raccolta manuale dei dati, è possibile che i reali problemi di produzione rimangano nascosti;

- Ogni possibile distrazione o errore umano nella registrazione dei dati di produzione viene bypassato;
- Le innumerevoli informazioni raccolte e il coinvolgimento del personale facilita l'avviamento di procedure proattive di riparazione e di manutenzione preventiva.

È da specificare però che, fino a non molto tempo fa, la raccolta automatica dei dati era una soluzione complessa e costosa che non garantiva affidabilità: la scelta era tra la realizzazione di un sistema personalizzato adattato alle esigenze aziendali (che comportava grosse spese) oppure l'utilizzo di una serie di macchine specifiche, disponibili sul mercato, aventi un sistema interno di raccolta dati. Nel secondo caso il problema sorgeva qualora si adoperavano differenti macchinari di diversi fornitori in una linea di produzione, il che richiedeva un sistema che li integrasse in una costosa soluzione personalizzata. Fortunatamente una serie di fattori, qua sotto elencati, sono stati combinati per rendere la raccolta automatica dei dati di produzione una tecnologia molto più affidabile ed accessibile [36]:

- La diffusione delle reti Ethernet ad alta velocità come standard per le reti locali ha ridotto il costo delle schede di rete, degli adattatori e di altri hardware, consentendo ad Ethernet di sostituire le reti seriali dedicate più lente;
- I software di raccolta dati possono ora utilizzare un *browser web* per visualizzare e gestire i dati e le email per distribuire i report. Questo ha permesso di eliminare la necessità di installare dei *software client* ad alta manutenzione sulle *workstation*.
- I produttori di database hanno adottato il linguaggio *SQL (Structured Query Language)* come mezzo per ottenere i dati in entrata e in uscita, rendendo molto più facile la condivisione dei dati tra diversi pacchetti software, come i sistemi di raccolta dati basati sui software *ERP* o *MES*;
- Microsoft e oltre 150 fornitori di automazione si sono riuniti e hanno sviluppato una serie di standard e specifiche delle telecomunicazioni industriali, chiamati *OLE for Process Control (OPC)*, favorendo l'interoperabilità tra diversi dispositivi.
- L'evoluzione e l'utilizzo diffuso dei protocolli di comunicazione informatici, degli insiemi di regole che definiscono le modalità di comunicazione tra due o più

entità, hanno fornito i mezzi per spostare i dati grezzi dentro e fuori molti *Programmable Logic Controllers (PLC)* e altri dispositivi. Ciò ha permesso al sistema di raccolta dati automatizzata di trovare il modo di comunicare con molti tipi diversi di attrezzature.

### **2.7.3. Raccolta semi-automatica**

Idealmente, con un sistema di raccolta automatica, tutti i dati di produzione vengono raccolti automaticamente dalle macchine senza richiedere alcun input dagli operatori delle macchine stesse. Sfortunatamente questo è spesso impossibile o troppo complicato e la scelta sul metodo di raccolta dati può ricadere su un sistema semi-automatico. Infatti, se il conteggio delle parti prodotte e la durata delle perdite di produzione di solito possono essere registrate automaticamente senza difficoltà, le ragioni esatte di alcune perdite non sono facilmente determinabili senza l'intervento umano. Poiché il vantaggio principale dell'*OEE* è quello di identificare le cause delle perdite, per poter identificare le criticità e trovare delle soluzioni migliorative, la semplice registrazione dei tempi delle perdite non è utile. La raccolta semi-automatica dei dati prevede di andare a registrare tramite un sistema automatico soltanto la durata delle perdite, mentre le ragioni di tali perdite vengono registrate manualmente dagli operatori delle macchine su opportuni supporti informatici. Il metodo più efficace, per consentire ad un operatore di indicare la causa di una perdita, consiste nel fornire un menu di scelte da cui selezionare il motivo appropriato. Non però è sufficiente creare ed installare semplicemente il terminale con il menu delle cause delle perdite, ma è necessario fare alcune considerazioni. Se ad esempio, dopo un fermo macchina, alla ripartenza l'operatore si dimentica di selezionare un motivo dell'arresto, questo tempo verrà registrato come inattivo, ma la ragione dell'arresto verrà persa. Un metodo per obbligare l'operatore a selezionare una causa per il tempo di inattività, evitando così che si possa dimenticare, consiste nell'impostare il terminale in modo da impedire il riavvio della macchina fino al momento in cui non viene selezionata una ragione dal menu. Solitamente ciò non accade per brevi arresti (ad esempio se l'operatore deve effettuare una rapida pulizia alla macchina), consentendo dunque un breve periodo di grazia per non appesantire il lavoro degli operatori. Inoltre è bene

individuare e selezionare all'incirca una dozzina di motivi per ogni macchina, cercando di impostare nella parte superiore del menu le cause di arresto macchina più frequenti [36]. Per concludere dunque il vantaggio di questa metodologia di raccolta dati sta nel fatto di poter monitorare con estrema precisione i tempi delle perdite di produzione ed avere al tempo stesso un sistema flessibile per quanto riguarda l'individuazione delle cause delle fermate. In altre parole permette quindi di combinare i vantaggi sia della raccolta automatica che di quella manuale, fornendo dati precisi per le successive analisi dal momento che si sollevano gli operatori dal difficile compito di cronometrare i tempi delle perdite. A differenza della raccolta completamente automatica, rimane però la possibilità di avere dei dati non completamente affidabili dal momento che l'errore umano non è mai totalmente evitabile.

## **2.8. Potenzialità e limiti dell'OEE**

Per essere competitivi sul mercato, le aziende devono monitorare i propri processi produttivi, in modo da identificarne i punti deboli, possibili aree di miglioramento e ridurre i costi di produzione. È fondamentale l'utilizzo di indicatori che forniscono una comoda lettura nella misurazione dell'efficacia delle attrezzature e delle misure adottate. Come si è visto l'OEE per molte aziende è la chiave per ottenere miglioramenti continui in quanto aiuta sia ad identificare le perdite che a comprendere le aree problematiche di un impianto di produzione, con l'obiettivo di migliorarne le *performance* e l'affidabilità. In seguito verranno elencati i punti di forza e le potenzialità nell'utilizzo dell'*Overall Equipment Effectiveness*:

- È un indicatore sintetico, infatti è composto da un singolo numero espresso in valore percentuale;
- Nonostante sia uno strumento molto sintetico, grazie alla sua scomposizione in tre fattori, permette di analizzare nel dettaglio le cause dei tempi persi aiutando a prendere decisioni migliorative della produzione;
- Permette di valutare con semplicità i cambiamenti apportati da una modifica effettuata sull'impianto di produzione o sul processo produttivo;

- È uno strumento adatto per confrontare una situazione “*as is*” e una “*to be*”;
- “Le informazioni fornite, sono utili a tutti i livelli del processo produttivo: dal team di produzione, a quello di manutenzione, fino alla Direzione. Questa metrica, spinge il team ad un approccio alla risoluzione dei problemi e consente ai dirigenti di concentrarsi su aree che generano maggiori rendimenti”[37];
- Può essere utilizzato per stabilire dei *target* produttivi;
- Consente di sapere se l’apparecchiatura funziona correttamente o se ci sono problemi che possono portare alla necessità di riparazioni future. Con la conoscenza dell’*OEE* si è in grado di anticipare questi eventi rappresentando un notevole risparmio sia nella manutenzione preventiva dei macchinari, sia negli altri costi associati al guasto della macchina stessa [37];
- È possibile analizzare i dati relativi alla produzione ed alle fermate mediante dei confronti interni. Si possono ad esempio confrontare le prestazioni di una macchina o di una linea rispetto ad un’altra oppure si può analizzare a quali materiali di produzione sono associati gli scarti, i rallentamenti o le fermate;
- È possibile fare un confronto esterno, anche detto *benchmark*, tra i risultati ottenuti e gli standard del settore. In questo caso è necessario fare attenzione che questo indicatore venga calcolato nella medesima maniera per avere un confronto valido.

Nonostante sia uno strumento molto apprezzato per la sua efficacia nell’esprimere le *performance* di un sistema produttivo, l’*OEE*, come tutti gli indici sintetici, può essere frutto di problemi ed incomprensioni e presenta anche una serie di limitazioni nella sua formulazione originale. In seguito verranno elencati i punti deboli e i limiti nell’utilizzo dell’*Overall Equipment Effectiveness*:

- Tale indice non dà informazioni su quelli che sono i costi attuali delle risorse, su quali siano le soluzioni da intraprendere o quali siano i costi futuri che queste implicano. “I dati forniti vanno quindi analizzati considerando il contesto produttivo e soprattutto il rapporto costi/benefici che emerge dall’eliminare quelle inefficienze che l’*OEE* mostra soltanto” [38];
- La formulazione originale dell’*OEE* dà uno stesso peso a tutti e tre i fattori che lo compongono [39]. Ogni realtà aziendale dovrebbe dare invece un proprio peso

caratteristico per le perdite dovute alla qualità, alla prestazione e alla disponibilità poiché non hanno gli stessi costi;

- Vi è una mancata coerenza nella definizione della disponibilità di un impianto, perciò molti autori propongono diversi metodi per definire il tempo di produzione disponibile;
- Non vi è una chiara relazione tra la causa e l'effetto di un cambiamento dei valori dei tre fattori e dell'*OEE*;
- Secondo alcuni autori l'*OEE* è uno strumento valido per esplicitare l'efficacia di una singola macchina, ma non di un intero processo produttivo o dell'intera area produttiva di un'azienda [40] [41]. Generalmente un'apparecchiatura non è mai isolata e il processo produttivo è il frutto della sinergia di un insieme di macchine. Spesso però non vengono tenute considerazione sull'interazione e l'interdipendenza delle varie risorse impiegate.
- Secondo altri autori invece l'*OEE* non è un valido strumento per valutare l'efficacia di una singola macchina, poiché tiene conto di perdite che sono dipendenti dell'intero processo produttivo ed esterne al singolo macchinario [42].

## 2.9. Evoluzioni dell'*OEE*

Sia in letteratura che nella pratica, nel tempo sono state introdotte diverse estensioni dell'*OEE* per superare quelli che sono i suoi limiti, le quali prendono nomi differenti a seconda del loro scopo principale o di ciò che misurano.

Il *TEEP*, acronimo di *Total Effective Equipment Performance*, è una formulazione analoga a quella dell'*OEE* con la unica differenza che utilizza come riferimento il tempo di produzione teorico anziché quello disponibile. Così facendo il tempo non schedulato alla produzione viene integrato nel calcolo del *TEEP*, togliendo ogni ambiguità ed interpretazione sulla definizione delle fermate pianificate [43]. Eliminando questo problema, il *Total Effective Equipment Performance* si presta meglio alla comparazione; tuttavia in certi casi, come in realtà produttive basate su uno o due turni lavorativi giornalieri, l'indicatore può assumere valori molto bassi complicandone la valutazione. Per il calcolo del *TEEP* va introdotto l'utilizzo





$$PE = \frac{mp \quad pe}{mp \quad pe \quad co} \quad (2.16)$$

Un'altra evoluzione dell'*OEE* è il *PEE*, acronimo di *Production Equipment Effectiveness*, che attribuisce dei pesi ai tre fattori che compongono l'*OEE*, in modo da farli impattare in modo differente sulla *performance* complessiva di impianto [39]. Il *PEE* viene calcolato nel seguente modo:

$$PE = A \cdot P \cdot Q, \quad \text{con } 0 < A, P, Q \leq 1; \quad \Sigma_{i=1}^3 = 1 \quad (2.17)$$

*A*, *P* e *Q* sono rispettivamente disponibilità, prestazione e qualità con l'analogo significato delle voci dell'*OEE* tradizionale, mentre  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  sono i pesi associati ai tre fattori.

Si è visto che la formulazione originale dell'*OEE* può essere criticata per il fatto che non sia adatta a valutare le prestazioni di un intero impianto produttivo, poiché l'interferenza tra le macchine è notevole e non trascurabile. Un'evoluzione dell'*OEE* utile per valutare l'efficacia di un'intera linea di produzione è l'*OLE* (*Overall Line Effectiveness*) [41]. In questo approccio il sistema di produzione è descritto come l'insieme di diverse fasi del processo fino al completamento del prodotto. Nel calcolo si considera che le macchine siano direttamente interdipendenti: pertanto l'output di una macchina è determinato dal suo input e questo input, a sua volta, corrisponde all'output delle macchine a monte. In tal modo, si presume una sequenza di flusso continuo per  $n$  fasi del processo, mentre i difetti e le parti da rilavorare vengono rimossi. La formula dell'indicatore si concentra sull'ultimo processo nella linea (*last machine, LM*), sulla prima macchina (*first machine, FM*) e sul collo di bottiglia (*bottleneck, BL*):

$$LE = \frac{mp \quad pe \quad do_{LM}}{mp \quad di \quad pr \quad du \quad dispo \quad bi} \quad (2.18)$$

$$\cdot \frac{put_{LM} \cdot mp \quad cicl \quad BL}{mp \quad pe \quad do_{FM}}$$

In caso di flusso di produzione continuo l'OLE dà ottimi risultati, se le singole attrezzature sono invece disaccoppiate il metodo perde la sua validità.

Un ulteriore indicatore capace di valutare l'efficacia di un'intera linea di produzione è l'OEEML, acronimo di *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* [40]. Anche in questo caso si è in linea con la critica all'OEE secondo cui non sia adatto alla valutazione di un intero impianto di produzione. Dal momento che le attrezzature interagiscono tra di loro è necessario suddividere le perdite in due categorie: quelle dipendenti dalla singola macchina (*equipment dependet losses, EDL*) e quelle indipendenti dalla singola macchina (*equipment independent losses, EIL*). La prima categoria può essere eliminata tramite manutenzioni o miglioramenti dei macchinari, la seconda invece tramite miglioramenti dell'intero ambiente produttivo come il layout aziendale, la dimensione dei buffer, ecc. Il calcolo dell'OEEML si concentra sull'ultima macchina della linea di produzione (*last machine, LM*) e sul collo di bottiglia (*bottleneck, BN*):

$$MML = \frac{put}{put \quad co} = \frac{put_{LM}}{put \quad co} \quad (2.19)$$

$$= \frac{mp \quad pe}{mp \quad di \quad pr \quad du} \frac{LM/ \quad mp \quad cicl \quad LM}{dispo \quad bi \quad / \quad mp \quad cicl \quad BN}$$

$$= \frac{mp \quad ci \quad lo_{BN}}{mp \quad cicl \quad LM} \cdot LM$$

In questo modo è possibile determinare l'efficacia dell'intero impianto produttivo valutando soltanto quella dell'ultima macchina e andando a correggerla del fattore  $\frac{ciclo_{BN}}{ciclo_{LM}}$  per tenere conto di tutti i fattori esterni alla macchina (*EIL*) che influenzano le prestazioni dell'intera linea.

Come è stato detto nel paragrafo precedente secondo alcuni autori invece la formulazione originale dell'*OEE* non è adatta a valutare le prestazioni di una singola macchina, poiché tiene conto di perdite che sono dipendenti dall'intero processo produttivo ed esterne al singolo macchinario. L'*Equipment effectiveness (E)* è un indicatore che prevede di dividere le perdite tra quelle dipendenti dalla singola macchina e quelle indipendenti, capace di valutare l'efficacia di una singola apparecchiatura [42]. Per misurare questo indicatore vengono definiti sei possibili stati della macchina:

1. *Non-operational state* (stato non operativo): tempo in cui la macchina non è attiva perché non è schedulata alla produzione (weekend, vacanze, ecc.);
2. *No-input state* (stato senza input): tempo in cui la macchina è attiva ma non è in grado di lavorare per mancanza di prodotti in ingresso (*starvation*);
3. *No-output state* (stato senza output): tempo in cui la macchina è attiva ma non è in grado di lavorare perché non può rilasciare prodotti in uscita poiché il *buffer* a valle è pieno (*blocking*);
4. *Unscheduled down state* (stato di fermo non pianificato): tempo in cui la macchina è attiva ma non è in grado di lavorare a causa di una fermata non pianificata (guasti, riparazioni, ecc.);
5. *Scheduled down state* (stato di fermo pianificato): tempo in cui la macchina è attiva ma non è in grado di lavorare a causa di una fermata pianificata (*set-up*, manutenzione programmata, ecc.);
6. *Productive state* (stato di produzione): tempo in cui la macchina è attiva ed esegue la propria funzione produttiva.

Lo stato non operativo, senza input e senza output vengono considerati come perdite indipendenti dalla macchina stessa, mentre lo stato di fermo non pianificato e di fermo pianificato vengono considerati come perdite dipendenti.

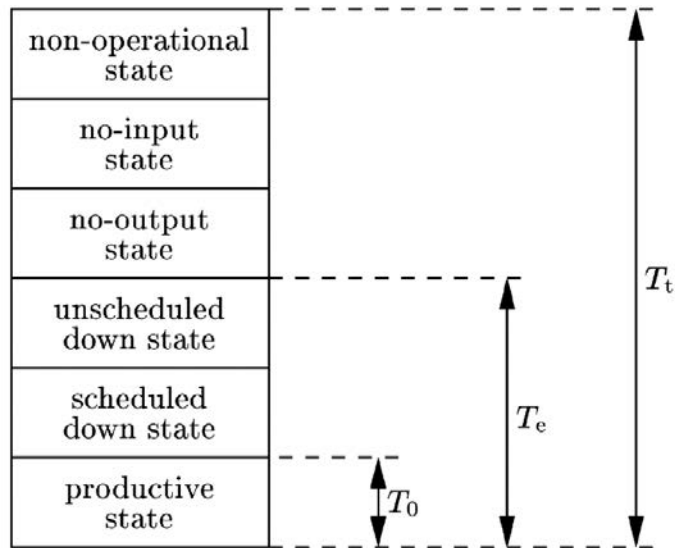


Figura 2.4 Rappresentazione grafica dei possibili stati della macchina.

La Figura 2.4 è una rappresentazione schematica dei sei possibili stati della macchina, dove con  $T_T$  è indicato il tempo totale disponibile (considerando sia le perdite dipendenti che indipendenti dalla macchina), con  $T_E$  il tempo effettivo (considerando solo le perdite dipendenti dalla macchina) e con  $T_O$  è il tempo operativo dell'apparecchiatura così definiti:

$$= N_o \quad p_e \quad s_t \quad + \quad p_{ut} \quad s_t \quad (2.20)$$

$$+ \quad p_{ut} \quad s_t \quad + \quad U_{sch} \quad d_u \quad d_{own} \quad s_t$$

$$+ \quad S_{ch} \quad d_u \quad d_{own} \quad s_t \quad + \quad P_r \quad d_{uct} \quad s_t$$

$$= U_{sch} \quad d_u \quad d_{own} \quad s_t \quad + \quad S_{ch} \quad d_u \quad d_{own} \quad s_t \quad (2.21)$$

$$+ \quad P_r \quad d_{uct} \quad s_t$$

$$= P_r \quad d_{uct} \quad s_t \quad (2.22)$$

L'*Equipment effectiveness* considera solamente le perdite dipendenti dalla macchina e può essere definito nel seguente modo:

$$= \frac{Nume \quad de \quad pe \quad co \quad fo \quad mi \quad /}{Nume \quad mass \quad mo \quad de \quad pe \quad bi \quad came \quad /} \quad (2.23)$$

Come per l'OEE è possibile definire l'E tramite la combinazione di tre fattori.

Il fattore A indica la disponibilità della singola macchina, considerando soltanto le perdite dipendenti dalla macchina stessa; è definito come:

$$= \text{---} \quad (2.24)$$

Il fattore R indica la differenza tra la produzione effettiva e quella teorica ottenibile nello stesso intervallo temporale, dal momento che la velocità reale e teorica di produzione difficilmente coincidono; è definito come:

$$= \frac{\text{Nume de pe}}{\text{Nume mass mo de pe bi}} \quad (2.25)$$

Il fattore Y indica il rapporto tra i prodotti conformi e i prodotti totali realizzati, includendo gli scarti e le rilavorazioni; è definito come:

$$= \frac{\text{Nume de pe co fo mi}}{\text{Nume de pe}} \quad (2.26)$$

È dunque possibile calcolare l'Equipment effectiveness con la seguente formulazione:

$$= \cdot \cdot \quad (2.27)$$

Tutti questi indicatori sono alternative alla formulazione originale dell'OEE che permettono di superare alcuni limiti. In letteratura e nella pratica esistono ulteriori indici che nascono come evoluzioni dell'Overall Equipment Effectiveness, tuttavia nessuno è in grado di essere utilizzato in tutti i contesti produttivi ed uniformare tali misurazioni. Ogni realtà aziendale preferisce adottare la formulazione che meglio si adatta al proprio contesto; tuttavia questo comporta dei problemi quando si vogliono fare dei confronti esterni.



# Capitolo 3

## Caso studio in Bertagni 1882 S.p.A. (stabilimento di Borghetto di Avio)

### 3.1. L'azienda

La Bertagni 1882 S.p.A. è una società internazionale italiana avente due stabilimenti produttivi, uno ad Arcugnano (VI) e l'altro a Borghetto di Avio (TN), che fonda il suo *core business* nella produzione di pasta fresca ripiena. Si narra di Bertagni come il più antico produttore di pasta ripiena al mondo, infatti la nascita del pastificio risale al 1882 nella bottega di Luigi Bertagni a Bologna, la patria dei tortellini. Il merito di Luigi Bertagni non fu solo quello di produrre buoni tortellini, qualità comune nella città emiliana, ma fu soprattutto quello di studiare, insieme ai fratelli Ferdinando e Oreste, un metodo per poterli essiccare e confezionare per conservarli più a lungo. Questo permise all'azienda di ingrandirsi fino a diventare, nei primi decenni del secolo, una realtà industriale riconosciuta e i loro prodotti apprezzati sia in Italia che all'estero. Da allora la pasta ripiena Bertagni attraversa tutta la storia d'Italia del ventesimo secolo. Nel 1972 la famiglia Bertagni cede il marchio e lo stabilimento di San Lazzaro di Savena (BO) alla Fioravanti. Nel 1996 la storica ditta chiude a causa della diminuzione dei volumi lavorativi e dalla sempre più incalzante espansione dei concorrenti. Alla fine del 2002 la proprietà dell'azienda Bertagni passa nelle mani sapienti di due appassionati manager con esperienza nel settore, che rilevano lo stabilimento ex Fioravanti presente ad Arcugnano. “La loro sfida è quella di proporre al consumatore una pasta ripiena prodotta a livello industriale, ma con tutto il sapore e la genuinità della pasta fatta in casa dalle nonne di una volta. A questo proposito, mettono in atto nuovi sistemi produttivi e macchinari esclusivi, studiati per non rinunciare alla tradizione gastronomica italiana ma, anzi, riprodurre in maniera fedele il gusto e l'aroma di una volta, nella sua semplicità ed unicità. La ricerca di

un'armonia perfetta tra innovazione e tradizione, l'attenzione maniacale alle esigenze dei clienti, la genuinità dei prodotti, sono solamente alcune delle determinanti del successo dell'azienda, che oggi si fa ambasciatrice della tradizione gastronomica italiana nel mondo" [44]. Nel 2017 la Bertagni 1882 S.p.A. estende la sua produzione rilevando lo stabilimento ex Malgara Chiari & Forti di Borghetto di Avio. Oggi la pasta fresca Bertagni è presente in oltre 40 nazioni e in cinque continenti, nei supermercati e nei migliori negozi di specialità alimentari in tutto il mondo.

### **3.2. I prodotti**

Attualmente nello stabilimento di Avio viene prodotta solamente pasta ripiena, le altre produzioni vengono fatte nello stabilimento di Arcugnano. È possibile suddividere i prodotti realizzati in due grandi categorie: i tortellini e i ravioli. A loro volta esiste una grande varietà di questi due prodotti, che possono essere suddivisi sia in base al formato, che al ripieno e alla pasta.

#### 1) Formato:

##### a) Tortellini:

- Cappelletti;
- Tortelloni;
- Big tortelloni.

##### b) Ravioli:

- Ravioli 35x35;
- Ravioli 45x45;
- Triangoli;
- Girasoli;
- Girasoli piccoli;
- Maltagliato;
- Mezzelune grandi;
- Mezzelune irregolari;
- Tondi;
- Cappelacci.



## 2) Ripieno e pasta.

Per tutte le tipologie di formato elencante esistono tante varietà di ripieno e di pasta.

Anche per quanto riguarda il *packaging* esiste una grande varietà di prodotti, che possono essere suddivisi sia in base alla tipologia, che al formato.

### 1) Tipologia del *packaging*:

- Vaschette termoformate;
- Vaschette in cartone.

### 2) Formato del *packaging*:

- 250 grammi (formato più comune);
- 255 grammi;
- 397 grammi;
- 400 grammi;
- 455 grammi;
- 500 grammi;
- 510 grammi;
- 1000 grammi
- 1133 grammi.

È da specificare inoltre che esistono ripieni contenenti allergeni (frutta secca a guscio, crostacei e pesce) che vengono realizzate e confezionate in una linea separata dalle altre.

## **3.3. Le linee di produzione**

Nello stabilimento di Avio sono presenti cinque linee di produzione, denominate linea 11, 12, 13, 14 e 17: la linea 11 è progettata per produrre solamente tortellini, la linea 13 e 14 per produrre solamente ravioli (in futuro la linea 14 sarà adoperata anche per

la produzione di pasta liscia), la linea 12 per poter produrre sia tortellini che ravioli e la linea 17 è una linea di produzione separata dalle altre a cui vengono affidate tutte le produzioni contenenti allergeni (ma non solo). Come si può vedere dalla Figura 3.1, che rappresenta lo schema semplificato del layout aziendale, ogni linea di produzione è formata da quattro centri di lavoro: la cucina, la formatura, la camera bianca e il cartonamento. Si può notare che è possibile spostare la produzione dalla formatura della linea 13 alla camera bianca della linea 14. Di norma per ogni reparto vengono affidati un certo numero di operatori per linea, tuttavia, in caso di necessità, gli operatori di ogni reparto hanno una buona flessibilità sullo spostarsi da una linea all'altra. Diverso è per la formatura e la camera bianca della linea 17 quando vi sono produzioni con allergeni, poiché per entrare bisogna passare attraverso una precamera dove è obbligatorio indossare, e poi all'uscita togliere, una tuta intera onde evitare di esportare allergeni nelle altre linee.

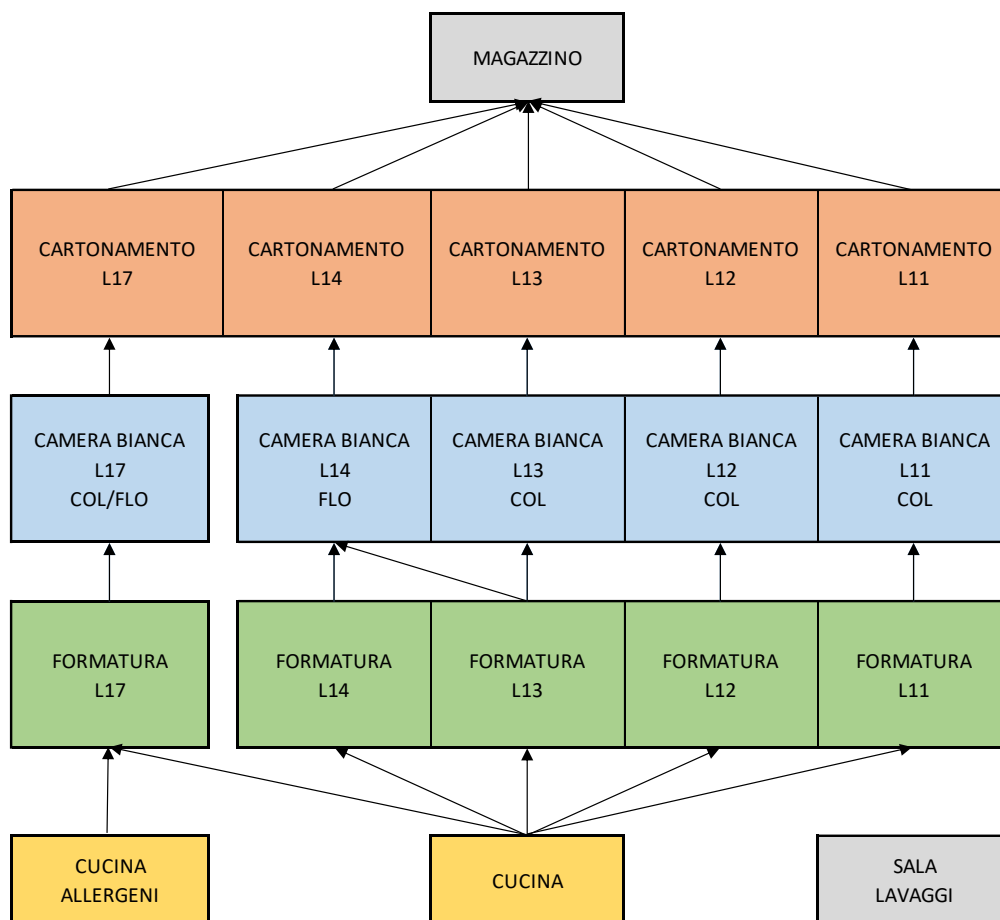


Figura 3.1 Layout aziendale dello stabilimento di Avio.

### **3.3.1. Cucina**

La linea produttiva inizia in cucina, dove vengono preparati i ripieni per le successive produzioni in formatura. A differenza degli altri centri di lavoro, questo reparto è comune a tutte le linee di produzione e non lavora al loro ritmo (la produzione di certi ripieni può iniziare anche qualche giorno prima il loro utilizzo). Per tali motivi questo reparto non viene preso in considerazione per il calcolo dell'*OEE*. Inoltre è da specificare che i ripieni contenenti allergeni vengono preparati in una cucina separata, che si trova vicino alla linea 17.

### **3.3.2. Formatura**

Come suggerito dal nome stesso, la formatura è dove viene formata la pasta ripiena. I principali macchinari di questo reparto sono l'impastatrice, lo sfogliatore, la formatrice, la pompa per l'alimentazione del ripieno, il ciclone degli sfridi e infine il pastorizzatore. L'impastatrice e lo sfogliatore sono poste su un soppalco sopra alla formatrice e servono rispettivamente a formare la pasta e la sfoglia. Per quanto riguarda le formatrici, le macchine che effettivamente formano la pasta ripiena, bisogna distinguere quelle adoperate per la produzione di ravioli, le raviolatrici, da quelle adoperate per la produzione di tortellini, le tortellinatrici. La differenza sostanziale tra i ravioli e i tortellini sta nel metodo di produzione. Durante la produzione di tortellini la tortellinatrice "accoglie" una sola sfoglia di pasta fresca e una pompa per l'alimentazione del ripieno, integrata alla macchina, farcisce un ritaglio di sfoglia, per poi essere successivamente ripiegato su sé stesso, conferendogli così al tortellino la sua forma caratteristica. Gli sfridi di pasta vengono prima tagliati dallo taglia-scarti della formatrice e poi raccolti da un nastro esterno alla formatrice il quale, in base al comando che viene dato dall'operatore, può trasportare gli avanzi di pasta verso una cesta per gli scarti, nel caso la pasta sia "sporca" di ripieno (solitamente alla partenza di ogni nuova produzione o al riavvio di produzione a seguito di un fermo), oppure verso il ciclone degli sfridi che aspira questi avanzi di pasta per "ributtarla" nell'impastatrice, nel caso in cui la pasta sia "pulita" (solitamente quando la produzione è stabile). Per la produzione di tortellini possono

essere impiegate fino ad un massimo di quattro tortellinatrici per linea. Durante la produzione di ravioli invece la raviolatrice “accoglie” due sfoglie di pasta fresca: sulla prima sfoglia, quella inferiore, una o due pompe per l’alimentazione del ripieno, esterne alla formatrice, farciscono la pasta, poi la seconda sfoglia viene distesa sulla prima e successivamente uno stampo ruotante salda le due sfoglie e contemporaneamente le taglia. In questo caso il taglia-scarti della formatrice ha anche suo nastro che, analogamente alla produzione dei tortellini, può trasportare gli avanzi di pasta verso una cesta per gli scarti oppure verso il ciclone degli sfridi che li aspira e li “ributta” nell’impastatrice. Per la produzione di ravioli possono essere impiegate un massimo di due raviolatrici per linea (in linea 14 soltanto una) e, per ogni tipo di formato, può essere montato un differente stampo sulla macchina. Per concludere, una volta formati i tortellini e i ravioli, tramite un nastro trasportatore questi passano attraverso un pastorizzatore a vapore impostato a circa 98-99 °C. Il pastorizzatore, oltre a precuocere la pasta ripiena, ha l’importante compito di distruggere i microrganismi batterici, permettendo così alla pasta ripiena di essere conservata a lungo senza che si venga a creare della muffa. Ogni volta che si finisce una produzione con un determinato ripieno, le formatrici e le pompe per l’alimentazione del ripieno vengono portate in sala lavaggi per essere pulite prima di essere riutilizzate.

### **3.3.3. Camera bianca**

In uscita dal pastorizzatore i tortellini e i ravioli entrano in camera bianca, dove vengono confezionati. La camera bianca è un ambiente detto “a contaminazione controllata”, nel quale avviene un filtraggio attivo dell’aria, adibito per delle lavorazioni che richiedono la massima sterilità. Per entrare all’interno di una camera bianca gli operatori devono indossare una tuta per lavorare completamente protetti ed evitare di importare o esportare contaminanti. Ovviamente, quando esce dal pastorizzatore, la pasta ripiena è sterilizzata: l’importante compito della camera bianca è quello di mantenerla così fino al momento in cui non viene impacchettata nelle confezioni. I principali macchinari di questo reparto sono: i nastri *chiller and dryer* (in italiano “nastri refrigeratori e asciugatori”), la bilancia multi-teste, la

confezionatrice, il marcatore o la disimpilatrice, il miscelatore del gas, il *metal detector* e la bilancia ponderale. I nastri *chiller and dryer* hanno il compito di portare la pasta ripiena, uscente dal pastorizzatore, prima in un locale caldo dove vengono asciugati con dei ventilatori e successivamente in un locale refrigerato per raffreddarli sempre con dei ventilatori. Questi nastri hanno anche la possibilità di fungere da polmoni di accumulo (*buffer*) tra la formatura e la camera bianca. Dopo i nastri *chiller and dryer* i tortellini e i ravioli raggiungono, tramite dei nastri trasportatori, la bilancia multi-teste. Questa è una macchina composta da più teste (in questo caso 16) che sono collegate a un computer a controllo integrato e che svolgono la funzione di singole unità di pesatura. Ogni testa riceve una parte del peso target, fa una lettura della quantità di prodotto ricevuta e il computer, simultaneamente, cerca di trovare la combinazione di teste che più si avvicinano a raggiungere il peso target impostato. Una volta trovate le combinazioni di pasta ripiena, queste arrivano al rifasatore della confezionatrice, che ha il compito di direzionare le pesate nelle rispettive confezioni. Esistono due differenti tipologie formatrici: la Colimatic, per le vaschette termoformate, e la Flopack, per le vaschette in cartone. Con la Colimatic si utilizzano due bobine di film: con il film inferiore vengono termoformati i fondi delle vaschette, poi, una volta che questi vengono riempiti, il film superiore viene termosaldato per chiudere la confezione. Le vaschette vengono infine separate l'una dall'altra con delle fustelle e delle lame rotanti, le quali rispettivamente tagliano trasversalmente e longitudinalmente i pacchetti. Prima della Colimatic è sempre presente un marcatore, che solitamente stampa sulla bobina superiore il numero del lotto e la data di scadenza (ma dipende dalla richiesta del cliente), prima che questa venga termosaldata. Con la Flopack invece viene utilizzata una sola bobina di film: la disimpilatrice disimpila e posiziona le vaschette di cartone sul nastro della confezionatrice, poi queste, una volta riempite, vengono avvolte dal film. Infine delle ruote termosaldanti saldano il film longitudinalmente e un coltello taglia-cuci invece lo saldano e lo tagliano trasversalmente. Nelle linee 11, 12 e 13 è presente solo la Colimatic, nella linea 14 solo la Flopack e nella linea 17 sono invece presenti entrambe le confezionatrici. Per tutte e due le tipologie di confezionatrici, prima che la vaschetta venga sigillata, un miscelatore del gas inietta una miscela di anidride carbonica e azoto. Infatti una volta sigillata, nella confezione non deve esserci ossigeno perché il prodotto ossiderebbe o

potrebbe crearsi della muffa all'interno. Una volta che i ravioli e i torellini sono stati confezionati, i pacchetti vengono portati attraverso dei nastri trasportatori al *metal detector*, che ha il compito di verificare che non vi sia la presenza di metalli nelle confezioni, e poi alla bilancia ponderale, che pesa e verifica che le confezioni siano del formato impostato.

### **3.3.4. *Cartonamento***

Il cartonamento è il reparto di fine linea di produzione: qua arrivano, in uscita dalla camera bianca, le confezioni di pasta ripiena per essere inscatolate e imballate sui pallet, che successivamente vengono prelevati dai magazzinieri e riposti in un magazzino a temperatura controllata. I macchinari principali di questo reparto sono: l'etichettatrice, lo stampa-applica e il cartonatore. Di norma le confezioni di pasta ripiena, una volta uscite dalla camera bianca, passano da un'etichettatrice che applica un'etichetta su ogni pacchetto (solitamente contenente le informazioni di cottura e gli ingredienti del prodotto), poi questi arrivano su un piatto rotante e vengono controllati e messi nei cartoni dagli operatori. Successivamente i cartoni passano da uno stampa-applica che li etichetta, per identificare e quantificare i prodotti che ci sono dentro, e infine vengono messi sui pallet e cellofanati dagli operatori. Infine i pallet vengono etichettati e i magazzinieri vengono a prelevarli per registrarli a sistema e portarli in magazzino. Nel caso invece vada messa una fascetta o un cluster di cartone attorno alla confezione, le vaschette in uscita dalla camera bianca vanno direttamente nel piatto ruotante, senza passare dall'etichettatrice, e gli operatori le fascettano a mano prima di metterle nei cartoni. Per le produzioni più lunghe in reparto è presente anche un cartonatore automatico (che può essere utilizzato per tutte le linee): una volta controllate le confezioni, queste attraverso un nastro trasportatore vengono portate al cartonatore che le inscatola automaticamente nei cartoni.

### **3.3.5. *Sala lavaggi e magazzino***

Questi due reparti, come la cucina, non vengono considerati per il calcolo dell'*OEE* delle linee di produzione. La sala lavaggi si occupa di pulire le macchine

formatrici e le pompe per l'alimentazione del ripieno utilizzate in formatura. Il magazzino invece è il reparto dove vengono stoccati i prodotti finiti piuttosto che le materie prime o i materiali richiesti per il confezionamento in camera bianca e in cartonamento.

### **3.4. Il progetto formativo**

L'obiettivo del progetto formativo è quello di passare da un sistema di rilevamento dell'*OEE* manuale ad uno semi-automatico grazie al passaggio ad Industria 4.0. È possibile dividere il progetto nei seguenti *steps*:

- Analisi del sistema attuale. Questo step è possibile dividerlo in ulteriori due fasi: l'analisi del sistema di raccolta dati e l'analisi del sistema di elaborazione dati;
  
- Definizione delle tipologie di fermi ricorrenti;
  
- Implementazione ed analisi del sistema semi-automatico;
  
- Valutazione della precisione dei dati raccolti in automatico e manutenzione dei dati stessi per renderli coerenti con i dati raccolti sui cartacei.

### **3.5. Analisi del sistema attuale di raccolta dati**

La fase iniziale di tutto il progetto è stata l'analisi del sistema attuale di raccolta dati, cioè un sistema manuale. Per raccogliere i dati di produzione, per ogni linea e per ogni turno, gli operatori devono quindi riportare manualmente i dati di produzione, i dati per la rintracciabilità e i dati per i controlli qualitativi su più moduli cartacei.

### 3.5.1. Modulo tira righe

Il modulo tira righe, rappresentato in Figura 3.2, è il modulo cartaceo per la raccolta dei dati di produzione riguardanti la disponibilità degli impianti e la velocità di produzione.

STABILIMENTO		LINEA		CAPO MACCHINA A:		CAPO MACCHINA B:		CAPO MACCHINA C:		DATA:	
AVIO <input checked="" type="checkbox"/> ARCUGNANO <input type="checkbox"/>		17		M. L.		M. L.				04-07-2017	
ORA	PRODOTTO	Codice Prodotto (S2) e % uovo	KG/h	Outlet, Manichia, Stampo, peso	Firma	ORA	PRODOTTO	Codice Prodotto (S2) e % uovo	KG/h	Outlet, Manichia, Stampo, peso	Firma
1 05:00						1 18:00					
2 05:10						2 18:10					
3 05:20		S00467 358	TC16			3 18:20		S00467 358	TC16		
4 05:30		U27				4 18:30					
5 05:40		(016)				5 18:40					
6 05:50						6 18:50					
7 06:00						7 19:00					
8 06:10						8 19:10					
9 06:20						9 19:20					
10 06:30						10 19:30					
11 06:40						11 19:40					
12 06:50						12 19:50					
13 07:00						13 20:00					
14 07:10						14 20:10					
15 07:20						15 20:20					
16 07:30						16 20:30					
17 07:40						17 20:40					
18 07:50						18 20:50					
19 08:00						19 21:00					
20 08:10						20 21:10					
21 08:20						21 21:20					
22 08:30						22 21:30					
23 08:40						23 21:40					
24 08:50						24 21:50					
25 09:00						25 22:00					
26 09:10						26 22:10					
27 09:20						27 22:20					
28 09:30						28 22:30					
29 09:40						29 22:40					
30 09:50						30 22:50					
31 10:00						31 23:00					
32 10:10						32 23:10					
33 10:20						33 23:20					
34 10:30						34 23:30					
35 10:40						35 23:40					
36 10:50						36 23:50					
37 11:00						37 24:00					
38 11:10						38 24:10					
39 11:20						39 24:20					
40 11:30						40 24:30					
41 11:40						41 24:40					
42 11:50						42 24:50					
43 12:00						43 25:00					
44 12:10						44 25:10					
45 12:20						45 25:20					
46 12:30						46 25:30					
47 12:40						47 25:40					
48 12:50						48 25:50					

Figura 3.2 Modulo tira-riga della formatura.

La raccolta di questi dati di produzione viene affidata agli operatori della formatura poiché, essendo a monte di tutta la produzione, ne detta il ritmo, restando comunque influenzata da ciò che accade a valle. Adesso si vedrà com'è strutturato e come viene compilato questo modulo. L'operatore del primo turno lavorativo in alto indica lo stabilimento, la linea di produzione e la data di produzione, poi, per ogni turno di lavoro, il responsabile della macchina firma il modulo, sempre in alto, e compila la colonna del proprio turno. Il modulo infatti è diviso in tre colonne principali (una per ogni turno lavorativo), ciascuna formata da 48 righe, le quali rappresentano un intervallo temporale di 10 minuti per un totale di 480 minuti complessivi, ovvero le 8 ore di un turno lavorativo. Il modulo tira-righe è pensato affinché l'operatore indichi,



riga per riga in “tempo reale” (ciò ovviamente non è possibile poiché ogni riga rappresenta un intervallo di 10 minuti), lo stato della macchina tirando appunto una riga su una delle tre colonne “Produzione”, “Set-up” e “Fermo”. Nel caso venga segnato lo stato di fermo l’operatore deve indicare la causa/e del fermo, scrivendo il rispettivo codice della fermata di produzione e lasciando una nota al riguardo nella colonna “Cod. fermo”. Se il fermo produzione non è dettato dal reparto di formatura, l’operatore deve mettersi in comunicazione col reparto responsabile di tale fermata e segnalare comunque la causa di essa. Nella colonna “Codice Prodotto (S2) e % uovo” viene indicato, ad ogni cambio di produzione, il codice S20\*\*\* che identifica l’articolo in formatura (il codice del prodotto finale confezionato è differente: non dipende soltanto dal prodotto, ma anche dal cliente per cui è stato confezionato) e la percentuale di uovo utilizzato per la pasta. Proseguendo la colonna “KG/h” serve ad indicare i chili prodotti all’ora dalla macchina, ovvero la velocità di produzione. Ovviamente, per poter tenere traccia di possibili rallentamenti, questa colonna deve essere aggiornata ogni volta che vi è una variazione dei kg/ora di produzione. Nella colonna “Codice: Macchine, Stampo, pompa” l’operatore indica la formatrice/i utilizzata e, nel caso delle raviolatrici, anche lo stampo e la pompa/e utilizzata. Anche in questo caso, se in linea durante una produzione una macchina o uno stampo oppure una pompa dovessero essere sostituiti, tale colonna dovrebbe venire aggiornata. Per concludere, la colonna “Firma” serve per l’identificazione dell’operatore che sta compilato il modulo. È da specificare che le colonne “Codice Prodotto (S2) e % uovo”, “KG/h”, “Codice: Macchine, Stampo, pompa” e “Firma” devono venire aggiornate, oltre che ad ogni variazione, anche ad ogni inizio di un turno lavorativo. Attualmente per la produzione di ravioli viene compilato un modulo tira-righe per ogni raviolatrice adoperata in linea (massimo due), mentre per la produzione di tortellini viene compilato un singolo modulo per tutte le tortellinatrici utilizzate in linea.

### 3.5.2. Moduli degli scarti

Nelle Figure 3.3, 3.4 e 3.5 è possibile vedere come sono strutturati e come vengono compilati i moduli degli scarti rispettivamente della formatura, della camera bianca e della cucina.

<b>LINEA</b>		<b>14</b>		SCARTI FORMATURA	
DATA 04 01 2027					
MATTINA KG/SCARTO		POME. KG/SCARTO		NOTTE KG/SCARTO	
OPERATORE <i>L. ...</i>		OPERATORE <i>R. ...</i>		OPERATORE <i>O. ...</i>	
RIPIENA + PARTENZE	SFOGLIATRICE/ IMPASTATRICE	PASTA RIPIENA + PARTENZE	SFOGLIATRICE/ IMPASTATRICE	PASTA RIPIENA + PARTENZE	SFOGLIATRICE/ IMPASTATRICE
117 kg		* 15 kg	94 kg	25 kg	
38 kg		73 kg	16 kg *		
NOTE:		NOTE:	* BUTTATA VIA LA PASTA A FERRAGIO PROVERBI CAMERA BIANCA	NOTE:	
			* 16 kg LAVAGGIO		
GLI SCARTI VANNO BUTTATI NELLA CASSETTA E VA PESATA LA CASSETTA TOGLIENDO LA TARA					

Figura 3.3 Modulo degli scarti della formatura.

Oltre al tira-righe, in formatura, gli operatori indicano, per ogni turno di lavoro e per ogni linea di produzione, i chili di scarto ogni qual volta ve ne siano. Anche questo modulo è diviso in tre colonne, una per ogni turno di lavoro. L'operatore responsabile

firma il modulo e inserisce i dati nella colonna del rispettivo turno. In formatura gli scarti di produzione vengono divisi in “RIPIENA + PARTENZE”, ovvero pasta ripiena già formata o pasta “sporca” di ripieno che viene scartata durante l’avviamento o al riavvio di una produzione, e in “SFOGLIATRICE/IMPASTATRICE”, ovvero pasta “pulita” prima ancora di entrare in contatto con il ripieno. Sul modulo è presente anche il campo “NOTE”, qualora l’operatore volesse scrivere qualche informazione riguardo agli scarti.

DATA 4.01.2021				
LINEA 12				
	MATTINA	POME.	NOTTE	
CODICE S2***	KG/SCARTO	KG/SCARTO	KG/SCARTO	NOTE
441	1,5			
432	47	17		

**LEGENDA**

S2\*\*\* = BE.AA141

GLI SCARTI VANNO PESATI AD  
OGNI CAMBIO PRODOTTO E  
ALLA FINE DEL TURNO

---

GLI SCARTI VANNO BUTTATI  
NELLA CASSETTA E VA PESATA  
LA CASSETTA TOGLIENDO LA  
TARA

Figura 3.4 Modulo degli scarti della camera bianca.

In camera bianca il modulo degli scarti è sempre diviso in tre colonne, una per ogni turno di lavoro. In questo caso va indicato il codice dell’articolo scartato nella colonna “CODICE S2\*\*\*\*” e non vi sono differenziazioni tra tipi di scarto, ma è presente una sola colonna “KG/SCARTO” in cui viene segnato il peso dello scarto. Anche su questo modulo è presente il campo “NOTE”.

**CUCINA RIPIENI**

DATA 15/01/2021

MATTINA KG/SCARTO		POME. KG/SCARTO		NOTTE KG/SCARTO	
OPERATORE		OPERATORE		OPERATORE	
CODICE + LOTTO	KG SCARTATI	CODICE + LOTTO	KG SCARTATI	CODICE + LOTTO	KG SCARTATI
				50T19575 140121	13 kg
				50T20549 140121	19 kg
NOTE:		NOTE:		NOTE:	

Figura 3.5 Modulo degli scarti della cucina.

Qualora vi fossero degli scarti anche in cucina, questi vanno riportati sul rispettivo modulo che, come per gli altri reparti, viene diviso in tre colonne principali per differenziare i tre turni lavorativi. Nella colonna “CODICE+LOTTO” vengono indicati il codice e il lotto della materia prima o del semilavorato scartato, mentre nella colonna “KG SCARTATI”, vengono ovviamente segnati i chili di scarto. Anche su questo modulo è presente il campo “NOTE”.

È da specificare che i dati degli scarti raccolti sui moduli cartacei non vengono utilizzati per il calcolo dell'*OEE*. Infatti per il calcolo dell'*OEE* vengono utilizzati quelli registrati sul gestionale *ERP* dai magazzinieri: quando in linea di produzione i cassoni degli scarti sono pieni, i magazzinieri vengono a prelevarli, li pesano e li registrano a sistema. Gli scarti registrati a sistema possono essere: di formatura, di camera bianca, di cucina e di materie prime (che possono essere scartate sia in cucina che in magazzino). Quindi i dati raccolti manualmente servono esclusivamente per avere un confronto e valutare l'accuratezza dei dati registrati a sistema.

### ***3.5.3. Moduli per la rintracciabilità e per il controllo qualità***

Lungo la linea di produzione vengono compilati altri moduli di raccolta dati, irrilevanti per il calcolo dell'*OEE*. Questi sono: il modulo dei controlli di formatura, il modulo dei controlli del pastorizzatore, il modulo dei controlli della tenuta di saldatura e dell'ossigeno (per la Colimatic), il modulo dei controlli dell'ossigeno (per la Flopack), il modulo per il reclamo di bobine difettose e il modulo del piano fascettatura (per registrare i controcampioni e i bancali fatti di ogni produzione). Tutti questi moduli per la rintracciabilità e per il controllo qualità verranno anch'essi digitalizzati con il passaggio ad Industria 4.0.

## **3.6. Analisi del sistema attuale di elaborazione dati**

I moduli cartacei di raccolta dati vengono prelevati giornalmente dal personale del controllo qualità e portati negli uffici per essere analizzati. Ovviamente, così facendo, i dati vengono elaborati il giorno dopo essere stati raccolti. Possiamo distinguere il processo di elaborazione dati in due fasi: l'inserimento dei dati e l'analisi dei dati.

### 3.6.1. Inserimento dati

I dati, il giorno dopo essere stati raccolti, vengono digitalizzati manualmente in dei fogli di calcolo Excel (annuali), per poi essere analizzati. Il file per l'elaborazione dei dati di produzione è chiamato "AVIO – OEE produzione 2021.xlsx". Questo file è composto da tante tab, quella dedicata all'inserimento dei dati è chiamata "DATABASE PROD" e ora, con l'aiuto delle Figure 3.6, 3.7 e 3.8, si vedrà come viene compilata colonna per colonna. È da precisare che le colonne di cui non viene specificato nulla sono già compilate con valori standard o vengono auto-compilate attraverso delle formule.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	W	X	Y	Z
	Chiave	Linea	Codice	KG-h	# macchine	MACCHINA	Prodotto	Data prod.	TURNO	TEMPO OPERATIVO [min]	SET-UP / REGOLAZIO NI [min]	NUMERO SET UP	FERMO [min]
1													
83	11S20526	11	S20526	680	4	1/3/5/6	T	06/01/21	1	210	30	1	40
84	11S20526	11	S20526	680	4	1/3/5/6	T	06/01/21	1				20
85	11S20526	11	S20526	680	4	1/3/5/6	T	06/01/21	2	360			10
86	11S20526	11	S20526	710	4	1/3/5/6	T	06/01/21	2	110			
87	11S20526	11	S20526	700	4	1/3/5/6	T	06/01/21	3	160			
88	11S20629M	11	S20629M	460	2	1/3	T	06/01/21	3	190	30	1	
89	11S20629	11	S20629	690	3	1/3/5	T	06/01/21	3	100			
90	12S20573	12	S20573	700	2	T12/T13	R	06/01/21	1	370			
91	12S20620	12	S20620	620	2	T12/T13	R	06/01/21	1	30	70	1	10
92	12S20620	12	S20620	620	2	T12/T13	R	06/01/21	2	420			
93	12S20528M	12	S20528M	460	2	T12/T13	R	06/01/21	2		60		
94	12S20528M	12	S20528M	460	2	T12/T13	R	06/01/21	3	140	20	1	
95	12S20767M	12	S20767M	480	2	2/4	T	06/01/21	3	240	80	1	

Figura 3.6 Foglio Excel per l'inserimento dei dati raccolti sui cartacei (parte 1).

I dati di produzione vengono inseriti giornalmente in ordine crescente di linea di produzione:

- Nella colonna B "Linea" viene inserito il numero della linea di produzione;
- Nella colonna C "Codice" viene inserito il codice di formatura del prodotto realizzato. Qualora la produzione prevedeva la fascettatura a mano in cartonamento viene inserita una M dopo il numero, se invece prevedeva il confezionamento nel fondo flex (una particolare tipologia di film) viene inserita

la lettera W. Questo perché le velocità di produzione cambiano e vanno differenziate;

- Nella colonna D “KG-h” viene inserita la somma delle velocità di produzione delle formatrici utilizzate;
- Nella colonna E “#macchine” viene inserito il numero di formatrici utilizzate;
- Nella colonna F “MACCHINA” vengono inseriti i numeri identificativi delle formatrici utilizzate. Le tortellinatrici vengono indicate soltanto col numero macchina, mentre le raviolatrici col numero macchina preceduto dalla lettera T;
- Nella colonna G “Prodotto” viene inserita la tipologia di prodotto di tale produzione. Le alternative sono:
  - “T” per i tortellini,
  - “R” per i ravioli,
  - “RA” per i ravioli con allergeni,
  - “PROVA” per le prove;
- Nella colonna H “Data prod.” viene inserita la data di produzione;
- Nella colonna I “TURNO” viene inserito il turno lavorativo;
- Nelle colonne W “TEMPO OPERATIVO [min]”, X “SET-UP / REGOLAZIONI [min]” e Z “FERMO [min]” vengono inseriti rispettivamente i minuti di quando lo stato delle macchine era in produzione, set-up e fermo durante tale produzione. Qualora ci fossero stati più fermi durante tale produzione occorre riscrivere una riga uguale in modo da distinguere i fermi (come ad esempio è stato fatto nelle righe 83 e 84). Nel caso qualche parametro di produzione cambiasse, come la velocità di produzione, occorre compilare una nuova riga (come ad esempio è stato fatto nelle righe 88 e 89);
- Nella riga Y “NUMERO SETUP” viene inserito il valore “1” qualora il *set-up* sia finito in tale turno di lavoro, altrimenti viene lasciato vuoto nel caso sia solo iniziato o proprio non è stato segnato nessun *set-up* in tale riga (come ad esempio è stato fatto nelle righe 93 e 94). Questo viene fatto perché altrimenti un *set-up* iniziato in un turno e finito in quello successivo, anziché risultare un *set-up* unico, risulterebbe diviso in due *set-up* più brevi.

Tutte queste informazioni vengono raccolte dai moduli tira-righe. Qualora la produzione prevedesse l'utilizzo di più formatrici, i dati vengono inseriti facendone

una media. Se ad esempio vengono utilizzate due formatrici e una si ferma 30 minuti e l'altra 50 minuti, viene segnato un fermo linea di 40 minuti. Oppure se soltanto una formatrice si ferma 20 minuti mentre l'altra continua a produrre viene registrato un fermo da 10 minuti, a meno che la formatrice ancora in produzione riesca ad aumentare la velocità di produzione, compensando del tutto o in parte la fermata dell'altra: in tal caso viene fatta una proporzione.

	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
	ATTREZZATURE USATE1	ATTREZZATURE USATE2	SCARTI CAMERA BIANCA KG	NOTE SCARTI CB	SCARTI FORM. RIPIENA KG	SCARTI FORM. PASTA KG	NOTE SCARTI FORMATURA	h turno	TEMPO [Min/ gg]	Week	Mese	Anno
83			2,50					8	480	1	1	2021
84								8	480	1	1	2021
85			8,80		31,00			8	480	1	1	2021
86								8	480	1	1	2021
87			3,20		95,00	69,00	/31 LAV	8	480	1	1	2021
88			11,00	/11 FORMATURA APERTI				8	480	1	1	2021
89								8	480	1	1	2021
90	M10043,M10242,M10398	M10055,M10244,M10380	7,20		41,00	90,00	//22 LAV	8	480	1	1	2021
91	M10043,M10242,M10398	M10055,M10244,M10380						8	480	1	1	2021
92	M10043,M10242,M10398	M10055,M10244,M10380	4,50		22,00	6,00	//22 LAV	8	480	1	1	2021
93	M10043,M10398	M10055,M10244						8	480	1	1	2021
94	M10043,M10398	M10055,M10244	5,80		105,00	66,00	/20 LAV	8	480	1	1	2021
95			5,20	/5,2 FORMATURA APERTI				8	480	1	1	2021

Figura 3.7 Foglio Excel per l'inserimento dei dati raccolti sui cartacei (parte 2).

Andando avanti:

- Nella colonna J “ATTREZZATURE USATE 1”, nel caso la produzione sia di ravioli, vengono inseriti i codici dello stampo e della pompa/e della prima formatrice;
- Nella colonna K “ATTREZZATURE USATE 2”, nel caso la produzione sia sempre di ravioli, vengono inseriti i codici dello stampo e della pompa/e della seconda formatrice (se adoperata);
- Nella colonna L “SCARTI CAMERA BIANCA KG” vengono inseriti i chili di scarto che ci sono stati in camera bianca per tale produzione e tale turno lavorativo;
- Nella colonna M “NOTE SCARTI CB” vengono inserite le note riguardanti gli scarti della camera bianca;



- Nella colonna N “SCARTI FORM. RIPIENA KG” vengono inseriti i chili di scarto di pasta ripiena che ci sono stati in formatura per tale turno lavorativo;
- Nella colonna O “SCARTI FORM. PASTA KG” vengono inseriti i chili di scarto di pasta che ci sono stati in formatura per tale turno lavorativo;
- Nella colonna P “NOTE SCARTI FORMATURA” vengono inserite le note riguardanti gli scarti della formatura.
- Qualora in una linea la produzione durasse meno dei 480 minuti previsti (ad esempio capita spesso a fine settimana), nella colonna R “TEMPO [Min/gg]” viene cambiato il valore preimpostato di 480 minuti con quello reale.

Le informazioni riguardanti le attrezzature utilizzate e la durata della produzione vengono raccolte sui moduli tira-righe, mentre le informazioni riguardanti gli scarti vengono raccolte sui moduli degli scarti della formatura e della camera bianca.

	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
1	FERMO [min]	Codice fermo	NOTE	GRUPPI NOTE	MANUT- PROD	PROVE E SETUP DA NON SCHEDULARE	DESCRIZIONE CAUSALE
83	40	F8	REGOLAZIONE STAMPO TORT. 3		M	1	Tortellinatrice
84	20	F8	ASTINA TORT. 5 ROTTA		M	1	Tortellinatrice
85	10	F8	REGOLAZIONE STAMPO TORT. 3		M	1	Tortellinatrice
86						1	
87						1	
88						1	
89						1	
90						1	
91	10	F5	CONTRASTO POSTERIORE TECNO 12 BLOCCATO		P	1	Raviolatrice
92						1	
93						1	
94						1	
95						1	

Figura 3.8 Foglio Excel per l’inserimento dei dati raccolti sui cartacei (parte 3).

Concludendo:

- Qualora nella colonna Z venga indicato un fermo di produzione, nella colonna AA “Codice fermo” viene inserito il codice di tale fermo (che verranno discussi successivamente);

- Nella colonna AB “NOTE”, sempre qualora venga indicato un fermo di produzione, viene inserita la nota lasciata dagli operatori riguardante tale fermo;
- Nella colonna AD “MANUT-PROD”, sempre nel caso venga segnato un fermo, viene indicato la tipologia di tale fermo. Le soluzioni possibili sono:
  - “P” di produttivo, per indicare un fermo dettato dalla produzione e non per malfunzionamenti delle macchine;
  - “M” di manutentivo, per indicare un fermo dettato da un malfunzionamento o un guasto di una macchina o di un componente, che solitamente richiede l’intervento del personale di manutenzione;
  - “IP” di intervento programmato, per indicare un fermo di produzione dettato da un intervento di manutenzione programmata;
  - “AU” di ausiliari, per indicare un fermo di produzione dettato dagli impianti ausiliari;
  - “AUX”, sempre per indicare un fermo di produzione dettato dagli impianti ausiliari ma, che a differenza degli altri, non incidono sulla manutenzione;
  - “AV” di avviamento, per indicare un fermo di una nuova linea di produzione ancora in fase di collaudo;
- La colonna AE “PROVE E SETUP DA NON SCHEDULARE” è precompilata col valore “1”, che va ad indicare che tale riga va schedulata. Se una o più righe non devono essere schedulate per il calcolo dell’*OEE*, come ad esempio per le prove che non incido sulle altre produzioni, viene sostituito il valore “1” con il valore “0”.

Su questo file Excel, in altre tab, vengono inseriti anche gli scarti segnati sul modulo degli scarti della cucina e i controcampioni segnati sul modulo del piano fascettatura. Tuttavia, come è già stato detto, per il calcolo dell’*OEE* vengono utilizzati gli scarti registrati sul gestionale *ERP*: sui cartacei vengono registrati soltanto per poter fare un confronto. Per tale motivo risulta superfluo trattare l’inserimento di tali dati.

### 3.6.2. Analisi dati

Questa fase dell'elaborazione dati può essere suddivisa a sua volta in altre due fasi: il calcolo dell'OEE e la visualizzazione dei report.

#### 3.6.2.1. Calcolo dell'OEE

Sempre nella tab "DATABASE PROD", sono presenti delle colonne, rappresentate in Figura 3.9, che tramite delle formule preimpostate elaborano automaticamente i dati al fine di calcolare il valore dell'OEE per ogni riga di dati inserita.

	V	AH	AI	AJ	AL	AM	AO	AP	AQ	AR	AS
	Produzione [KG]	TEMPO NON OPERATIVO	TEMPO ESERCIZIO [min]	INDICE DI DISPONIBILITA'	Velocità STD [kg/h]	T STD PERFORMANCE [min]	INDICE DI PRESTAZIONE	TEMPO START	TEMPO A VALORE [min]	INDICE DI QUALITA'	EFFICIENZA (OEE)
1											
83	2380,0	70	280	75%	680	210	100%	10	200	95%	71%
84	0,0	20	20	0%	680	0		0	0		
85	4080,0	10	370	97%	680	360	100%	14	346	96%	94%
86	1301,7	0	110	100%	680	115	104%	4	111	96%	101%
87	1866,7	0	160	100%	680	165	103%	6	159	96%	99%
88	1456,7	30	220	86%	460	190	100%	8	182	96%	83%
89	1150,0	0	100	100%	680	101	101%	4	98	96%	98%
90	4316,7	0	370	100%	700	370	100%	14	356	96%	96%
91	310,0	80	110	27%	640	29	97%	4	25	86%	23%
92	4340,0	0	420	100%	640	407	97%	16	391	96%	93%
93	0,0	60	60	0%	460	0		0	0		
94	1073,3	20	160	88%	460	140	100%	6	134	96%	84%
95	1920,0	80	320	75%	460	250	104%	12	239	95%	75%

Figura 3.9 Foglio Excel per il calcolo dell'OEE.

Nello specifico:

- Nella colonna V "Produzione [KG]" viene calcolata la quantità in chili di prodotto realizzato con la seguente formula:

$$Pr du \quad [KG] = \frac{MPO \quad PE \quad IV \quad [mi \quad ]}{60} \cdot KG/h \quad (3.1)$$

- Nella colonna AH “TEMPO NON OPERATIVO” viene calcolato il tempo in minuti in cui la linea non è in produzione con la seguente formula:

$$\begin{aligned}
 MPO\ NON\ PE\ IV & & (3.2) \\
 = SE - UP / & GOLAZIONI [mi ] \\
 + FE\ MO & [mi ]
 \end{aligned}$$

- Nella colonna AI “TEMPO ESERCIZIO [min]” viene calcolato il tempo in minuti in cui è programmata la produzione in linea con la seguente formula:

$$\begin{aligned}
 MPO\ SE\ IZIO [mi ] & & (3.3) \\
 = MPO\ NON\ PE\ IV & \\
 + MPO\ PE\ IV & [mi ]
 \end{aligned}$$

- Nella colonna AJ “INDICE DI DISPONIBILITÀ” viene calcolato il primo fattore che compone l’*OEE* in valore percentuale (se tale riga viene schedulata) tramite la seguente formula:

$$INDIC\ DI\ DISPONIBILITÀ = \frac{MPO\ PE\ IV [mi ]}{MPO\ SE\ IZIO [mi ]} \quad (3.4)$$

- Nella colonna AL “Velocità STD [kg/h]” viene indicata la velocità standard in chili/ora di tale produzione in tale linea per il numero di macchine utilizzate. Questo valore viene “pescato” da una tab dello stesso file, chiamata “STDPERFORMANCE” e rappresentata in Figura 3.10, che viene aggiornata manualmente qualora si notasse una variazione delle velocità. Le produzioni che prevedono la fascettatura a mano sono contrassegnate da una M e hanno una velocità standard da 460 chili/ora.

1	A	B	C	D	E	F
2	CHIAVE CODICE	DESCRIZIONE CODICE ARTICOLO	STANDARD PERFORMANCES [kg/h]			
3	ARTICOLO		1M	2M	3M	4M
3	11S20231	CAPPELLETTI AL PROSCIUTTO DELHAIZE	180	360	560	680
4	11S20231M	CAPPELLETTI AL PROSCIUTTO DELHAIZE FASCETTE/ETICHETTE A MANO		460	460	
5	11S20241	TORTELLONE RICOTTA SPINACI DELHAIZE	240	460	700	700
6	11S20241M	TORTELLONE RICOTTA SPINACI DELHAIZE FASCETTE/ETICHETTE A MANO		460	460	
7	11S20451	TORTELLONI BRASATO PROSCIUTTO CRUDO	240	460	720	720
8	11S20451M	TORTELLONI BRASATO PROSCIUTTO CRUDO FASCETTE/ETICHETTE A MANO	240	460	460	
9	11S20526	BIG TORTELLONE AL BASILICO	240	460	600	680
10	11S20549	TORTELLONI SPECK & SCAMORZA	230	490	630	680
11	11S20586M	BIG TORTELLONE 4 FORMAGGI FASCETTE/ETICHETTE A MANO	350	460	460	
12	11S20626	TORTELLONI AI FORMAGGI	240	490	630	680
13	11S20626W	TORTELLONI AI FORMAGGI WEGMANS	240	490	620	620
14	11S20629	BIG TORTELLONE POMODORO MOZZARELLA	300	500	680	680
15	11S20629M	BIG TORTELLONE POMODORO MOZZARELLA FASCETTE/ETICHETTE A MANO	230	460	460	460
16	11S20653	BIG TORTELLONE POMODORO MOZZARELLA	300	500	600	680
17	11S20653M	BIG TORTELLONE POMODORO MOZZARELLA FASCETTE/ETICHETTE A MANO	300	500	510	
18	11S20655	TORTELLONI RICOTTA SPINACI	230	460	630	
19	11S20658	TORTELLONI AI 3 FORMAGGI	230	460	720	720
20	11S20659	TORTELLONI AI 5 FORMAGGI	230	460	720	720
21	11S20661	TORTELLONI POMO MOZZARELLA MS CORE	230	460	720	720

Figura 3.10 Foglio Excel dello storico delle velocità standard di produzione.

- Nella colonna AM “T STD PERFORMANCE [min]” viene calcolato il tempo in minuti che la linea avrebbe impiegato a produrre la quantità prodotta, se la velocità di produzione fosse stata quella standard, tramite la seguente formula:

$$ST\ PE\ FO\ MANCE [mi] = \frac{\text{Produzione [KG]}}{\text{Velocità STD [kg/h]}} \cdot 60 \quad (3.5)$$

- Nella colonna AO “INDICE DI PRESTAZIONE” viene calcolato il secondo fattore che compone l’OEE in valore percentuale (se tale riga viene schedulata) tramite la seguente formula:

$$\text{INDICE DI PRESTAZIONE} = \frac{ST\ PE\ FO\ MANCE [mi]}{MPO\ PE\ IV [mi]} \quad (3.6)$$

- Nella colonna AP “TEMPO SCARTO” viene calcolato il tempo in minuti in cui durante tale produzione vengono prodotti scarti, anziché prodotti conformi, tramite la seguente formula:

$$\text{TEMPO SCARTO} = 0.003 \cdot \text{TEMPO ESERCIZIO [min]} \quad (3.7)$$

Il valore 0.03 è un valore standard già preimpostato che indica il 3% degli scarti. A fine settimana viene calcolata la percentuale reale degli scarti che ci sono stati in tutta la settimana e questa viene sostituita al valore preimpostato. La percentuale degli scarti viene calcolata estrapolando dal gestionale i chili di scarto e dividendoli per i chili di prodotto conforme realizzati (che vengono venduti).

- Nella colonna AQ “TEMPO A VALORE [min]” viene calcolato il tempo in minuti in cui durante tale produzione i prodotti sono conformi, al netto delle perdite di prestazione, tramite la seguente formula:

$$\begin{aligned}
 MPO &= LOR [mi] \\
 &= ST PE FO MANCE [mi] \\
 &\quad - TEMPO SCARTO
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

- Nella colonna AR “INDICE DI QUALITÀ” viene calcolato il terzo fattore che compone l’*OEE* in valore percentuale (se tale riga viene schedulata) tramite la seguente formula:

$$\text{INDICE DI QUALITÀ} = \frac{\text{TEMPO A VALORE [min]}}{\text{T STD PERFORMANCE [min]}}
 \tag{3.9}$$

- Infine nella colonna AS “EFFICIENZA (OEE)” viene calcolato il valore in percentuale dell’*OEE* tramite la seguente formula:

$$\begin{aligned}
 \text{EFFICIENZA (OEE)} &= \text{INDICE DI DISPONIBILITÀ} \\
 &\quad \cdot \text{INDICE DI PRESTAZIONE} \\
 &\quad \cdot \text{INDICE DI QUALITÀ}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

### 3.6.2.2. Visualizzazione dei report

I valori calcolati, appena discussi, vengono utilizzati per creare delle tabelle e dei grafici pivot, per poter visualizzare dei report di produzione.

Nella tab “OEE LINEA ANNO”, come si può vedere in Figura 3.11, viene rappresentato graficamente il valore in percentuale dell’OEE e delle varie perdite di produzione. Tali valori vengono calcolati facendo una media, pesata sul tempo di esecuzione, dei valori ottenuti nelle righe della tab “DATABASE PROD”. La perdita di disponibilità è divisa in due porzioni: quella dovuta ai set-up e quella dovuta a tutti gli altri fermi. Sul grafico pivot è possibile visualizzare il valore dell’OEE per linea o complessivo e in base al giorno, alla settimana, al mese o all’anno che si desidera.

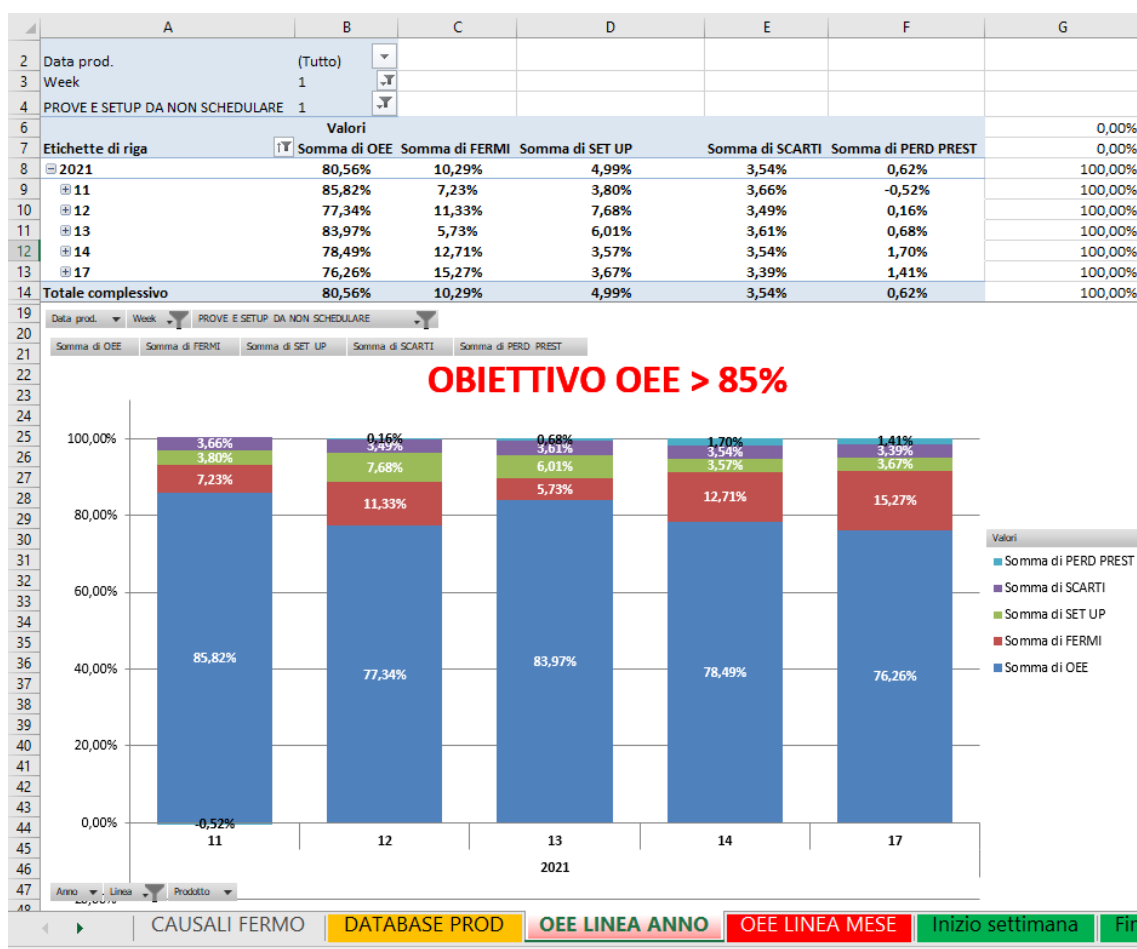


Figura 3.11 Report dei valori percentuali dell’OEE e delle varie perdite per linea.

Nella stessa tab è presente anche una visualizzazione dell'OEE e delle varie perdite di produzione in base alla tipologia di prodotto, anziché delle linee di produzione. Tale visualizzazione è rappresentata in Figura 3.12. Come si è visto precedentemente i tipi di prodotti realizzati sono suddivisi in:

- “R”: ravioli;
- “T”: tortellini;
- “RA”: ravioli con allergeni;
- “prova”: prove (tutto il tempo delle prove viene inserito come un unico tempo di fermata).

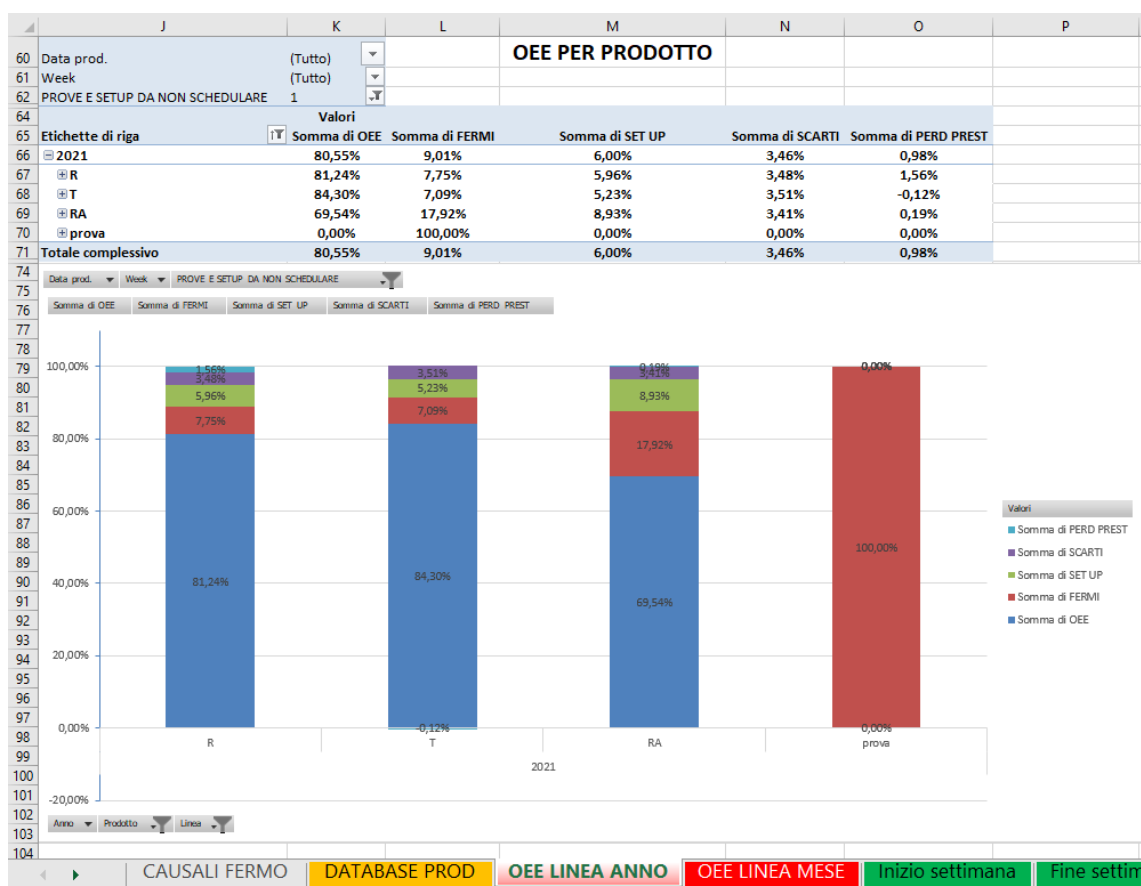


Figura 3.12 Report dei valori percentuali dell'OEE e delle varie perdite per tipologia di prodotto.



Nella tab “SETUP”, rappresentata in Figura 3.13, viene visualizzato il numero di *set-up* e il tempo medio di *set-up* delle varie settimane.

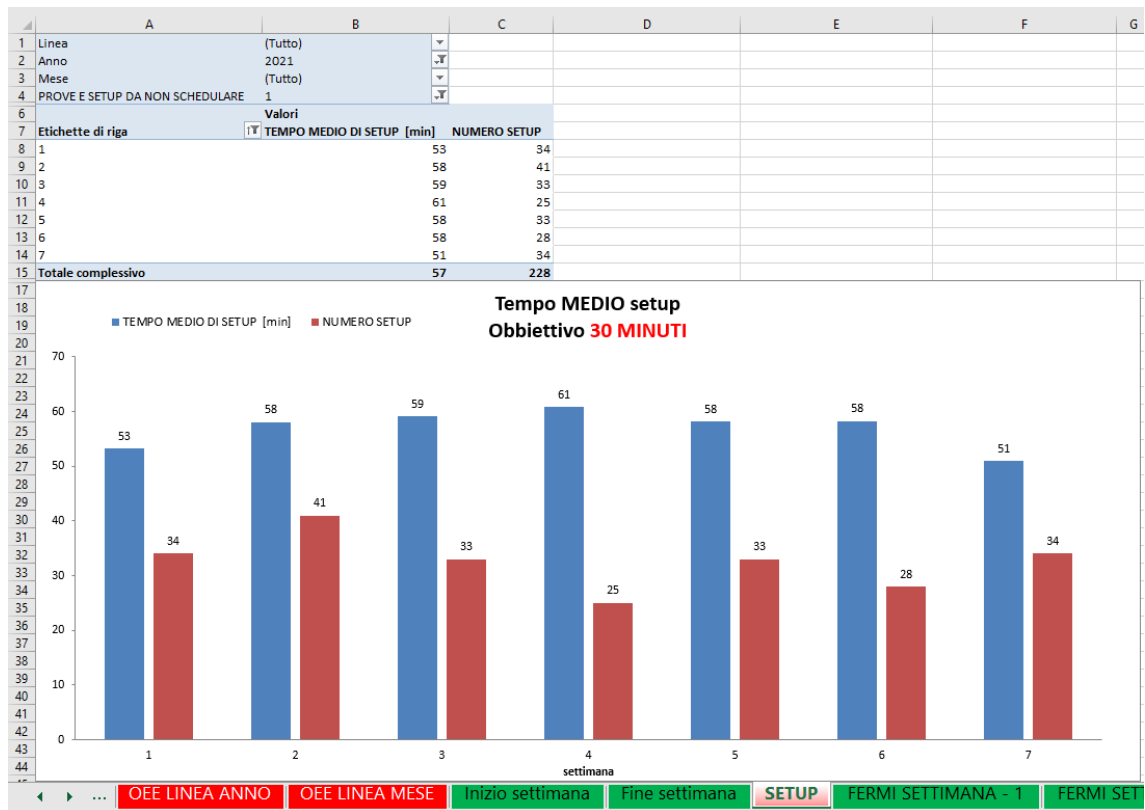


Figura 3.13 Report del numero e della durata media dei set-up settimanali.

Nella tab “FERMI SETTIMANA”, rappresentata in Figura 3.14, vengono rappresentate graficamente le durate dei fermi, divisi per causa, che ci sono stati in un determinato giorno, settimana, mese o anno. Inoltre viene visualizzata l’incidenza di ogni tipologia di fermo (produttivo, manutentivo, ecc.).

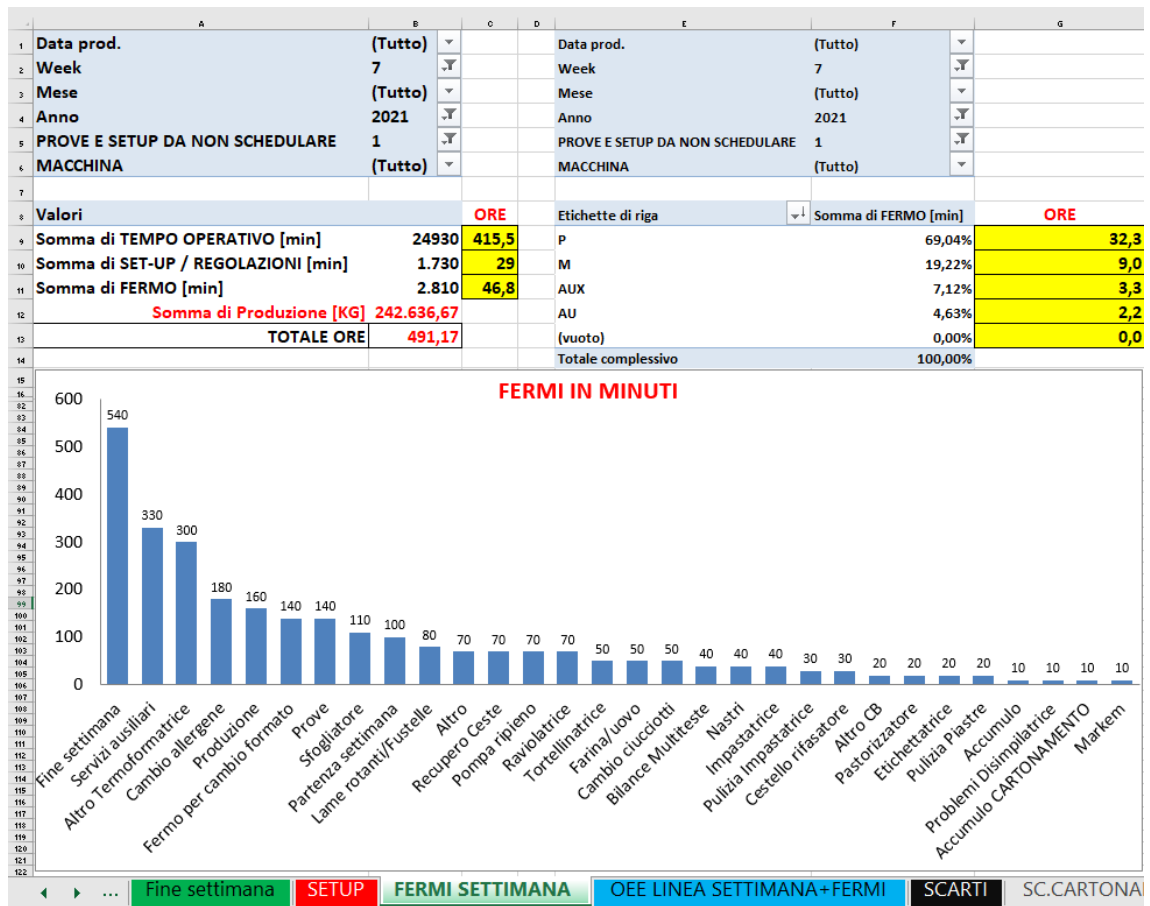


Figura 3.14 Report della durata dei fermi divisi per causale.

Nella tab “OEE LINEA SETTIMANA + FERMI”, rappresentata in Figura 3.15, vengono analizzati nel dettaglio i fermi di produzione. È possibile visualizzare i fermi di ogni giorni, settimana, mese o anno, e in base alla tipologia di fermo (produttivo, manutentivo, ecc.). I fermi vengono ordinati per causa in modo decrescente di durata complessiva. Inoltre viene visualizzata la linea in cui si sono verificati i vari fermi e le note lasciate al riguardo dagli operatori.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Anno	2021					
2		Mese	(Tutto)					
3		Week	7					
4		PROVE E SETUP DA NON SCHEDULARE	1					
5		MANUT-PROD	(più elemen)					
6		0						
7		0 Somma di FERMO [min]	Etichette di colonna					
8		0 Etichette di riga						Totale complessivo
9	Fine settimana	A5	11	12	13	14	17	540
10		19/02/2021						
11		(vuoto)	120	120	100	130	70	540
12	Servizi ausiliari	A7	70	70	100	90		330
13		17/02/2021						
14		SMPEGNIMENTO CALDAIA, TEMPERATURA PASTORIZZATORE BASSA	30	30	30	40		130
15		18/02/2021						
16		SALTATA LA CORRENTE	20	30	40	30		120
17		19/02/2021						
18		SALTATA LA CORRENTE	20	10	30	20		80
19	Altro Termoformatrice	CO7			300			300
20		15/02/2021						
21		PROBLEMI FORMATURA VASCETTE			90			90
22		ACCORCIATO TUBO FORMATURA E SOSTITUITO CILINDRO SX MOVIMENTO PRERISCALDO INFERIORE			70			70
23		17/02/2021						
24		SOSTITUZIONE PIASTRA SALDATURA			60			60
25		18/02/2021						
26		PROBLEMI FORMATURA VASCETTE, RADDRIZZATA E FISSATA PIASTRA PRERISCALDAMENTO INF.			80			80

Figura 3.15 Report dettagliato dei fermi di produzione ordinati in modo decrescente per durata complessiva delle varie causali.

Nella tab “Report per Resoconto OEE”, rappresentata in Figura 3.16, viene visualizzata l’incidenza, in una determinata settimana e da inizio anno, dei fermi imputabili alla manutenzione totali, della sola formatura, della sola camera bianca, del solo cartonamento, dei soli servizi ausiliari e delle sole tortellinatrici. Inoltre viene rappresentato graficamente l’andamento dell’incidenza dei fermi imputabili alla manutenzione totali nelle varie settimane.

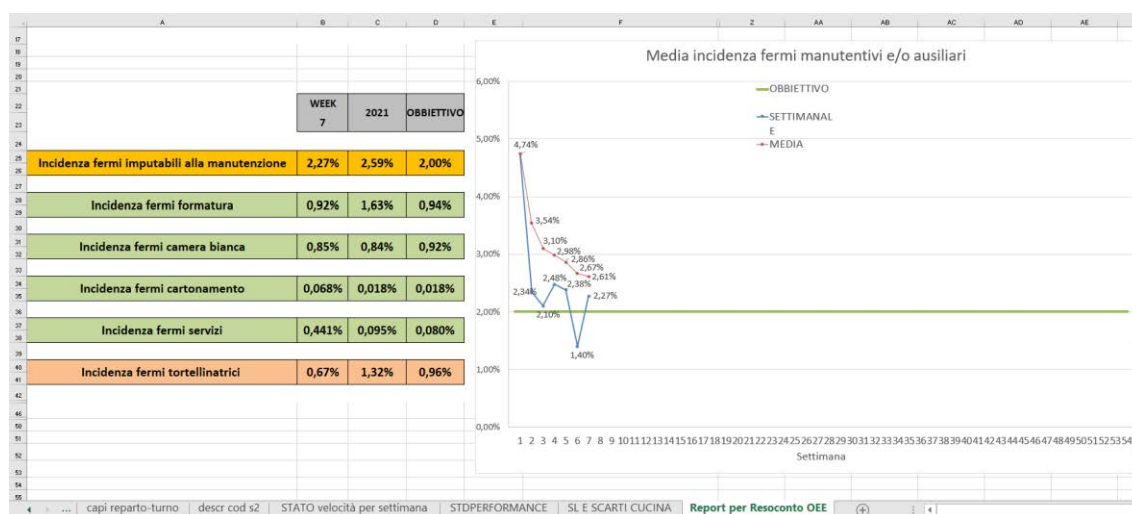


Figura 3.16 Report delle incidenze dei fermi manutentivi.

### 3.7. Definizione delle causali dei fermi ricorrenti

In questo paragrafo verranno definite, in base all'esperienza, le causali dei fermi più ricorrenti.

Sempre sullo stesso file Excel è presente una tab chiamata "CAUSALI FERMO", rappresentata in Figura 3.17, dove vengono elencati tutti i codici delle possibili ragioni di fermo. È da ricordare che gli operati, oltre a segnare la durata e il codice della causale di un fermo, scrivono anche una nota riguardo tale fermo, per poter fare un'analisi dei fermi più dettagliata. Infatti la maggior parte delle causali previste sono abbastanza generiche.

AREA	CODICE	DESCRIZIONE
FORMATURATURA	F1	Impastatrice
FORMATURATURA	F2	Farina/uovo
FORMATURATURA	F3	Nastri
FORMATURATURA	F4	Pompa ripieno
FORMATURATURA	F5	Raviolatrice
FORMATURATURA	F6	Sfogliatore
FORMATURATURA	F7	Stampo
FORMATURATURA	F8	Tortellinatrice
FORMATURATURA	F9	Prove
FORMATURATURA	F10	Cambio ciucciotti
FORMATURATURA	F11	Pressa
FORMATURATURA	F12	Pastorizzatore
FORMATURATURA	F13	Niditrice
FORMATURATURA	F14	Pulizia Impastatrice
FORMATURATURA	F15	Microfemata
FORMATURATURA	F16	Cambio Ripiena-Liscia
FORMATURATURA	F17	Cambio allergene
CARTONAMENTO	C1	Cartonatore
CARTONAMENTO	C2	Etichettatrice
CARTONAMENTO	C3	Fascettatrice
CARTONAMENTO	C4	Innerpack
CARTONAMENTO	C5	Sussidiario
CARTONAMENTO	C6	Accumulo CARTONAMENTO
CARTONAMENTO	C7	Altro CARTONAMENTO
ALTRE FERMATE	A1	Sbrinamento
ALTRE FERMATE	A2	Produzione
ALTRE FERMATE	A4	Partenza settimana
ALTRE FERMATE	A5	Fine settimana
ALTRE FERMATE	A6	Altro
ALTRE FERMATE	A7	Servizi ausiliari
ALTRE FERMATE	A8	Audit/Pulizie Preaudit
ALTRE FERMATE	A9	Avviamento
ALTRE FERMATE	A10	Ripieno (specificare)
ALTRE FERMATE	A11	Misure preventive COVID-19
FLOPACK	FL1	Coltello Tagliacuci
FLOPACK	FL2	Uscita Bobina
FLOPACK	FL4	Pulizia ruote termosaldanti
FLOPACK	FL5	Problemi Disimpilatrice
FLOPACK	FL6	Fotocellula Vaschette
FLOPACK	FL7	Altro Flopack
COLIMATIC / VERIPACK	CO1	Lame rotanti/Fustelle
COLIMATIC / VERIPACK	CO2	Uscita Bobina
COLIMATIC / VERIPACK	CO3	Rottura Guarnizione
COLIMATIC / VERIPACK	CO4	Cestello rifasatore
COLIMATIC / VERIPACK	CO5	Fermo per cambio formato
COLIMATIC / VERIPACK	CO6	Pulizia Piastre
COLIMATIC / VERIPACK	CO7	Altro Termoformatrice
GENERICO CB	K1	Accumulo
GENERICO CB	K2	Recupero Ceste
GENERICO CB	K3	Ponderale
GENERICO CB	K4	Metal
GENERICO CB	K5	Bilance Multiteste
GENERICO CB	K6	Markem
GENERICO CB	K7	Miscelatore Gas
GENERICO CB	K8	Altro CB
GENERICO CB	K9	Nastri chiller-dryer
GENERICO CB	K10	Nastri trasporto bilance
GENERICO CB	K11	Controllo peso
GENERICO CB	K12	Bobina Difettosa
GENERICO CB	K13	Lasagnatrice

Figura 3.17 Causali dei fermi produttivi

I codici delle causali di fermo sono composti da una lettera, che indica il reparto o la macchina di lavoro, accompagnata da un numero. Nello stabilimento di Avio vengono utilizzati i seguenti codici:

- Formatura:
  - “F1 - Impastatrice”:  
Fermo causato da un problema con l’impastatrice;
  - “F2 - Farina/uovo”:  
Fermo causato da un problema con l’impianto di farina o di uovo, oppure per mancanza di tali materie prime per l’impastamento della pasta;
  - “F3 - Nastri”:  
Fermo causato da un problema con i nastri che trasportano la pasta ripiena fino all’imbocco del pastorizzatore;
  - “F4 - Pompa ripieno”:  
Fermo causato da un problema con le pompe dei ripieni;
  - “F5 - Raviolatrice”:  
Fermo causato da un problema con le raviolatrici (è compreso anche il taglia-scarti);
  - “F6 - Sfogliatore”:  
Fermo causato da un problema con lo sfogliatore;
  - “F7 - Stampo”:  
Fermo causato da un problema con lo stampo delle raviolatrici;
  - “F8 - Tortellinatrice”:  
Fermo causato da un problema con le tortellinatrici;

- “F9 - Prove”:  
 Una prova effettuata durante il periodo schedulato alla produzione, viene sempre considerata come un fermo produttivo. Se la prova viene effettuata a fine settimana o durante un periodo in cui non è programmata nessuna produzione su tale linea, viene comunque considerata un fermo, ma non viene schedulato. In tal modo ne rimane la traccia, senza però influenzare il valore dell’*OEE*;
  
- “F10 - Cambio ciucciotti”:  
 Fermo causato da un cambio dei ciucciotti, ovvero degli ugelli dai quali viene fatto uscire il ripieno sulla sfoglia dei ravioli. Tale fermo è sempre manutentivo;
  
- “F12 - Pastorizzatore”:  
 Fermo causato da un problema con il pastorizzatore;
  
- “F14 - Pulizia impastatrice”:  
 Fermo causato dalla pulizia dell’impastatrice;
  
- “F15 - Microfermata”  
 Fermata di breve durata, come ad esempio per una pulizia rapida delle formatrici. Tali fermate difficilmente vengono segnate sul modulo tira-righe;
  
- “F17 - Cambio allergene”:  
 Fermo causato da un cambio allergene. Infatti, a fine produzione di una tipologia di allergene (frutta secca a guscio, pesce e crostacei), viene fatta una pulizia profonda a tutta l’attrezzatura utilizzata.

- **Cartonamento:**
  - “C1 - Cartonatore”:  
Fermo causato da un problema con il cartonatore;
  - “C2 - Etichettatrice”:  
Fermo causato da un problema con l’etichettatrice;
  - “C6 - Accumulo CARTONAMENTO”:  
Fermo dovuto ad un accumulo in cartonamento. Ovvero in cartonamento non riescono a stare dietro al ritmo della formatura e della camera bianca perché vanno troppo veloci oppure perché hanno avuto qualche problema;
  - “C7 - Altro CARTONAMENTO”:  
Fermo causato da un problema in cartonamento di cui non esiste il codice.
  
- **Altre fermate:**
  - “A2 - Produzione”:  
Fermo dettato dalla produzione. Ad esempio viene utilizzato quando la linea 14 è ferma perché in camera bianca viene confezionata la pasta ripiena proveniente dalla linea 13;
  - “A4 - Partenza inizio settimana”  
Tempo impiegato per partire con la prima produzione della settimana di una linea. In pratica corrisponde al primo attrezzaggio della settimana di una linea, che invece di essere segnato come un *set-up*, viene segnato come un fermo;
  - “A5 - Fine settimana”:  
Tempo che intercorre dalla fine dell’ultima produzione della settimana di una linea, fino a quando gli operatori non completano le operazioni di fine settimana e lasciano effettivamente la linea. In pratica corrisponde alla prima pulizia e allo smontaggio di certi componenti delle macchine. Una pulizia più



profonda della linea viene invece fatta successivamente durante il weekend da una ditta esterna;

- “A6 - Altro”:  
Fermo causato da un problema di cui non esiste il codice. Poiché in camera bianca e in cartonamento è previsto un codice “altro” specifico di reparto, questo viene praticamente adoperato soltanto per la formatura;
  - “A7 - Servizi ausiliari”:  
Fermo causato da un problema con i servizi ausiliari (corrente elettrica, caldaia, ecc.);
  - “A8 - Audit/Pulizie Preaudit”:  
Fermo causato da una visita esterna;
  - “A9 - Avviamento”:  
Tutti i fermi che si manifestano durante l’avviamento di un nuovo impianto (solitamente l’avviamento dura qualche settimana);
  - “A10 - Ripieno”:  
Fermo causato da un problema con il ripieno. Solitamente viene adoperato quando la cucina è in ritardo o il ripieno non è conforme;
  - “A11 - Misure preventive COVID-19”:  
Fermo causato dalle misure di sicurezza per il COVID-19.
- Flopack:
    - “FL1 - Coltello Tagliacuci”:  
Fermo causato da un problema con il coltello taglia-cuci;

- “FL2 - Uscita Bobina”:  
Fermo causato dall’uscita di una bobina;
  - “FL4 - Pulizia ruote termosaldanti”:  
Fermo causato dalla pulizia delle ruote termosaldanti;
  - “FL5 - Problemi Disimpilatrice”:  
Fermo causato da un problema con la disimpilatrice;
  - “FL6 - Fotocellula vaschette”:  
Fermo causato da un problema con le fotocellule;
  - “FL7 - Altro Flopack”:  
Fermo causato da un problema con la Flopack di cui non esiste il codice.
- Colimatic:
    - “CO1 - Lame rotanti/Fustelle”:  
Fermo causato da un problema con le lame rotanti o le fustelle;
    - “CO2 - Uscita bobina”:  
Fermo causato dall’uscita di una bobina;
    - “CO3 - Rottura Guarnizione”:  
Fermo causato dalla rottura di una guarnizione della campana di formatura o di saldatura;
    - “CO4 - Cestello rifasatore:  
Fermo causato da un problema con il cestello rifasatore;

- “CO5 - Fermo per cambio formato”:  
Fermo causato da un cambio formato in camera bianca. In pratica la formatura continua con la stessa produzione, ma la camera bianca ferma la produzione perché deve settare la Colimatic il nuovo formato;
  - “CO6 - Pulizia Piastre”:  
Fermo causato dalla pulizia della piastra di saldatura o di formatura;
  - “CO7 - Altro Termoformatrice”:  
Fermo causato da un problema con la Colimatic di cui non esiste il codice.
- Camera bianca:
    - “K1 - Accumulo”:  
Fermo causato da un accumulo troppo grande sui nastri *chiller and dryer*;  
Ovvero in camera bianca non riescono a stare dietro al ritmo della formatura perché vanno troppo veloci oppure perché hanno avuto qualche problema o un cambio formato;
    - “K2 - Recupero Ceste”:  
Fermo causato dal recupero della pasta ripiena contenuta nelle confezioni malriuscite. Queste vengono aperte e la pasta ripiena viene portata sui nastri della bilancia multi-teste per essere ripesata;
    - “K3 - Ponderale”:  
Fermo causato da un problema con la bilancia ponderale;
    - “K4 -Metal”:  
Fermo causato da un problema con il *metal detector*;
    - “K5 - Bilance Multi-teste”:  
Fermo causato da un problema con la bilancia multi-teste;

- “K6 - Markem”:  
Fermo causato da un problema con il marcatore;
- “K7 - Miscelatore Gas”:  
Fermo causato da un problema con il miscelatore del gas;
- “K8 - Altro CB”:  
Fermo causato da un problema in camera bianca di cui non esiste il codice;
- “K9 - Nastri chiller-dryer”:  
Fermo causato da un problema con i nastri *chiller and dryer*;
- “K10 - Nastri trasporto bilance”:  
Fermo causato da un problema con i nastri che portano la pasta ripiena alla bilancia multi-teste;
- “K12 - Bobina difettosa”:  
Fermo causato da una bobina difettosa che deve essere sostituita.

### 3.8. Analisi delle perdite di produzione del 2020

In Figura 3.18 è rappresentato il valore, per linea, dell'*OEE* dell'anno 2020.

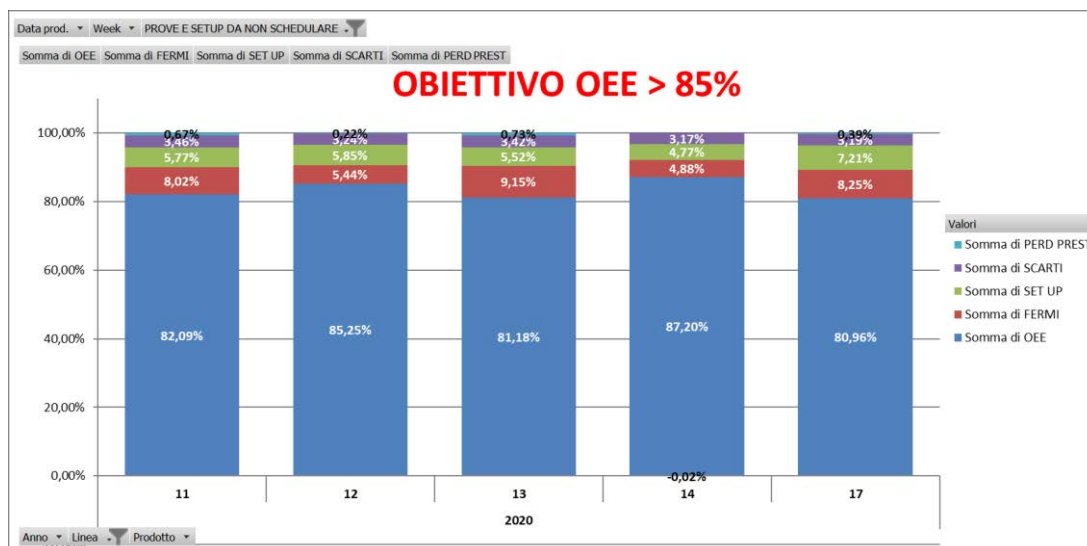


Figura 3.18 Valori percentuali dell'*OEE* e delle perdite di produzione del 2020.

Come si può vedere la linea 17 è stata quella col valore dell'*Overall Equipment Effectiveness* più basso. Questo era facile da aspettarselo, dal momento che è la linea a cui vengono dedicate tutte le produzioni con allergeni, il che implica le fermate di pulizia per i cambi allergeni. Tuttavia la percentuale dei fermi è del 8,25%, non troppo maggiore delle altre linee e addirittura minore del 9,15% della linea 13. Quello che si può notare è che sono stati i tempi di *set-up* ad incidere tanto sull'*OEE* della linea 17, infatti il 7,21% è molto maggiore rispetto alle altre linee. Ciò è dovuto al fatto che alla linea sono state dedicate tante produzioni brevi, il che implica numerosi *set-up*. Un'altra cosa che si può notare sono le perdite di prestazione (velocità) della linea 14, pari al -0,02%. Il valore negativo sta a significare che, invece di perdite di prestazione, nel 2020 ci sono stati dei guadagni di prestazione in tale linea. Questo, per definizione dell'*OEE*, è impossibile, quindi gli standard di velocità non rappresentano le reali velocità massime di produzione.

In Figura 3.19 sono rappresentate graficamente i tempi complessive dei fermi, divisi per causale e ordinati in modo decrescente.

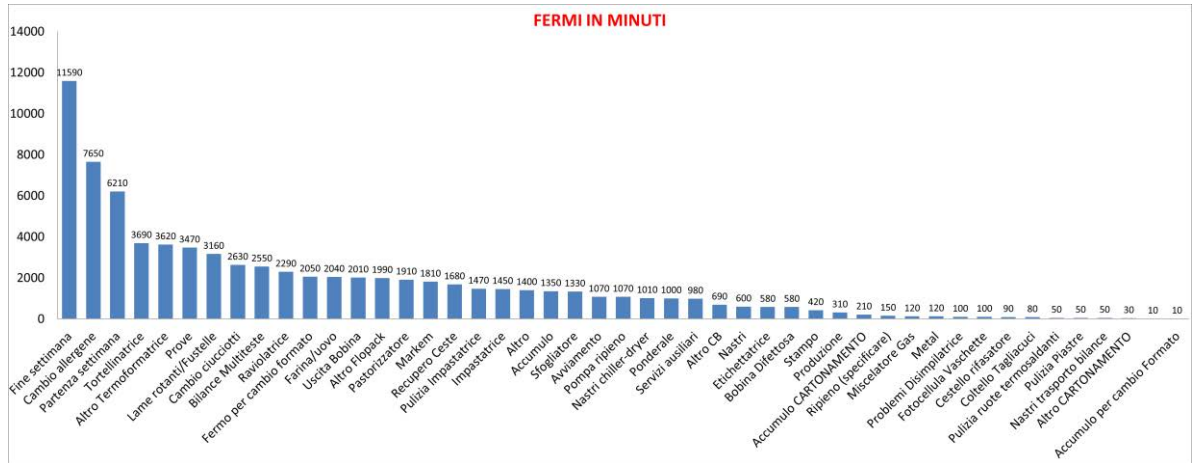


Figura 3.19 Durata dei fermi del 2020 divisi per categoria.

È possibile notare che le tre cause principali di perdite di disponibilità sono il fine settimana, il cambio allergene e l'inizio settimana. Queste tre tipologie di fermi sono inevitabili, tuttavia vanno monitorate per risalire ad eventuali problematiche che vi possono essere. Come durata standard ci si aspetta 60 minuti per linea per il fine settimana, 180 minuti per ogni cambio allergene e 30 minuti per linea per l'inizio settimana. Qualora i valori discostassero molto da quelli standard va capita la ragione di tale perdita.

È da specificare inoltre che anche i set-up rientrano nelle perdite di prestazione, tuttavia questi vengono trattati separatamente dagli altri fermi. Nella Figura 3.20 viene rappresentato il tempo medio di *set-up* e il numero di set che ci sono stati nel 2020.

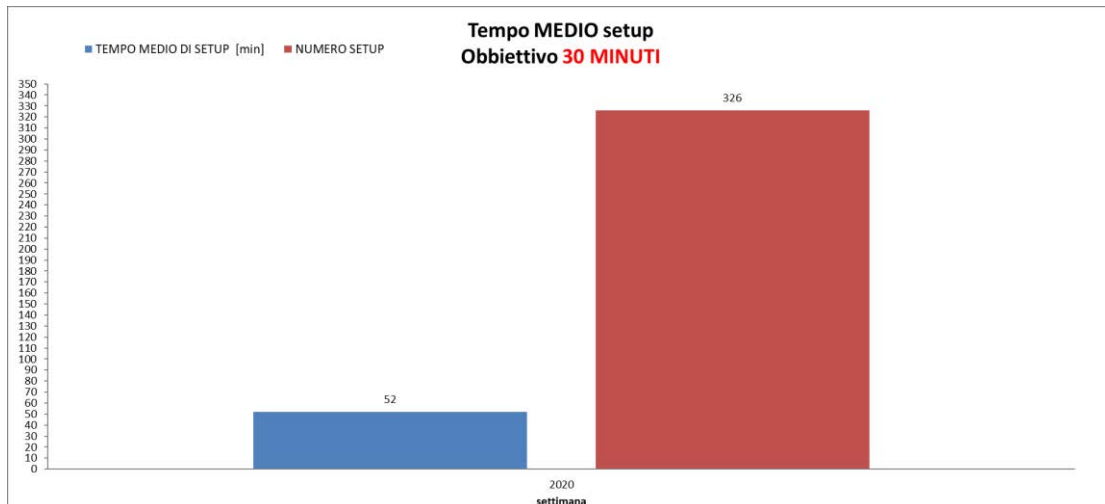


Figura 3.20 Numero e durata media dei set-up del 2020.

In totale, nel 2020, ci sono stati 326 set-up con un tempo medio di 52 minuti, per un totale di:

$$\begin{aligned}
 mp_{comp} \quad ss \quad de \quad set & & (3.11) \\
 = mp_{medi} \quad di \quad set \quad \cdot Nume \quad di \quad set \\
 = 52 \cdot 326 = 16952 \quad mi
 \end{aligned}$$

### 3.9. Analisi del sistema semi-automatico di raccolta dati

Col il passaggio ad Industria 4.0 tutte le macchine sono state connesse alla rete per poter registrare automaticamente dei dati di produzione sul gestionale *ERP web based* (Open Square ERP). Lo scopo di questo sistema è quello di eliminare ogni foglio cartaceo per la raccolta dei dati e quello di poter monitorare in tempo reale la produzione, senza dover aspettare il giorno successivo. L'ultima fase del progetto è stata dunque l'implementazione e l'analisi di un sistema di rilevazione dell'*OEE*

semi-automatico. Non è stato poi possibile fare una vera e propria valutazione della precisione dei dati raccolti in automatico e una manutenzione dei dati stessi per renderli coerenti con i dati raccolti sui cartacei poiché sia l'implementazione che le modifiche al sistema hanno richiesto più tempo del previsto. Come per il sistema manuale di raccolta dati, in ogni reparto vengono raccolti dei dati, tuttavia quelli che interessano il rilevamento dell'*OEE* sono ancora una volta quelli della sola formatura. In camera bianca e in cartonamento infatti vengono registrati solamente i dati relativi agli scarti (che comunque non vengono utilizzati per il calcolo dall'*OEE* perché vengono utilizzati ancora quelli registrati dai magazzinieri) e gli altri dati irrilevanti per il calcolo dell'*OEE*, come quelli per la rintracciabilità e il controllo qualità. In questo paragrafo verrà dunque discusso soltanto il sistema semi-automatico di raccolta dati della formatura. Questo prevede l'utilizzo di un computer a bordo linea e di uno implementato nelle formatrici, che come è stato detto vengono connesse alla rete per trasmettere i dati al sistema. Al termine di una produzione l'operatore deve spostarsi sul pc di bordo linea per registrare sul gestionale *ERP* tutti i dati delle attrezzature che si andranno ad utilizzare nella produzione successiva. Per fare ciò l'operatore, dal menu delle funzioni del gestionale, apre il "Cruscotto industria 4.0", seleziona la linea in cui è destinata la produzione e la sigla del proprio reparto (FO nel caso della formatura). Come si può vedere in Figura 3.21, così facendo appariranno gli ordini di produzione destinati in quella linea in quel giorno (in questo caso soltanto un ordine di produzione).

The screenshot shows a software interface with a green header and a yellow navigation bar. The navigation bar contains the following elements: 'LINEA L12', 'FO', 'Formatura', 'AVIO', 'Data: 26/02/2021', 'Venerdì', 'OP DI LINEA', and 'MASTER'. Below the navigation bar is a table with the following data:

S	M	Ab	Qto	Rifer. Ordine	S	Articolo	Descrizione Articolo	QtoOrd	QtoPri	QtoRc	St	Assessment	Data OP	Data OP	Datae Lin
☑			L12	5202918	OF PAS 488075-1	☑	5202918	TONDO ALLA FARMIGIANA 70% PASTA POMODORO	11250	0	0	CO	26/02/2021	26/02/2021	

Figura 3.21 Menu degli ordini di produzione del cruscotto Industria 4.0.



L'operatore seleziona la produzione che si andrà a compiere e si aprirà una nuova finestra, rappresentata in Figura 3.22.

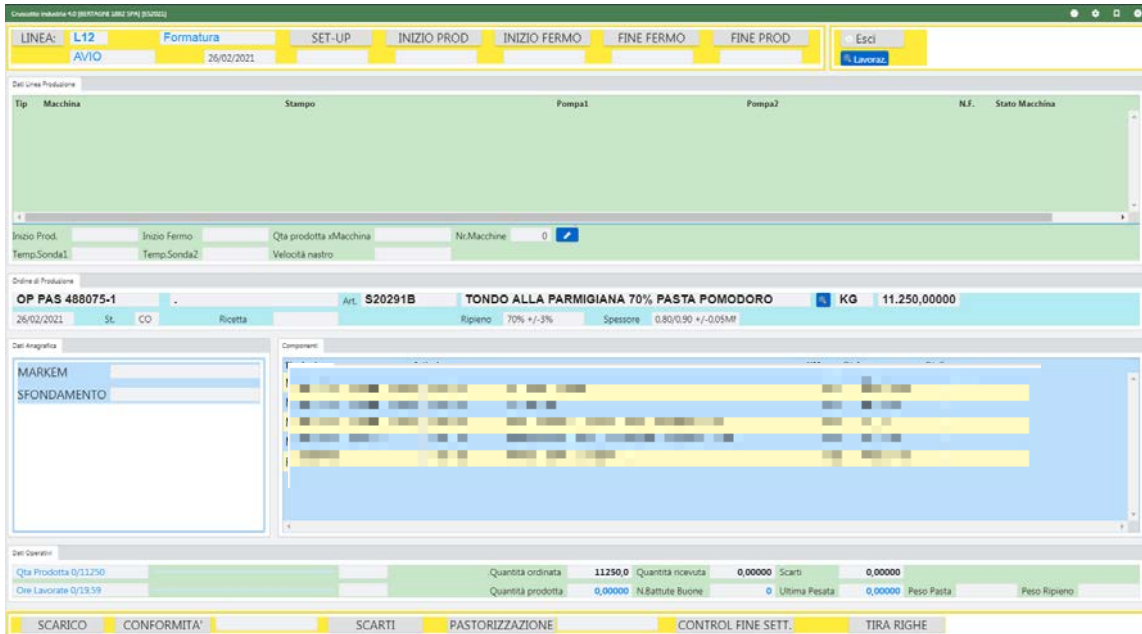


Figura 3.22 Finestra principale di un ordine di produzione del cruscotto Industria 4.0.

In questa nuova finestra, relativa all'ordine di produzione, vengono visualizzate le informazioni e l'avanzamento di tale produzione. Il primo passo che deve fare l'operatore è quello di aprire il menu "SET-UP". Così facendo si aprirà una schermata, rappresentata in Figura 3.23, dedicata all'inserimento delle informazioni delle attrezzature che si andranno ad utilizzare.

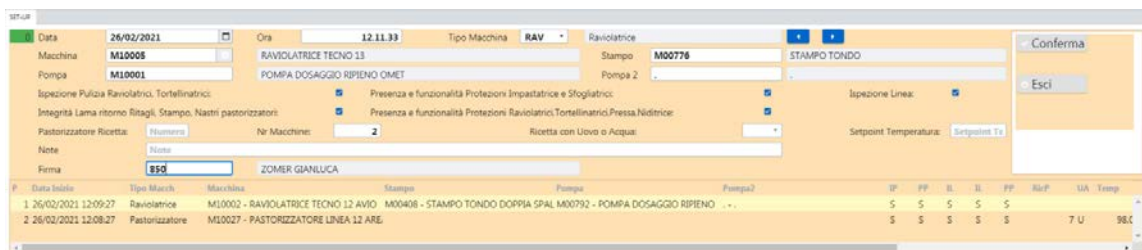


Figura 3.23 Finestra "SET-UP" di un ordine di produzione del cruscotto Industria 4.0.

L'operatore inserisce le informazioni del pastorizzatore (codice macchina, ricetta, temperatura di *set point*, note e codice operatore), e di ogni formatrice che si andrà ad utilizzare in linea (codice macchina, codice stampo, codice/i pompa/e, controlli di inizio produzione, note e codice operatore). Una volta inserite tutte le informazioni richieste, uscendo dal menù "SET-UP", nella finestra relativa all'ordine di produzione compariranno le informazioni delle macchine appena inserite, come visualizzato in Figura 3.24. Si può notare che lo "Stato Macchina" di ogni attrezzatura è in "SET UP", ovvero il sistema ha iniziato a registrare il tempo della durata del *set-up* di questa produzione, che si concluderà non appena verrà segnalato l'inizio produzione.

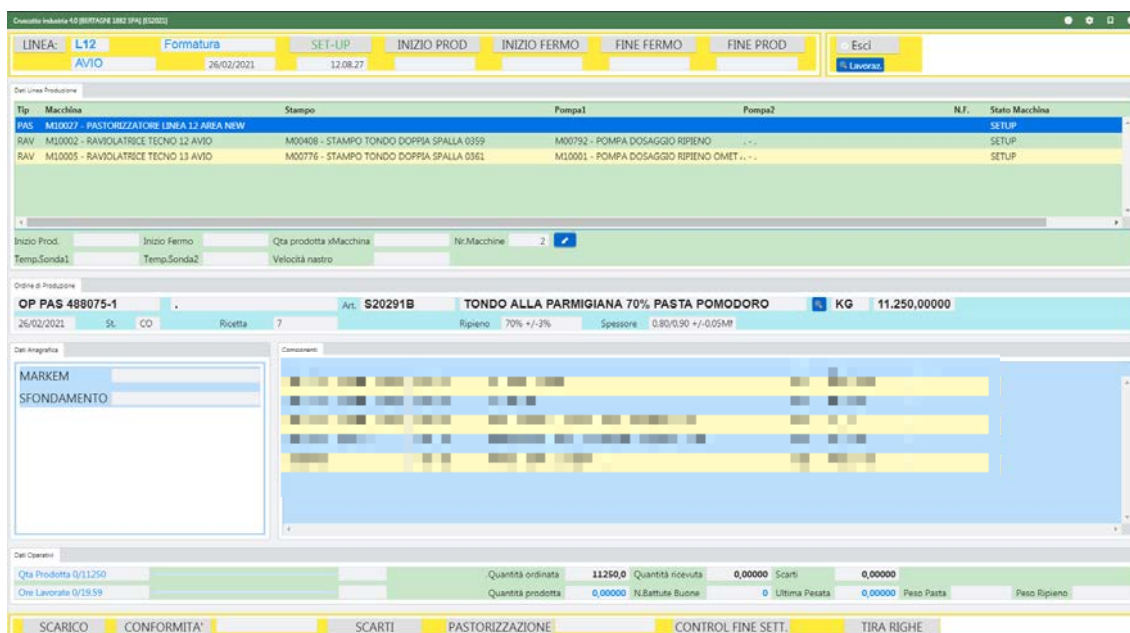


Figura 3.24 Finestra principale di un ordine di produzione del cruscoletto Industria 4.0.

Fatto ciò l'operatore si sposta sul pc integrato alla formatrice/i collegate in rete e, una volta aperto il programma che controlla la macchina, esplora l'ordine di riproduzione dal comando "ESPLORA ORDINI" della finestra "Registro" rappresentata in Figura 3.25. Così facendo appariranno le informazioni dell'ordine di cui è appena stato fatto il *set-up* al pc di bordo linea. L'operatore ha il compito di verificare che l'ordine esplorato sia quello corretto. Verificato ciò può aiutare gli altri operatori di linea nel vero *set-up* operativo (gli altri operatori iniziano a preparare la linea mentre lui è al pc). Una volta attrezzata tutta la linea, viene caricata la ricetta e settati tutti i parametri di produzione delle macchine. Quando la produzione inizia l'operatore ne segnala l'avvio, sempre dalla finestra "Registro" del programma, con il comando "AVVIO PRODUZIONE".



Figura 3.25 Finestra "Registro" del programma della formatrice.

Una volta dato l'avvio di produzione termina il tempo di *set-up* della macchina e, spostandosi sul pc di bordo linea, si può notare, come in Figura 3.26, che lo "Stato Macchina" passa da "SET-UP" a "IN LAVORAZIONE".

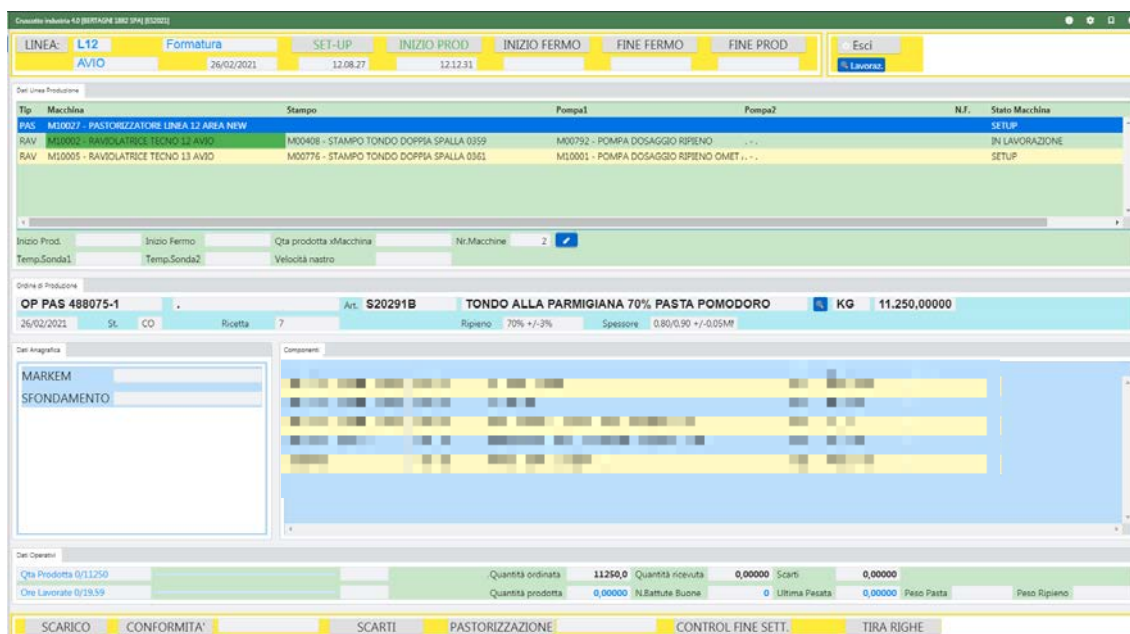


Figura 3.26 Finestra principale di un ordine di produzione del cruscotto Industria 4.0.

A questo punto il sistema registra la durata del tempo operativo di ogni formatrice e, nel caso l'operatore stoppasse la macchina, registrerebbe anche il tempo di fermo macchina. In questo caso sul pc di bordo linea noterebbe che lo "Stato Macchina" sarebbe aggiornato in "FERMO MACCHINA". Qualora la produzione ripartisse, l'operatore dovrebbe ridare il comando di "AVVIO PRODUZIONE" dal pc integrato nella formatrice. Quando quest'ordine viene dato, sul pc della formatrice compare una finestra, rappresentata in Figura 3.27, con un menu a tendina per indicare la causale del fermo macchina.



Figura 3.27 Finestra di richiesta della causale di un fermo macchina del programma della formatrice.

Questa finestra non può essere chiusa dall'operatore, "obbligandolo" a non dimenticarsi di segnalare tale informazione. Se il fermo macchina dura meno di 5 minuti il sistema non richiede nessuna causale e registra la fermata come una microfermata. Qualora l'operatore volesse lasciare una nota riguardo tale fermo, oppure modificare il codice fermata, può farlo in qualsiasi momento dal pc di bordo linea nel menu "TIRA RIGHE". Come si può vedere in Figura 3.28, una volta aperto tale menu, in basso si possono visualizzare tutti i fermi che ci sono stati durante la produzione (in questo caso soltanto uno), l'operatore deve selezionare la fermata che vuole modificare e correggere i campi al proprio interno.

Pro	Data Inizio	Data Fine	Causale	C	Macchina	Stampo	Pompa	Pompa2	Note	Firma
1	26/02/2021 12:14:43	26/02/2021 12:15:44	F4 - POMPA RIPIENO		M10002 - RAVIOLATRICE TECNO 1	M00408 - STAMPO TONDO DOPPIA SPALLA 0359	M00792 - POMPA DOSAGGIO RIPIENO			850

**Figura 3.28** Finestra "TIRA RIGHE" di un ordine di produzione del cruscotto Industria 4.0.

Quando la produzione termina l'operatore ne segnala la fine, sempre dalla finestra "Registro" del programma della formatrice, con il comando "FINE PRODUZIONE". In questo caso sul pc di bordo linea si noterebbe che lo "Stato Macchina" sarebbe aggiornato in "LAVORAZIONE COMPLETATA". Una volta dato il segnale di fine produzione è necessario spostarsi sul pc di bordo linea e fare il *set-up* della produzione successiva, in modo che il sistema inizi a registrarne il tempo di *set-up*.

Per quanto riguarda la velocità di produzione, il sistema non la rileva in automatico, ma è compito dell'operatore trasmettere al sistema, ogni ora e ad ogni variazione di velocità, il valore di ogni pesata che viene fatta: nella finestra "Registro" l'operatore aggiorna il campo "Pesata (gr)" e con il comando "TRASMETTI PESATA" questo

viene registrato a sistema. Grazie a tale informazione e al numero di battute al minuto il sistema calcola la velocità di produzione in chili/ora.

Sul pc di bordo linea inoltre sono presenti tutti i menu relativi agli scarti, ai controlli di qualità, alla rintracciabilità in modo di eliminare i cartacei per tutta la raccolta dati. Come per i moduli cartacei, anche questi non vengono trattati essendo ininfluenti sul calcolo dell'OEE.

### 3.9.1. Estrapolazione ed elaborazione dati

Attualmente non è ancora stato progettato nessun sistema per elaborare i dati raccolti. In futuro questo verrà fatto in automatico sul gestionale ERP. Attualmente i dati registrati da questo sistema possono soltanto essere estrapolati in un file Excel, riprodotto in Figura 3.29. È possibile aggiornare questo file in qualsiasi momento, monitorando la raccolta dati in tempo reale.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	R	S
1	iditem	dtaini	oraini	dtafin	orafin	classoc	tipdoc	numdoc	codart	oremac	qta	kg_ora	coddir	culav	codart2	pompa	stampo	note
338	L17	05/02/2021	13.0256			OP	PAS	483919	M10298	0	0	0	1197	001	S20420			
339	L17	05/02/2021	13.0553	05/02/2021	15.4145	OP	PAS	483919	M10335	2.597778	0	0	1197	001	S20420	M10232		pompa s/c omet 5
340	L17	05/02/2021	15.4145	05/02/2021	17.3219	OP	PAS	483919	M10335	1.842778	430,698	234	1197	100	S20420			
341	L17	05/02/2021	17.3219	05/02/2021	18.0308	OP	PAS	483919	M10335	0.513611	0	0	1197	F4	S20420			svuotata manualmente la pompa per p
342	L17	05/02/2021	18.0308	05/02/2021	18.3146	OP	PAS	483919	M10335	0.477222	123,51	259	1197	100	S20420			
343	L17	05/02/2021	18.3146	05/02/2021	18.4702	OP	PAS	483919	M10335	0.254444	0	0	1197	F6	S20420			rotta pasta e si è accumulata sullo
344	L17	05/02/2021	18.4702	05/02/2021	20.4107	OP	PAS	483919	M10335	1.901389	497,766	262	1197	100	S20420			
345	L17	05/02/2021	20.4107	05/02/2021	20.4108	OP	PAS	483919	M10335	0.000278	0	0	1197	401	S20420			
346	L17	08/02/2021	4.0822			OP	PAS	485538	M10298	0	0	0	1197	001	S20433			
347	L17	08/02/2021	4.0905	08/02/2021	4.5956	OP	PAS	485538	M00756	0,8475	0	0	1197	001	S20433	M10380	M00863	
348	L17	08/02/2021	4.1235	08/02/2021	5.323	OP	PAS	485538	M10253	1.331944	0	0	1197	001	S20433	M10322		omet 5
349	L17	08/02/2021	4.5956	08/02/2021	5.0102	OP	PAS	485538	M00756	0,018333	0	0	1197	100	S20433			
350	L17	08/02/2021	5.0102	08/02/2021	6.2857	OP	PAS	485538	M00756	1,465278	0	0	1197	F12	S20433			pastorizzatore in blocco
351	L17	08/02/2021	5.323	08/02/2021	5.4018	OP	PAS	485538	M10253	0,13	30,528	235	1197	100	S20433			
352	L17	08/02/2021	5.4018	08/02/2021	6.1235	OP	PAS	485538	M10253	0,538056	0	0	1197	F12	S20433			pastorizzatore in blocco
353	L17	08/02/2021	6.1235	08/02/2021	6.533	OP	PAS	485538	M10253	0,681944	236,16	346	1197	100	S20433			
354	L17	08/02/2021	6.2857	08/02/2021	15.1646	OP	PAS	485538	M00756	8,796944	2951,631	336	1197	100	S20433			
355	L17	08/02/2021	6.533	08/02/2021	7.0153	OP	PAS	485538	M10253	0,139722	0	0	1197	F5	S20433			nastro taglia scarti intasato, lama
356	L17	08/02/2021	7.0153	08/02/2021	7.1333	OP	PAS	485538	M10253	0,194444	66,24	341	1197	100	S20433			
357	L17	08/02/2021	7.1333	08/02/2021	7.2036	OP	PAS	485538	M10253	0,1175	0	0	1197	F1	S20433			pasta un po' asciutta per cambio uo
358	L17	08/02/2021	7.2036	08/02/2021	9.2759	OP	PAS	485538	M10253	2,123056	657,216	310	1197	100	S20433			
359	L17	08/02/2021	9.2759	08/02/2021	9.3718	OP	PAS	485538	M10253	0,155278	0	0	1197	F5	S20433			nastro taglia scarti intasato, stes
360	L17	08/02/2021	9.3718	08/02/2021	9.3933	OP	PAS	485538	M10253	0,0375	10,368	276	1197	100	S20433			
361	L17	08/02/2021	9.3933	08/02/2021	9.4455	OP	PAS	485538	M10253	0,089444	0	0	1197	F15	S20433			
362	L17	08/02/2021	9.4455	08/02/2021	14.5744	OP	PAS	485538	M10253	5,213611	1812,096	348	1197	100	S20433			
363	L17	08/02/2021	14.5744	08/02/2021	16.1707	OP	PAS	485538	M10253	1,323056	0	0	1197	F15	S20433			
364	L17	08/02/2021	15.1646	08/02/2021	15.2243	OP	PAS	485538	M00756	0,099167	0	0	1197	401	S20433			
365	L17	08/02/2021	15.3717			OP	PAS	485539	M10298	0	0	0	1193	001	S20647			
366	L17	08/02/2021	15.3938	08/02/2021	17.0744	OP	PAS	485539	M00756	1,468333	0	0	1193	001	S20647	M00792	M00834	
367	L17	08/02/2021	15.4111	08/02/2021	17.173	OP	PAS	485539	M10253	1,605278	0	0	1193	001	S20647	M10314	M10330	
368	L17	08/02/2021	16.1707	08/02/2021	17.0742	OP	PAS	485538	M10253	0,843056	286,524	340	1197	100	S20433			
369	L17	08/02/2021	17.0742	08/02/2021	17.0742	OP	PAS	485538	M10253	0,001389	0	0	1197	401	S20433			

Figura 3.29 File Excel di estrapolazione dei dati di produzione registrati sul gestionale ERP

Per ogni cambio di stato di macchina il file registra una riga (ad esempio se una produzione fosse caratterizzata da una sola fermata ci sarebbero 5 righe: una di set-

up, una di produzione, una di fermo, di nuovo una di produzione e una di fine produzione). Nello specifico questo file Excel è così composto:

- Nella colonna A “altern” viene indicata la linea di produzione;
- Nella colonna B “dtaini” viene indicata la data di inizio;
- Nella colonna C “oraini” viene indicata l’ora di inizio;
- Nella colonna D “dtafin” viene indicata la data di fine;
- Nella colonna E “orafin” viene indicata l’ora di fine;
- Nelle colonne F “clasdoc”, G “tipdoc” e H “numdoc” viene indicato il codice di tale produzione;
- Nella colonna I “codart” viene indicato il codice della macchina (che può essere una formatrice o un pastorizzatore);
- Nella colonna J “oremacc” viene indicato il tempo trascorso;
- Nella colonna K “qta” viene indicata la quantità prodotta in chili;
- Nella colonna L “kg\_ora” viene indicata la velocità di produzione in chili/ora;
- Nella colonna M “coddip” viene indicato il codice operatore;
- Nella colonna N “caulav” viene indicato lo stato della macchina, che può essere:
  - 001: *set-up*;
  - 100: produzione;
  - F\*: fermo;
  - 401: errore nella raccolta dati.
- Nella colonna O “codart2” viene indicato il codice articolo della formatura;
- Nella colonna Q “pompa” viene indicato, soltanto nelle righe dei *set-up*, la pompa utilizzata dalla formatrice;
- Nella colonna R “stampo” viene indicato, nelle righe dei *set-up*, lo stampo utilizzato dalla formatrice;
- Nella colonna S “note” viene indicata, nelle righe dei fermi, la nota lasciata dall’operatore riguardante tale fermata.

Questo file Excel, seppure non sia in grado di elaborare i dati e di fornire il valore dell’*OEE*, è stato di grande aiuto per notare le prime problematiche di raccolta dati e per poter fare i primi confronti con i dati raccolti sui moduli tira-righe.

### 3.10. Conclusioni del caso studio

Come è già stato detto nel capitolo 2, un sistema di rilevamento dell'*OEE* manuale ha, per natura stessa, diverse problematiche: le tre più comuni sono la mancanza di tempestività, l'inesattezza e la distorsione delle informazioni raccolte. Analizzando questo specifico sistema è possibile elencare le seguenti criticità:

- Può capitare che alle volte l'operatore addetto alla raccolta dati si dimentichi di registrare qualche dato. Alcuni dati persi possono essere recuperati, ma bisogna risalire, il giorno successivo, all'operatore per recuperare tali informazioni, che ovviamente potrebbero essere storpiate;
- Le durate dei tempi di produzione, di *set-up* e di fermo sono approssimate per due motivi: primo perché il modulo tira-righe è suddiviso in intervalli temporali da 10 minuti e secondo perché gli operatori addetti alla compilazione spesso registrano tali informazioni a posteriori in modo meno preciso;
- Le microfermate non vengono registrate dagli operatori perché ritenute poco importanti e, anche se le registrassero sul modulo tira-righe, dovrebbero imputargli un minimo di 10 minuti;
- I dati non vengono elaborati in tempo reale, ma il giorno successivo: soltanto a posteriori è possibile avere dei report sull'andamento della produzione;
- La digitalizzazione dei dati di produzione richiede parecchio tempo, soprattutto se nei moduli cartacei sono state registrate informazioni poco precise ed è necessario risalire all'operatore responsabile per una spiegazione;
- L'operatore addetto alla registrazione dei dati alle volte è sovraccaricato di lavoro: in caso di un problema di produzione infatti deve sia intervenire sulle macchine, sia registrare la durata e la causa della perdita di produzione. Per tale motivo spesso i dati vengono registrati a posteriori, invece che in tempo reale;



- A seconda dell'operatore addetto, ci possono essere delle discrepanze nel modo di registrare i dati di produzione. Dei medesimi fermi, ad esempio, possono essere registrati in modo differente da operatori diversi;
- Possono esserci degli errori di scrittura o degli errori di distrazione da parte dell'operatore;
- Sebbene non sia mai successo, i moduli cartacei potrebbero andare persi;
- Per come è strutturato il sistema, le perdite di prestazione non sono precise. Le velocità di riferimento sono quelle standard anziché quelle massime;
- Anche le perdite di qualità sono approssimate perché non vengono divise per linea e per produzione. Viene semplicemente considerata la percentuale complessiva di scarti settimanale. Inoltre anche questa percentuale non viene calcolata in modo preciso, perché anziché utilizzare la formula X corretta, viene utilizzata la formula X:

$$\% Sca_{co} = \frac{h \quad scar}{h \quad pr \quad do} \quad (3.12)$$

$$\% Sca_{utiliz} = \frac{h \quad scar}{hil \quad co \quad fo \quad mi \quad pr \quad do} \quad (3.13)$$

- Considerando solo il modulo tira-righe della formatura per la rilevazione dell'OEE, i fermi in camera bianca e in cartonamento che non stoppano la produzione anche in formatura (grazie ai nastri d'accumulo) non vengono registrati e rimangono nascosti.

Per quanto riguarda il sistema di raccolta dati semi-automatico invece, come è stato detto nel capitolo 2, il vantaggio sta nel fatto di poter monitorare con estrema precisione i tempi delle perdite di produzione ed avere al tempo stesso un sistema flessibile per quanto riguarda l'individuazione delle cause delle fermate. In altre

parole permette quindi di combinare i vantaggi sia della raccolta automatica che di quella manuale, fornendo dati precisi per le successive analisi dal momento che si sollevano gli operatori dal difficile compito di cronometrare i tempi delle perdite. È possibile elencare diversi vantaggi passando dal sistema di rilevamento dell'*OEE* manuale a quello semiautomatico:

- Come è appena stato detto i tempi delle perdite di produzione vengono registrati in modo preciso al secondo e non in modo approssimativo;
- È possibile gestire il flusso di informazioni senza l'utilizzo di documenti cartacei, che portano soltanto a delle inefficienze. Infatti i dati vengono raccolti (e verranno anche elaborati) sul gestionale *ERP*;
- Non sarà più necessario inserire i dati raccolti in fogli di calcolo Excel. Ciò fa risparmiare innumerevoli ore di lavoro al personale addetto, che puoi utilizzarle in modo più produttivo;
- In qualsiasi momento sarà possibile avere gli output di produzione e le cause delle perdite di produzione in tempo reale;
- Il sistema di raccolta dati semi-automatico “obbliga” l'operatore a registrare la causale di un fermo macchina alla ripartenza. Nel sistema manuale invece questi vengono segnati spesso a posteriori, rischiando di perdere precisione nella raccolta dati;
- La possibilità di avere dei dati non affidabili si riduce. Tuttavia va detto che, a differenza di un sistema di raccolta dati completamente automatico, tale possibilità rimane sempre dal momento che l'errore umano non è mai totalmente evitabile;
- Le innumerevoli informazioni raccolte e il coinvolgimento del personale potrà facilitare l'avviamento di procedure proattive di riparazione e di manutenzione preventiva.

Durante l'implementazione e le prime analisi del sistema di raccolta dati semi-automatico sono state riscontrate delle problematiche, che possono essere così riassunte:

- La formazione agli operatori di linea per implementare tale sistema di raccolta dati è durato molto più del previsto. Il personale più anziano inoltre ha mostrato diverse difficoltà nell'utilizzo del computer;
- Il passaggio da un sistema di raccolta dati all'altro non è istantaneo: nella transizione gli operatori si sono trovati dunque a dover raccogliere contemporaneamente i dati su due sistemi di raccolta dati. Questo ha sovraccaricato di lavoro gli operatori, rendendo più lenta la transizione. Per ovviare a tale problema è stato deciso di implementare inizialmente tale sistema di raccolta dati solamente sulla linea 17, dove i ritmi di lavoro sono di norma più tranquilli;
- Quando le macchine formatrici perdevano la connessione alla rete, si verificavano degli errori nella raccolta dati. Per ovviare a questo problema è stato deciso di implementare dei database locali nelle formatrici per non perdere informazioni qualora si verificassero dei problemi di rete;
- Dalle prime analisi dei dati raccolti si è notata la difficoltà, da parte degli operatori, di ricordarsi di fare il *set-up* dal pc di bordo linea subito dopo la fine della produzione precedente. Per ovviare a questi buchi temporali nella raccolta dati, è stato modificato il sistema in modo che vada a prendersi automaticamente l'inizio del *set-up* alla fine della produzione precedente.

Va detto che, nonostante il passaggio ad un sistema di raccolta semi-automatico, rimangono i problemi riguardanti le perdite di prestazione e di qualità. Per quanto riguarda le velocità massime di produzione, queste andrebbero ben definite, in modo

che non si possano mai verificare degli incrementi di velocità. Per quanto riguarda il calcolo della percentuale degli scarti invece andrebbero presi in considerazione tutti i chili di produzione realizzati e non soltanto quelli conformi che vengono poi venduti ai clienti. Inoltre le percentuali di scarti andrebbero imputate alle rispettive produzioni in modo da poter fare delle valutazioni tra la relazione degli indici di disponibilità, di prestazione e di qualità. Per concludere si vuole evidenziare il fatto che, anche con questo sistema di raccolta dati, per il calcolo della disponibilità delle linee vengono utilizzati solamente i dati raccolti in formatura. Quindi, come per il sistema manuale, i fermi in camera bianca e in cartonamento che non stoppano la produzione anche in formatura (grazie ai nastri d'accumulo) non vengono registrati e rimangono nascosti. Una soluzione a questo problema potrebbe essere l'impiego di una delle evoluzioni dell'OEE che si sono viste nel capitolo 2. Infatti si è visto la formulazione originale dell'OEE può essere criticata per il fatto che non sia adatta a valutare le prestazioni di un intero impianto produttivo, poiché l'interferenza tra le macchine è notevole e non trascurabile. Un indicatore capace di valutare l'efficacia di un'intera linea di produzione è l'OEEML, acronimo di *Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line* [40]. Il calcolo dell'OEEML si concentra sull'ultima macchina della linea di produzione (*last machine, LM*) e sul collo di bottiglia (*bottleneck, BN*), che in questo caso specifico può essere la confezionatrice in camera bianca o la fascettatura in cartonamento:

$$\begin{aligned}
 MML &= \frac{put}{put} \frac{co}{co} = \frac{put_{LM}}{put} \frac{co}{co} & (3.14) \\
 &= \frac{mp}{mp} \frac{pe}{di} \frac{pe}{pr} \frac{pe}{du} \frac{LM/}{dispo} \frac{mp}{bi} \frac{cycl}{/} \frac{LM}{mp} \frac{cycl}{cycl} \frac{LM}{BN} \\
 &= \frac{mp}{mp} \frac{cycl}{cycl} \frac{BN}{LM} \cdot LM
 \end{aligned}$$

In questo modo è possibile determinare l'efficacia dell'intero impianto produttivo valutando soltanto quella dell'ultima macchina e andando a correggerla del fattore  $\frac{ciclo_{BN}}{ciclo_{LM}}$  per tenere conto di tutti i fattori esterni alla macchina che influenzano le prestazioni dell'intera linea. Adottando questo indicatore risulterebbe anche più facile monitorare le perdite di prestazione.

# Bibliografia

- [1] «rivoluzione industriale nell'Enciclopedia Treccani».  
<https://www.treccani.it/enciclopedia/rivoluzione-industriale> (consultato mag. 25, 2021).
- [2] S. R. E. Katarzyna, «TAYLORISMO E FORDISMO: METODI CHE CAMBIARONO IL MONDO», *Medium*, dic. 14, 2017. <https://medium.com/ma-p-ga-va-zine/taylorismo-e-fordismo-metodi-che-cambiarono-il-mondo-69d99a471549> (consultato mag. 28, 2021).
- [3] «società postindustriale in “Enciclopedia dei ragazzi”».  
[https://www.treccani.it/enciclopedia/societa-postindustriale\\_\(Enciclopedia-dei-ragazzi\)](https://www.treccani.it/enciclopedia/societa-postindustriale_(Enciclopedia-dei-ragazzi)) (consultato mag. 28, 2021).
- [4] E. Di Rauso, «Taylorismo, fordismo e toyotismo: le tre più grandi rivoluzioni del lavoro», *CreaSud*, mag. 24, 2020. <https://creasud.it/2020/05/24/taylorismo-fordismo-toyotismo-grandi-rivoluzioni-lavoro/> (consultato mag. 31, 2021).
- [5] L. Zanotti, «Industria 4.0: storia, significato ed evoluzioni tecnologiche a vantaggio del business | Internet 4 Things».  
<https://www.internet4things.it/industry-4-0/industria-4-0-storia-significato-ed-evoluzioni-tecnologiche-a-vantaggio-del-business/> (consultato giu. 07, 2021).
- [6] M. Sai, «Industria 4.0: innovazione digitale e organizzazione del lavoro».
- [7] S. Garavaglia, «Internet of Things e Smart Factory: a che punto siamo?», *microingranaggi*, gen. 13, 2016. <https://www.microingranaggi.it/internet-of-things-smart-factory-punto/> (consultato giu. 07, 2021).
- [8] «Industria 4.0: cos'è, opportunità, consulenza e formazione», *Considi*.  
<https://www.considi.it/industria-4-0-cosa-e-opportunita-consulenza-analisi-formazione/> (consultato giu. 07, 2021).

- [9] Z. Badaraite, «Benvenuti nel futuro: l'Industria 4.0», *Engineering USA*.  
<https://www.engusa.com/it/posts/welcome-to-the-future-industry-4-0> (consultato giu. 07, 2021).
- [10] «Nel cuore dell' Industry 4.0: i Cyber-Physical Systems - Industria Italiana».  
<https://www.industriaitaliana.it/nel-cuore-dell-industry-4-0-i-cyber-physical-systems/> (consultato giu. 08, 2021).
- [11] A. Bonomi, *Le tecnologie di Industria 4.0 e le PMI*. IT: CNR IRCRES, 2018.  
 Consultato: giu. 08, 2021. [Online]. Disponibile su: <https://doi.org/10.23760/2421-7158.2018.004>
- [12] M. Calabro, «Piano nazionale Industria 4.0».
- [13] D. Carbone, «Integrazione verticale e orizzontale dei sistemi: cosa significa»,  
*NeXT | Software Solutions for Digital Projects and Smart Factory*, set. 11, 2018.  
<https://mynext.it/2018/09/integrazione-verticale-e-orizzontale-dei-sistemi-cosa-significa/> (consultato giu. 13, 2021).
- [14] «La servitizzazione come strumento di innovazione del business - Strategia & Controllo Srl».  
<https://www.strategiaecontrollo.com/it/servitizzazione-strumento-innovazione-del-business/> (consultato giu. 10, 2021).
- [15] J. Condemi, «Cos'è il Fog computing e quale ruolo ha nell'Internet of Things | Internet 4 Things».  
<https://www.internet4things.it/iot-library/cose-il-fog-computing-e-quale-ruolo-ha-nellinternet-of-things/> (consultato giu. 10, 2021).
- [16] «Cloud computing nell'Enciclopedia Treccani».  
<https://www.treccani.it/enciclopedia/cloud-computing/> (consultato giu. 10, 2021).
- [17] T. Pereira, L. Barreto, e A. Amaral, «Network and information security challenges within Industry 4.0 paradigm», *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pagg. 1253–1260, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.047.
- [18] «Sicurezza informatica: disponibilità, integrità, privacy dei dati», *ZeroUno*, feb. 08, 2021. <https://www.zerounoweb.it/analytics/data-management/sicurezza-informatica-cioe-disponibilita-integrita-e-riservatezza-dei-dati/> (consultato giu. 12, 2021).

- [19] Y. Demchenko, C. de Laat, e P. Membrey, «Defining architecture components of the Big Data Ecosystem», in *2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, Minneapolis, MN, USA, mag. 2014, pagg. 104–112. doi: 10.1109/CTS.2014.6867550.
- [20] L. Maci, «Che cos'è l'Industria 4.0 e perché è importante saperla affrontare | Economyup». <https://www.economyup.it/innovazione/cos-e-l-industria-40-e-perche-e-importante-saperla-affrontare/> (consultato giu. 07, 2021).
- [21] B. Weisz, «Il lavoro nella fabbrica digitale: ecco come sarà | Agenda Digitale». <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/il-lavoro-nella-fabbrica-digitale-ecco-come-sara/> (consultato giu. 16, 2021).
- [22] «MES Produzione - Industria 4.0», *Casali Computers Castelfidardo*, ago. 04, 2020. <https://www.casalicomputers.com/mes-produzione-industria-4-0> (consultato giu. 14, 2021).
- [23] V. Peressotti, «Software MES (Manufacturing Execution System): funzionalità, vantaggi e casi di successo», *Tecnest*, set. 23, 2015. <https://www.tecnest.it/it/software-mes-manufacturing-execution-system-funzionalit%C3%A0-vantaggi-e-casi-di-successo/1194> (consultato giu. 15, 2021).
- [24] J. Trout, «Total Productive Maintenance: An Overview | Reliable Plant». <https://www.reliableplant.com/Read/26210/tpm-lean-implement>
- [25] J. Venkatesh, «An Introduction to Total Productive Maintenance (TPM)». [http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm\\_intro.shtml](http://www.plant-maintenance.com/articles/tpm_intro.shtml) (consultato mar. 18, 2021).
- [26] P. Jonsson e M. Lesshammar, «Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE», *Int Jrnl of Op & Prod Mnagemnt*, vol. 19, n. 1, pagg. 55–78, gen. 1999, doi: 10.1108/01443579910244223.
- [27] R. Iannone e M. E. Nenni, «Managing OEE to Optimize Factory Performance», in *Operations Management*, M. Schiraldi, A c. di InTech, 2013. doi: 10.5772/55322.

- [28] Martin Lääts, «What Is OEE and How Does It Work? — Evocon». <https://evocon.com/kb/what-is-oee-and-how-does-it-work/> (consultato mar. 24, 2021).
- [29] C. Waddill, «The Importance of OEE in Manufacturing — Evocon». <https://evocon.com/kb/oee-in-manufacturing/#:~:text=By%20utilizing%20an%20OEE%20system,a%20positive%20effect%20or%20not.> (consultato mar. 24, 2021).
- [30] G. Lanza, J. Stoll, N. Stricker, S. Peters, e C. Lorenz, «Measuring Global Production Effectiveness», *Procedia CIRP*, vol. 7, pagg. 31–36, 2013, doi: 10.1016/j.procir.2013.05.006.
- [31] V. Trubaciute, «The Six Big Losses in Manufacturing — Evocon». <https://evocon.com/kb/the-six-big-losses-in-manufacturing/> (consultato apr. 06, 2021).
- [32] A. Trattner, L. Hvam, e A. Haug, «Why slow down? Factors affecting speed loss in process manufacturing», *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 106, n. 5–6, pagg. 2021–2034, gen. 2020, doi: 10.1007/s00170-019-04559-4.
- [33] «Pro.Lean\_White\_Paper\_Ita.pdf». Consultato: mag. 05, 2021. [Online]. Disponibile su: [https://www.progea.com/wp-content/uploads/2020/02/Pro.Lean\\_White\\_Paper\\_Ita.pdf](https://www.progea.com/wp-content/uploads/2020/02/Pro.Lean_White_Paper_Ita.pdf)
- [34] Panagiotis Tsarouhas, «Implementation of total productive maintenance in food industry: a case study», *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, vol. 13, n. 1, pagg. 5–18, gen. 2007, doi: 10.1108/13552510710735087.
- [35] M. P. Roessler e E. Abele, «Enhancement of the overall equipment effectiveness measure: a contribution for handling uncertainty in shop floor optimisation and production planning», *IJISE*, vol. 20, n. 2, pag. 141, 2015, doi: 10.1504/IJISE.2015.069545.
- [36] J. Finnerty, «Automated collection of real-time production data». <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/shopmanagement/automated-collection-of-real-time-production-data> (consultato giu. 18, 2021).



- [37] «I 10 vantaggi che otterrai dall'OEE - ECSA Soluzioni Industry 4.0».  
<https://www.ecsasolutions.it/i-10-vantaggi-che-otterrai-dalloee/#:~:text=L'OEE%20consente%20di%20prendere,il%20conseguente%20aumento%20dei%20profitti>. (consultato mag. 10, 2021).
- [38] M. Manna, «Un indice OEE per la stampa delle banconote in Banca d'Italia (An OEE index for the Bank of Italy's Banknote Production Plant) by Michele Manna :: SSRN». [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3827506](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3827506) (consultato mag. 10, 2021).
- [39] P. Muchiri e L. Pintelon, «Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion», *International Journal of Production Research*, vol. 46, n. 13, pagg. 3517–3535, lug. 2008, doi: 10.1080/00207540601142645.
- [40] M. Braglia, M. Frosolini, e F. Zammori, «Overall equipment effectiveness of a manufacturing line (OEEML)», *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 20, n. 1, pagg. 8–29, gen. 2009, doi: 10.1108/17410380910925389.
- [41] R. M. Nachiappan e N. Anantharaman, «Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system», *Jnl of Manu Tech Mnagmnt*, vol. 17, n. 7, pagg. 987–1008, ott. 2006, doi: 10.1108/17410380610688278.
- [42] A. J. deRon e J. E. Rooda, «Equipment Effectiveness: OEE Revisited», *IEEE Trans. Semicond. Manufact.*, vol. 18, n. 1, pagg. 190–196, feb. 2005, doi: 10.1109/TSM.2004.836657.
- [43] G. Lanza, J. Stoll, N. Stricker, S. Peters, e C. Lorenz, «Measuring Global Production Effectiveness», *Procedia CIRP*, vol. 7, pagg. 31–36, gen. 2013, doi: 10.1016/j.procir.2013.05.006.
- [44] «Bertagni». <http://www.labottegadiluigibertagni.com/storia> (consultato giu. 22, 2021).