

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale  
Percorso Logistica



Tesi di Laurea di II livello

**Progetto di rivisitazione e ottimizzazione di una linea di lavorazione  
tramite l'applicazione dei principi del WCM e l'utilizzo di un simulatore:**

**il caso della linea dei semiassi  
dello stabilimento FPT Industrial Driveline di Torino**

Relatore:

Prof.ssa Arianna Alfieri  
Prof.ssa Erica Pastore

Candidato:

Lorenzo Mazzone

Anno Accademico 2022/2023

1. Introduzione.....	2
2. FPT Industrial .....	3
2.1. Lo stabilimento torinese .....	4
2.1.1. I prodotti offerti e i principali clienti .....	4
2.1.2. Il layout dello stabilimento Driveline: le varie UTE e le loro funzioni .....	8
3. Il World Class Manufacturing .....	14
3.1. Il tempio del WCM e i suoi pilastri .....	15
3.1.1. I pilastri manageriali .....	16
3.1.2. I pilastri tecnici .....	18
3.2. Il WCM in FPT Industrial .....	26
3.2.1. Le tecniche del FAPS.....	27
3.2.2. Gli Audit.....	34
4. Simulazione del funzionamento di una linea di produzione .....	36
4.1 I principi teorici della simulazione .....	38
4.1.1 Le fasi di un progetto di simulazione .....	40
4.2 L'area pilota: la linea dei semiassi.....	42
4.3 Il progetto di rivisitazione della linea dei semiassi.....	47
4.3.1 La struttura del modello .....	49
4.3.2 La raccolta dei dati relativi ai tempi di processo.....	52
4.3.3 L'analisi della domanda.....	55
5. Analisi dei risultati.....	67
5.1 Scenario 1 .....	68
5.2 Scenario 2.....	70
5.3 Scenario 3.....	73
5.4 Conclusioni.....	77
Bibliografia e sitografia.....	78
Ringraziamenti.....	80

## 1. Introduzione

L'idea relativa al lavoro di ricerca qui esposto nasce dall'esperienza di tirocinio svoltosi presso il complesso torinese dell'azienda FPT (Fiat Powertrain Technologies) Industrial, una delle aziende facenti ad oggi parte di Iveco Group. Durante i mesi trascorsi all'interno di tale plant vi è stata la possibilità di comprendere e vivere direttamente le criticità che possono insorgere laddove una linea produttiva non riesca più a dare l'apporto per il quale è stata progettata: per tamponare tali difficoltà si tende a ricorrere ad aiuti esterni, ovvero fornitori che si prestano a realizzare specifiche fasi che compongono la lavorazione di un particolare o in alternativa la lavorazione completa.

In uno scenario di mercato in cui la domanda nel settore automotive non ha subito decrescite sostanziali o addirittura è destinata ad incrementare, tentare di soddisfare tali richieste facendo uso di attrezzature sempre meno performanti diventa particolarmente complesso, soprattutto nel caso in cui si tratti di macchinari che prevedono la lavorazione di diversi prodotti. Nel concreto, questo porta a sviluppare dei lotti di lavorazione di dimensione sempre più distante da quella ottima, con l'intento di non accumulare troppi ritardi nei confronti del cliente, ma portando al tempo stesso a sostanziali perdite in termini di produttività. L'esternalizzazione delle lavorazioni comporta chiaramente dei costi, motivo per cui sarà necessario comprendere se i benefici che derivano dal guadagno di capacità produttiva per effetto dell'eliminazione di un codice dal mix di produzione, perlomeno coprono i costi che bisognerà sostenere per la lavorazione dello stesso codice presso terzi.

A valle di uno studio approfondito di una delle linee di produzione, si è deciso di realizzare un simulatore che permettesse di comprendere quale fosse l'output di tale linea in termini di prestazioni ed efficienza. Lo scopo di questa analisi sarà quello di comprendere in che modo sarà necessario agire per massimizzare l'efficienza di tale linea produttiva. Ciò significa individuare il mix corretto di codici la cui lavorazione dovrà avvenire su tale linea e al tempo stesso quali codici dovranno essere soggetti a lavorazioni esterne.

Entrando più nello specifico, la trattazione verrà sviluppata su tre macro-argomenti. Si partirà da una descrizione dell'azienda, spaziando dai prodotti realizzati e dai clienti ad oggi serviti, per poi arrivare ad una descrizione più specifica della struttura del plant presso il quale è stata condotta l'analisi. Nelle fasi successive della trattazione verrà poi proposta una descrizione maggiormente dettagliata della linea produttiva d'interesse, fondamentale per una più facile comprensione del funzionamento del simulatore.

Seguirà una descrizione delle pratiche del WCM (World Class Manufacturing), il cui focus sul miglioramento continuo, sulla ricerca di una sempre maggiore efficienza produttiva e sulla minimizzazione dei costi sono stati fonte di ispirazione per lo sviluppo di tale analisi. A seguito di una descrizione dei principi cardine del WCM, si passerà a descrivere come questi sono stati applicati nella realtà del plant produttivo di interesse, ponendo l'attenzione su quegli aspetti che più risulteranno essere coerenti con lo scopo finale della ricerca.

Infine, verrà descritto il simulatore realizzato, ponendo l'attenzione sui principali moduli utilizzati in fase di programmazione e sulle semplificazioni e assunzioni che sono state effettuate, includendo un'apposita sezione dedicata all'analisi della domanda, principale dato in input del simulatore stesso. Verranno analizzati gli output della simulazione della linea produttiva nei vari scenari, individuando infine quali azioni correttive sarà necessario intraprendere per ottenere una maggiore efficienza ed una riduzione dei costi di produzione.

## 2. FPT Industrial

# I V E C O • G R O U P

Figura 1. Iveco Group

In corrispondenza dell'inizio del 2022 nasce ufficialmente Iveco Group, creatosi in seguito alla scissione dal gruppo CNH di alcune delle aziende che fino a quel momento ne facevano parte. Le aziende che ad oggi fanno parte di Iveco Group sono le seguenti:

- i. Iveco Capital, provvede alle esigenze finanziarie, di assistenza e consulenza per ciò che concerne la vendita, l'acquisto o l'utilizzo di veicoli commerciali, bus, veicoli speciali (nuovi o usati) nonché dei relativi motori, servizi di manutenzione e parti di ricambio;
- ii. Heuliez, azienda francese specializzata nel design, nella produzione e nella commercializzazione di bus elettrici;
- iii. Iveco Bus, brand specializzato nella realizzazione di mezzi per trasporto passeggeri e ad oggi altamente concentrato sul concetto di mobilità sostenibile, sicura ed efficiente;
- iv. Iveco, marchio specializzato nella produzione di veicoli commerciali (leggeri, medi e pesanti);
- v. FPT Industrial, che si occupa della progettazione e produzione di sistemi di propulsione per applicazioni on-road e off-road, marine e di power generation;
- vi. Iveco Defence Vehicles, fornisce mezzi di trasporto destinati alla difesa e alla protezione civile;
- vii. Astra, si occupa della produzione di veicoli da costruzione e da movimento su terra, sia per impiego civile che per impiego militare;
- viii. Magirus GmbH, interamente dedicato alla realizzazione di veicoli antincendio.



Figura 2. I brand di Iveco Group

Entrando più nello specifico di quella che è la realtà di FPT Industrial, questa impiega ad oggi nel mondo più di 8.000 persone in dieci stabilimenti e sette Centri di Ricerca & Sviluppo. La rete di vendita di FPT Industrial è formata da 73 concessionari e da circa 800 centri di assistenza in quasi 100 Paesi. La gamma di prodotti offerti è estremamente ampia, in quanto va ad includere sei famiglie di motori con una potenza da 42 a 1.006 cavalli, trasmissioni con coppia massima da 200 a 500 Nm, assali anteriori e posteriori da 2 a 32 tonnellate. In aggiunta a ciò, FPT Industrial vanta di una vasta gamma di motori a gas naturale per applicazioni industriali, coprendo un intervallo di potenze da 50 a 460 cavalli. Questa offerta, unita alla grande attenzione alle attività di Ricerca & Sviluppo, rende FPT Industrial uno dei principali protagonisti a livello mondiale nel settore dei motori per uso industriale.

La mission di FPT Industrial è diventare un leader tecnologico in tutti i settori legati ai sistemi di propulsione industriali per mezzo dell'innovazione, eccellenza dei prodotti e miglioramento continuo. Nel tentativo di realizzare tale missione, si sta gradualmente cercando di implementare un processo di crescita sostenibile, fondato sul rispetto dell'ambiente e sull'impegno nei confronti del benessere sociale dei dipendenti e più in generale delle intere comunità in cui tale azienda opera.

## 2.1. Lo stabilimento torinese

La ricerca che verrà qui esposta è stata condotta all'interno del plant torinese di FPT Industrial, il quale risulta essere a sua volta suddiviso in tre macroaree: la prima è dedicata alla realizzazione dei cambi, la seconda ai motori (Engines) e, infine, l'ultima e anche quella presso la quale il sottoscritto ha potuto svolgere il lavoro di ricerca è specializzata nella realizzazione di ponti e assali per mezzi leggeri, medi e pesanti (Driveline).

### 2.1.1. I prodotti offerti e i principali clienti

Prima di entrare nello specifico di quella che è la realtà della sezione Driveline dello stabilimento torinese, è necessario andare a identificare quali siano le categorie di prodotto offerte, per cosa si distinguono e chi sono i clienti che alimentano il business di tale divisione.

Come già anticipato, presso tale plant ci occupa della produzione di assali anteriori (front axles) e assali posteriori (rear axles, detti comunemente ponti). Questi si distinguono in quanto, i primi vengono associati alle ruote anteriori e che garantiscono la sterzata, mentre i secondi vengono associati alle ruote posteriori, ovvero quelle che garantiscono l'avanzamento del veicolo (ruote motrici). Caso particolare è invece quello dei cosiddetti Motoassali, ovvero assali anteriori utilizzati sui mezzi pesanti associati, diversamente da quanto invece capita per i classici assali anteriori, anch'essi a ruote motrici. La specificità di alcuni componenti utilizzati per il montaggio di un determinato ponte o assale porta alla creazione di una vasta gamma di famiglie di prodotto che, seppur presentando sottili differenze tra di loro, concorrono alla realizzazione dei numerosissimi mezzi di trasporto marchiati Iveco.

Si deduce quindi che i principali clienti del plant torinese Driveline di FPT Industrial sono direttamente parte del gruppo Iveco, e per questo motivo definiti clienti Captive.

Entrando più nello specifico, gli stabilimenti di Suzzara (Lombardia) e Valladolid (Spagna) sono i principali acquirenti di ponti per mezzi leggeri, primo fra tutti il famoso Iveco Daily.



*Figura 3. Iveco Daily*

In aggiunta al modello base, ovvero quello rappresentato in Figura 5, esistono diverse configurazioni per questo mezzo di trasporto e di conseguenza diverse soluzioni possibili in termini di ponti che possono essere montati. La prima famiglia di ponti associabile a tale

modello è quella denominata NDA, acronimo per New Daily Axle, a sua volta composta da due diverse configurazioni:

- i. NDA a ruota singola
- ii. NDA a ruota gemellata

La sostanziale differenza consiste, come si evince dal nome, nel numero di ruote che possono essere associate a ciascuna estremità del ponte.

A seguire, è possibile trovare il ponte 4511 o comunemente detto HD (Heavy Duty), che non è altro che una versione rinforzata del ponte NDA a ruota gemellata, e quindi montato su quelle versioni dell'Iveco Daily che presentano una portata maggiore. In merito a questa famiglia di ponti, è doveroso effettuare una distinzione: alcuni di questi ponti vengono realizzati in modo da essere compatibili con la presenza del blocco differenziale, e per questo sono riconosciuti come ponti 4511 (HD) BD. La tecnologia del blocco differenziale viene principalmente utilizzata per veicoli destinati a viaggiare su superfici molto scivolose, in quanto il suo funzionamento ha essenzialmente lo scopo di riequilibrare la velocità a cui girano le ruote posteriori, o meglio garantire che queste vadano a muoversi alla stessa velocità fornendo così al veicolo una maggiore trazione.

Ultima famiglia, o meglio sottofamiglia, di ponti d'interesse per i plant di Suzzara e Valladolid è quella degli SPR (Standard Product Range) 4517/2, ovvero ponti realizzati appositamente per versioni dell'Iveco Daily con portata ancora maggiore di quelli su cui vengono montati i ponti 4511. Si noti bene che, anche per tutti i ponti della famiglia SPR esistono sia versioni base che versioni BD.

Tra gli altri clienti italiani, ritroviamo anche il plant localizzato nella città di Brescia, per il quale vi è un'ampia gamma di prodotti offerti dallo stabilimento torinese FPT, principalmente destinati alla gamma Iveco Eurocargo. In questo caso la fornitura include, oltre agli assali posteriori, anche gli assali anteriori. Peculiarità dello stabilimento di Brescia è l'utilizzo del modello 4517/3 della famiglia SPR, versione utilizzata per i modelli di tipo off-road dell'Iveco Daily, e di conseguenza realizzati facendo uso di componenti di robustezza e dimensioni maggiori rispetto alla media che caratterizza tale famiglia di prodotto: si tratta di un prodotto molto particolare e utilizzato in contesti specifici, motivo per cui la domanda che lo caratterizza è decisamente più bassa rispetto alle altre tipologie di ponti.

Sempre per lo stabilimento di Brescia, vengono realizzate le altre due sottofamiglie di ponti SPR, rispettivamente denominate 4517 e 4521: si tratta di ponti che non presentano sostanziali differenze tra di loro, se non la portata massima che possono avere i veicoli su cui vengono montati. In aggiunta ai ponti appena citati, vengono richiesti sempre dallo stabilimento bresciano i rispettivi assali anteriori, i quali sono parte della famiglia degli assali leggeri. Tali prodotti sono appositamente realizzati per i modelli base della gamma Iveco Eurocargo.



*Figura 4. Iveco Eurocargo*

Come si può osservare dall'immagine, si tratta nuovamente di ponti esclusivamente associati a ruote gemellate e per i quali è richiesto il sostegno di un peso maggiore di quello osservabile nel caso precedentemente analizzato dell'Iveco Daily. Rimanendo nell'ambito della gamma Iveco Eurocargo, è possibile configurare modelli a portate decisamente maggiori e in aggiunta utilizzabili in contesti ben più particolari e complessi del classico utilizzo on-road. Entrando più nello specifico, lo stabilimento di Brescia richiede assali anteriori medi, ottimizzati, pesanti nonché alcune tipologie di Motoassali, ciascuno dei quali verrà montato su specifiche versioni della gamma Eurocargo. La particolarità di questi mezzi di trasporto è che montano ponti che non vengono interamente realizzati nel plant FPT: un'azienda terza di origine statunitense e specializzata nella produzione di componentistica per il settore automotive, si occupa della fornitura di quelli che vengono definiti "ponti semi-incompleti", in quanto richiederanno soltanto l'assemblaggio di alcuni semplici componenti prima di poter essere spediti al cliente. A ciascuna tipologia di assale è associato uno specifico ponte semi-incompleto.

A seguire, troviamo lo stabilimento di Madrid, interamente dedicato alla realizzazione dei mezzi pesanti, sia on-road che off-road, con modelli che variano dalle due alle otto ruote motrici, che tradotto in termini di prodotti forniti da FPT Industrial significa dai due ai quattro assali. Nei casi di veicoli con più di due ruote motrici, sarà richiesta la presenza del Motoassale.

Nel caso dei veicoli on-road, si fa riferimento alla gamma Iveco Stralis o S-Way. Per i modelli di questa gamma, gli assali posteriori sono in parte forniti dall'azienda precedentemente citata e in parte realizzati internamente allo stabilimento FPT Industrial.





*Figura 5. Iveco S-Way*

Per quel che riguarda, invece, i mezzi di trasporto off-road, si fa riferimento alla gamma Iveco Trakker o T-way, la cui configurazione e le condizioni nelle quali viene utilizzato richiedono l'apporto di assali specifici.



*Figura 6. Iveco T-Way*

Ultima, ma non meno importante, delle tipologie di veicoli d'interesse dello stabilimento di Madrid è la gamma X-Way, che potrebbe essere considerata una soluzione intermedia tra le due sopra esposte, in quanto rientra nella categoria dei mezzi light off-road. Differenza sostanziale dalla gamma T-Way, che si ripercuote anche sulle diverse tipologie di assali, è il sistema frenante: trattandosi di mezzi a portata minore, si fa uso di un classico freno a disco piuttosto che del freno a tamburo, al contrario utilizzato sugli assali montati sui veicoli della gamma T-Way.

Ultimo cliente, ma non per questo meno degno di nota, è l'azienda Astra, anch'essa, come accennato precedentemente, interna ad Iveco Group. Si tratta di un marchio specializzato nella realizzazione di mezzi per utilizzo off-road, sia civile che militare, e che va ad alimentare, dal punto di vista FPT, la richiesta di assali pesanti, chiaramente sia anteriori che posteriori. Anche in questo caso si passa veicoli a due ruote motrici fino ad arrivare a veicoli a otto ruote motrici.





Figura 7. Astra HHD9 Rigid

Citando nuovamente gli stabilimenti di Suzzara e Valladolid, oltre ad assali anteriori e posteriori questi vanno a richiedere cambi (esclusivamente manuali e a sei marce) da montare sui veicoli Iveco Daily. Lo stabilimento in cui vengono realizzati i cambi si trova esattamente accanto allo stabilimento dedicato alla produzione degli assali. A partire dal 2021, presso lo stabilimento dei cambi, è stata inoltre creata un'apposita area per la realizzazione di front axles e rear axles del modello Levante della casa Maserati.

Come tutte le grandi aziende operanti nel settore automotive, anche Iveco Group sta portando avanti progetti innovativi per la realizzazione di veicoli elettrici, a sostegno dell'interesse per temi quali la sostenibilità e gli impatti ambientali. Chiaramente, l'introduzione di tali veicoli ha avuto ripercussioni anche dal punto di vista dell'organizzazione e del layout dello stabilimento torinese, presso il quale è stato necessario allestire apposite aree dedicate alla realizzazione dei ponti della gamma full electric Iveco Daily.

Tra le novità dell'ultimo anno, va sicuramente ricordato quello che è il frutto dell'accordo che è stato stipulato tra Iveco (allora ancora facente parte del gruppo CNH Industrial insieme alla stessa FPT Industrial) e Nikola Corporation: le due imprese si sono impegnate a collaborare nella realizzazione di un modello di veicoli pesanti interamente elettrici, con lo scopo ultimo di offrire una soluzione di trasporto a lungo raggio a emissioni zero e ad elevate prestazioni. Nello specifico, si tratta del modello Nikola Tre, il cui design è ispirato alla versione base dell'Iveco S-Way, il quale verrà realizzato con assale anteriore standard e assale posteriore elettrico, entrambi commissionati allo stabilimento torinese FPT Industrial. Particolarmente interessante tra i due è l'assale posteriore, la cui dimensione rispetto a quella di un ponte di un generico mezzo pesante è di gran lunga maggiore: all'interno del blocco centrale del ponte è stato infatti creato lo spazio per l'inserimento delle batterie di ricarica, le quali, dovendo alimentare un mezzo di trasporto di dimensioni e peso non indifferenti per tragitti particolarmente lunghi, richiederanno un volume notevole.

### 2.1.2. Il layout dello stabilimento Driveline: le varie UTE e le loro funzioni

È possibile andare a descrivere lo stabilimento Driveline partendo dalla suddivisione nelle varie UTE (Unità Tecnologica Elementare), la quale è da intendersi come un complesso di diverse linee o isole di produzione. Necessario innanzitutto andare a distinguere le UTE di lavorazione dalle UTE di montaggio: nelle prime avviene la lavorazione della materia prima

nonché l'assemblaggio dei primi semilavorati; nell'altra tipologia di UTE, invece, vengono composti i ponti o assali finiti a partire dai semilavorati resi disponibili dai reparti di lavorazione.

Ad oggi, si possono identificare un totale di otto UTE, di cui cinque dedicate alla lavorazione e tre al montaggio.

La denominazione delle varie UTE segue un ordine numerico ma che risulta essere totalmente casuale.

La UTE 1 è proprio il reparto di lavorazione a partire dal quale il sottoscritto ha deciso di impostare la propria analisi: si compone della linea di lavorazione dei semiassi, per la quale seguirà una dettagliata descrizione, e dell'isola di lavorazione dei mozzi ruota per i ponti NDA a ruota gemellata e HD. Quest'ultima è composta da due centri di lavoro, il primo dedicato alla tornitura e il secondo alla foratura.

Procedendo con la UTE 2, questa risulta essere ricca di diverse linee e isole di lavorazione. Localizzata nei pressi della linea dei semiassi è una delle linee di lavorazione dei fusi (ossia componenti la cui funzione è quella di garantire la sterzata delle ruote) presenti all'interno dello stabilimento, interamente dedicata ai fusi per Motoassali: questa si compone di quattro macchinari, i quali garantiscono elevata flessibilità data la possibilità di lavorare particolari diversi su ciascuna di queste in funzione delle esigenze specifiche del momento.

A seguire è possibile individuare l'isola dedicata alla lavorazione dei blocchi centrali (detti corpi scatola) dei ponti per mezzi pesanti: data la dimensione e la portata dei veicoli su cui viene montata questa tipologia di ponti, questi vengono realizzati partendo da un unico blocco in ghisa di dimensioni e peso non indifferenti (possono superare i 150 kg l'uno). Tale isola si compone di tre macchinari, ciascuna delle quali può essere dedicata ad uno specifico corpo scatola, la cui lavorazione consiste essenzialmente nella fresatura delle due estremità e nella realizzazione di una serie di fori in corrispondenza delle stesse.

Si può quindi proseguire con la descrizione dell'area dedicata alla lavorazione delle semiscatole differenziali. Per quel che riguarda la lavorazione delle semiscatole per ponti NDA, essendo questi quelli caratterizzati da volumi decisamente maggiori, è stata installata un'apposita linea di lavorazione, composta di tre macrofasi per ognuna delle quali è presente un apposito macchinario: la prima fase consiste in una tornitura di sgrossatura, che verrà seguita da una tornitura più specifica e infine da una fase di foratura. Per questo particolare tipo di prodotto, si sta sviluppando un progetto di installazione di una seconda linea di lavorazione, con l'intento di eliminare il supporto di fornitori esterni sui quali ci si appoggia per integrare la quota parte di volume giornaliero richiesto dalle linee di montaggio che attualmente la UTE di lavorazione non riesce a garantire. L'area di lavorazione delle semiscatole consta della presenza di una seconda linea dedicata alla lavorazione di due tipologie di semiscatole per ponti per mezzi pesanti. Per quel che riguarda le altre famiglie di rear axles, le semiscatole sono al momento interamente gestite tramite lavorazioni esterne e quindi etichettate come buy strutturali.

Individuiamo poi, l'isola dedicata alla lavorazione di tutte le tipologie di leve (componenti associati ai rispettivi fusi sempre con lo scopo di garantire la sterzata dei veicoli): si possono individuare quattro macchinari identici tra di loro e un quinto macchinario di più recente installazione e caratterizzato da una capacità produttiva maggiore. Proprio per questo motivo, tale macchinario è stato progettato per poter realizzare la lavorazione delle leve che andranno montate sugli assali caratterizzati da maggior richiesta. La lavorazione delle leve consiste essenzialmente in una fresatura seguita dalla realizzazione dei fori tramite i quali avverrà il fissaggio al fuso. Ciascuna di queste macchine è composta di due pallet, ciascuno dei quali presenta supporto per quattro leve: nel momento in cui uno dei due pallet è busy, ovvero sta procedendo alla lavorazione delle quattro leve su di esso montate, l'altro è idle e

quindi sottoposto all'attenzione dell'operatore che si occuperà di scaricare le leve già lavorate e caricare nuove leve grezze da lavorare. Si noti che ciascun pallet può essere utilizzato per la lavorazione di quattro leve a T (ovvero le leve direttamente collegate allo sterzo del veicolo) o di due coppie di leve laterali (due leve sinistre e due leve destre). Lavorazione effettuata separatamente e su un apposito macchinario è quella delle leve per i Motoassali.

Parallelamente all'isola delle leve è possibile individuare la linea di lavorazione dei cosiddetti coperchi, componenti che vanno ad integrarsi con i corpi scatola dei ponti per mezzi pesanti. Tale linea è adibita alla lavorazione di due tipologie di codici, uno per ciascuna delle due semiscatole dei ponti per mezzi pesanti. La linea garantisce un output tale da permettere di accumulare una scorta sufficiente del codice ad alta rotazione per poter lavorare un lotto piuttosto consistente del codice soggetto invece a minor richiesta: ciò comporta sicuramente una generica riduzione dei tempi di set up.

Per concludere la descrizione della UTE 2 è necessario citare altre tre isole produttive, di cui una dedicata alla lavorazione di componenti per Motoassali, le altre due invece dedicate a due diverse tipologie di prodotti per assali posteriori pesanti.

Passando alla descrizione della UTE 3, questa essenzialmente gestisce la lavorazione di due macrocategorie di prodotto, ovvero i bracci e le scatole per ponti.

Per quel che riguarda i bracci, vi sono tre diverse linee di lavorazione:

- i. Linea interamente dedicata alla lavorazione dei bracci per ponti NDA a ruota singola;
- ii. Linea dedicata alla lavorazione dei bracci per ponti NDA a ruota gemellata e dei bracci per ponti HD;
- iii. Linea dedicata alla lavorazione di tutti i bracci per ponti SPR.

Su quest'ultima linea verranno quindi lavorati in alternanza e in maniera funzionale alle richieste lato cliente i bracci per i ponti SPR 4517/2, SPR 4517 e SPR 4521 (per questi due ponti vengono utilizzati gli stessi bracci), e infine SPR 4517/3. In linea di massima, nonostante queste varie tipologie di prodotti vengano lavorati su linee diverse, le operazioni alle quali questi sono sottoposti sono le stesse: viene realizzata una prima tornitura, volta a garantire l'inserimento del braccio in un'apposita flangia con conseguente saldatura dei due componenti. Ad eccezione della linea dei bracci per ponti SPR, una delle macchine che compongono la linea è dedicata alla realizzazione fori sulla flangia, utilizzati per fissare il braccio al mozzo, nel caso dei ponti a ruote gemellate, o direttamente al semiasse, nel caso dei ponti a ruota singola.

Sempre per quel che riguarda la produzione della UTE 3, vi sono tre apposite isole dedicate alla lavorazione delle scatole per ponti NDA, HD e SPR: nel primo caso, l'isola è composta di cinque macchinari; nel secondo caso si contano due macchinari, di cui uno può eventualmente essere utilizzato per la lavorazione di scatole NDA (questo accade laddove si verificano guasti su uno dei macchinari dell'isola NDA o laddove sia stata accumulata una buona scorta di materiale finito da utilizzare per i ponti HD); infine, l'isola dedicata alla lavorazione di scatole per ponti SPR è composta di tre macchinari. Tutti questi macchinari svolgono le stesse operazioni, ovvero una fresatura della base della scatola grezza e l'applicazione di cappelli e viti. Sono presenti, inoltre, appositi macchinari che realizzano il "piantaggio" dei due bracci alla scatola del ponte: vi è un macchinario interamente dedicato alla linea SPR, uno interamente dedicato alla linea NDA a ruota singola e, infine, uno dedicato sia alla linea NDA a ruota gemellata che alla linea HD.

Per ultimare la descrizione della UTE 3 è necessario citare la presenza dei tre impianti di saldatura, utilizzati per l'applicazione dei supporti ai bracci dei diversi ponti.

La UTE 5, invece, è adibita alla lavorazione di quattro macrocategorie di prodotti, ovvero i corpi assale, i fusi, i perni fuso e i mozzi. La lavorazione dei corpi assale avviene su due

macchinari, uno dedicato alla lavorazione dei corpi assale pesanti e uno alla lavorazione dei corpi assale medi: entrambi i macchinari si compongono di tre moduli, ovvero permettono la lavorazione contemporanea di tre pezzi, i quali potranno essere identici tra di loro o eventualmente tre codici diversi; il secondo macchinario garantisce una capacità produttiva maggiore rispetto a quella offerta dai tre moduli dedicati alla lavorazione dei corpi assale pesanti. Non è da escludere la possibilità di prevedere la lavorazione di corpi assale pesanti sul macchinario adibito alla lavorazione dei corpi assale medi: ciò garantisce una maggiore flessibilità, soprattutto in virtù del fatto che i volumi richiesti quotidianamente dalle linee di montaggio sono decisamente maggiori sugli assali pesanti piuttosto che sugli assali medi. Discorso a sé è invece quello degli assali leggeri e ottimizzati: i primi vengono forniti già lavorati, i secondi, al contrario vengono forniti sottoforma di materiale grezzo per essere poi lavorati presso un fornitore esterno. La lavorazione di questi particolari consiste essenzialmente nella realizzazione di fori su ciascuna delle estremità, utili per garantire, tramite l'inserimento di appositi perni, l'accoppiamento con i rispettivi fusi. Per quel che riguarda la lavorazione dei fusi, sono state predisposte tre diverse linee, di cui una interamente dedicata ai fusi per assali pesanti, una ai fusi per assali medi e infine l'ultima ai fusi per assali leggeri. Se da un lato, la linea dei fusi per assali medi è adibita alla lavorazione di un solo codice, la linea dei fusi per assali pesanti prevede l'alternanza di due codici diversi, esattamente come l'ultima delle tre linee sulla quale potrà avvenire sia la lavorazione dei fusi per assali leggeri che quella dei fusi per assali ottimizzati. Quest'ultimo prodotto è caratterizzato da un ciclo di lavorazione piuttosto complesso: subisce una prima lavorazione presso un fornitore esterno e, dopo essere rientrato presso lo stabilimento torinese per la fase di rullatura, vengono rispediti presso lo stesso fornitore per le fasi finali della lavorazione. Per la lavorazione dei mozzi ruota sono state installate due isole: la prima interamente dedicata alla lavorazione dei mozzi per assali pesanti; la seconda, invece, è stata progettata per alternare la lavorazione di mozzi per ponti SPR (4517/2, 4517 e 4521), mozzi per assali ottimizzati e assali leggeri. Completa la panoramica delle UTE di lavorazione la UTE 7, dedicata alla lavorazione delle coppie coniche e dei pignoni, particolari che esulano dalla gestione del sottoscritto e per i quali non si è al momento presentata l'occasione di studiarne i cicli produttivi. Assolutamente degna di nota è, però, l'isola interamente dedicata alla lavorazione dei fusi montati sui ponti destinati alla realizzazione della gamma Iveco Stralis: tale isola si compone di quattro macchinari di più recente installazione, investimento deciso per scindere la lavorazione di questi particolari caratterizzati da elevatissima domanda da quelle degli altri fusi invece lavorati sulla linea dei fusi pesanti.

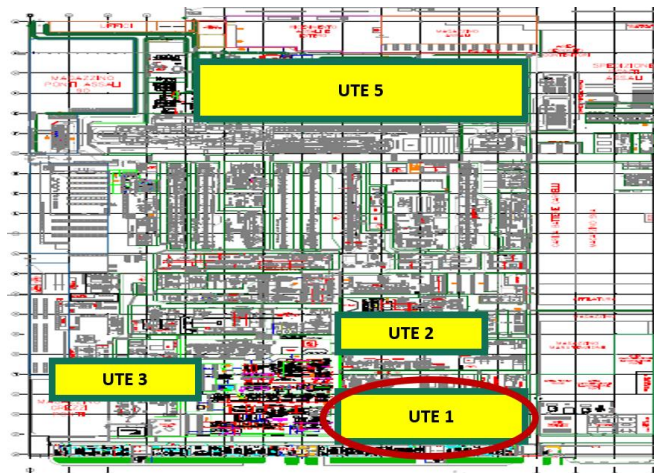


Figura 8. Layout UTE di lavorazione

In Figura 11 è possibile osservare la disposizione, in linea generale, delle diverse UTE di lavorazione di maggior interesse per il sottoscritto. La UTE 1 è stata appositamente cerchiata, ad indicare che sarà proprio da tale unità che verrà sviluppata la ricerca.

L'area centrale presente nella mappa, apparentemente vuota, è invece occupata dalle tre UTE di montaggio, disposte una adiacente all'altra secondo il seguente ordine (partendo dalla destra della mappa per procedere verso la sinistra):

- i. UTE 8 → montaggio di Motoassali e Ponti per mezzi pesanti;
- ii. UTE 9 → montaggio di Ponti NDA, Ponti SPR, Ponti HD, Assali Leggeri, Assali Medi e Assali Ottimizzati;
- iii. UTE 10 → montaggio di Assali Pesanti e Ponti per mezzi pesanti.

La frequentazione costante dello stabilimento da parte del sottoscritto ha permesso di apprendere come la disposizione delle UTE di lavorazione e di quelle di montaggio sia congeniale ad un trasferimento efficiente di componenti lavorati alle rispettive linee di montaggio con l'obiettivo di minimizzare gli spazi percorsi.

La UTE 8 si compone di due linee, di cui la prima dedicata esclusivamente alla realizzazione di Motoassali e la seconda a quella degli assali posteriori per mezzi pesanti. La UTE 9, invece, si compone di tre linee, di cui due dedicate al montaggio dei ponti e la terza agli assali. Delle prime due, una è interamente dedicata alla famiglia NDA, e prevede una produzione in media equamente suddivisa tra ponti NDA a ruota gemellata e ponti NDA a ruota singola. La seconda, invece, prevede l'alternanza di ponti SPR e ponti HD: mediamente, soltanto il 33% dell'output giornaliero di tale linea è rappresentato dalla famiglia HD, tutta la quota restante è detenuta dalle varie sottofamiglie SPR. La terza e ultima linea che compone tale UTE è quella dedicata appunto al montaggio di tre delle quattro famiglie di assali: per questa linea viene definito a priori un mix produttivo che permetta di soddisfare al meglio la richiesta dei clienti; gli assali medi costituiscono in media più del 50% dell'output giornaliero di tale linea.

Infine, la UTE 10 si compone di una linea dedicata al montaggio degli assali pesanti, il cui output è principalmente caratterizzato da assali destinati a veicoli Iveco Stralis e Iveco Trakker, e di una linea dedicata al montaggio dei ponti realizzati a partire da quelli che sono stati definiti "ponti semi-incompleti".

Chiaramente, il legame tra le UTE di montaggio e quelle di lavorazione è molto forte, in quanto senza il costante apporto dei singoli componenti del prodotto finale, le varie linee di montaggio non avrebbero la possibilità di seguire e colmare le richieste dei vari clienti, oltre a correre il rischio di fermi sulle linee stesse: ne deriva che la mancanza di anche solo un

elemento della distinta base di un ponte o un assale può rappresentare una forte criticità. Allo stesso modo, è necessario che i fornitori del materiale grezzo rispettino i programmi consegna in modo da garantire un continuo apporto di materiale alle linee di lavorazione e un livello di stock tale da poter gestire eventuali emergenze. La gestione della fornitura dei particolari grezzi è uno dei compiti del team Supply Chain, motivo per cui è necessario che i suoi membri siano costantemente in comunicazione con i responsabili delle UTE di lavorazione e delle UTE di montaggio.

### 3. Il World Class Manufacturing

Il World Class Manufacturing, identificato con l'acronimo WCM, fa riferimento ad una serie di tecniche produttive e di metodologie di gestione che hanno come obiettivi ultimi quello del miglioramento continuo delle misure di performance produttive, della riduzione degli sprechi e della crescita della customer satisfaction attraverso maggiore coinvolgimento e motivazione del personale. Il raggiungimento di tali obiettivi sarà fondamentale per garantire un vantaggio competitivo sul mercato d'interesse.

Il WCM, nato negli Stati Uniti negli anni '90, sbarcò nei sistemi produttivi italiani nell'anno 2005, per volere dell'allora manager del gruppo FIAT Sergio Marchionne, per poi essere diffuso in tutte le aziende ad esso legate, tra cui proprio FPT Industrial. L'azienda italiana andò, nello specifico, a sviluppare un proprio sistema di produzione nel quale i principi del WCM venissero accolti da tutti gli enti funzionali, a partire dalla qualità, passando per la manutenzione, fino ad arrivare al cost management e alla logistica.

La letteratura non fornisce, in realtà, una definizione univoca di quello che è il WCM (Kodali, Sangwan, Sunnapwar, 2004), anche se è risaputo che il termine fu coniato dall'ingegner Richard J. Schonberger, il quale nel 1986 pubblicò un'opera dal titolo "*World Class Manufacturing: the lessons of simplicity applied*" nella quale citava il famoso motto dei Giochi Olimpici, "Citius, altius fortius", che tradotto significa "Più veloce, più alto, più forte", per proporre un'analogia con i principi cardine del WCM (De Felice, Petrillo, 2015). Come già accennato, il focus principale del WCM è il miglioramento continuo, il quale non può essere raggiunto senza l'implementazione di apposite misure di performance che permettano di constatare e verificare l'avvenuto miglioramento: l'impossibilità di misurare implica necessariamente l'incapacità di gestire il processo e di conseguenza l'incapacità di apportarvi dei miglioramenti (Francisco, Roy, Wegen, Steele, 2003).

Il metodo del WCM nasce essenzialmente dall'intersezione di tre diversi approcci utilizzabili per l'ottimizzazione dei processi produttivi (Teeravarapung, Kitiwanwong, Sae Tong, 2011). Primo fra tutti è il *Total Quality Management (TQM)*, basato sul coinvolgimento di tutti gli enti facenti parte dell'azienda al fine di ottenere uno standard qualitativo il più alto possibile sia nell'ambito dei processi che in quello del prodotto.

A seguire, il *Total Productive Maintenance (TPM)*, metodologia incentrata sui temi di manutenzione preventiva, di affidabilità e manutenibilità degli impianti nonché sul concetto di lifecycle cost. L'obiettivo che ci si prepone è quello di aumentare le performance e migliorare il livello di qualità degli impianti produttivi, andando ad applicare i seguenti cinque principi sia in fase di utilizzo che in fase di gestione degli strumenti produttivi:

- i. Pulizia;
- ii. Individuazione del problema;
- iii. Correzione del problema;
- iv. Miglioramento;
- v. Protezione.

Infine, il *Lean Manufacturing (LM)* e il *Just In Time (JIT)*, filosofie di origine giapponese sviluppate dal Toyota Production System (TPS), basate sulla minimizzazione degli sprechi fino al loro, laddove possibile, azzeramento (Monden, 1998). Nello specifico, tutto ciò che



non crea valore aggiunto per il cliente deve essere possibilmente eliminato. Taiichi Onho, padre fondatore del concetto del Just In Time, fu capace di individuare sette fonti di spreco:

- i. *Overproduction*, ad indicare la produzione di quantitativi in più rispetto a quelli richiesti dal cliente o, in alternativa, dal processo a valle;
- ii. *Defects*, ovvero la produzione di pezzi difettosi, i quali dovranno essere rilavorati o al più scartati;
- iii. *Excess of activity*, con riferimento a tutte quelle attività che non producono valore aggiunto nel processo di realizzazione del prodotto;
- iv. *Movement*, ovvero spostamenti causati dall'errato posizionamento delle attrezzature, talvolta ben lontani dai punti di utilizzo;
- v. *Buffer stock*, acquisto o produzione di materiale in eccesso rispetto a quanto richiesto dal processo successivo;
- vi. *Waiting time*, da intendersi riferito a materie prime o semilavorati in attesa di essere processati, ma più in generale all'impiego del tempo in maniera non produttiva;
- vii. *Transport*, legato a tutti quegli spostamenti di materiali o prodotti senza alcun fine di creazione di valore aggiunto.

Molto vicino alla logica del Lean Manufacturing è il concetto del Just In Time, tramite il quale si porta avanti il tentativo di implementazione di una produzione basata su una logica pull piuttosto che su una logica push. La prima prevede la produzione di specifiche quantità dettate dalla richiesta degli step a valle. Al contrario, la logica push, prevede la produzione di specifiche quantità decise a seguito di una previsione della richiesta proveniente dagli step a valle. Implementare una logica interamente pull può risultare particolarmente complesso, per cui sarà possibile adottare approcci ibridi.

Tali approcci costituiscono la base storica del WCM, la quale però è stata arricchita dall'interesse per tematiche quali lo sviluppo delle risorse umane, l'ambiente, la customer care e, soprattutto, la sicurezza sull'ambiente di lavoro.

### 3.1. Il tempio del WCM e i suoi pilastri

Il World Class Manufacturing si articola su dieci pillar (o pilastri) tecnici e dieci pillar manageriali: per questo motivo la sua struttura è comunemente rappresentata da un tempio.



Figura 9. Il tempio del WCM

I pillar manageriali o gestionali servono ad assicurare che l'intero sistema sia strutturato in modo tale da riuscire a sostenere le attività proposte dai pilastri tecnici. Non sono altro, quindi, che i prerequisiti funzionali e necessari a implementare le attività tecniche e per questo motivo vengono rappresentati come i fondamenti dei pilastri tecnici. A seguire una breve descrizione di quelli che sono i pilastri manageriali, prima di scendere nel dettaglio della trattazione dei pilastri tecnici (De Felice, Petrillo, 2015).

### 3.1.1. I pilastri manageriali

Il primo dei dieci pilastri manageriali è il *Management Commitment*, e può essere strutturato su tre attività principali che dovranno essere realizzate dal management:

- i. L'applicazione dei piani strategici a quelli operativi;
- ii. Delegare le attività, con conseguente maggior coinvolgimento di coloro che si trovano negli step più inferiori della gerarchia aziendale;
- iii. Meeting trasversali, ovvero che prevedano il confronto tra il management e lo staff operativo con l'intento di verificare l'allineamento delle attività con gli obiettivi strategici.

Il secondo pilastro, detto *Clarify of Objectives*, fa riferimento ad una corretta definizione degli obiettivi, i quali dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- i. *Clearness*, in modo che si possano evitare eventuali incomprensioni;
- ii. *Quantification*, gli obiettivi non dovranno mai essere espressi da un punto di vista qualitativo (bisognerà fare uso dei KPI);
- iii. *Spread*, gli obiettivi devono essere condivisi con tutti e da tutti.

Il terzo pilastro è quello della cosiddetta *Route Map of WCM*, che consiste essenzialmente nella rappresentazione sotto forma di mappa del plant, nella quale si andranno ad indicare i vari cambiamenti che ci si attende nel breve, medio e lungo periodo. Tale mappa permette di

individuare quali trasformazioni bisognerà apportare per raggiungere obiettivi futuri, a loro volta frutto della simbiosi tra richieste del cliente e vision dell'azienda.

*Allocation of Highly Qualified People to Model Areas* è il quarto pilastro manageriale, ed essenzialmente si pone come obiettivo principale quello della corretta formazione del personale al fine di far sì che questo sia coinvolto nei progetti portati avanti dall'azienda. La corretta applicazione di questa tecnica porterà ad una sempre maggiore autogestione della struttura, con conseguente maggiore facilità nell'individuazione e nella risoluzione dei problemi.

A seguire, *Commitment of the Organization*, il quale, insieme al primo pilastro, sarà necessario per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Tramite tale pilastro si vuole infatti specificare che l'interesse al raggiungimento degli obiettivi deve essere necessariamente condiviso da tutti gli step della gerarchia aziendale.

Il sesto pilastro è quello della *Competence of Organization*. Come già anticipato, uno degli obiettivi principali del WCM è quello della riduzione o se possibile dell'eliminazione degli sprechi: senza una corretta conoscenza delle tecniche necessarie per la loro identificazione nonché delle metodologie di applicazione, sarà pressoché impossibile perseguire tale obiettivo.

Settimo pilastro è quello del *Time and Budget*, fattori da considerare entrambi chiave per la definizione delle risorse che saranno necessarie per lo sviluppo di uno specifico progetto di miglioramento. Il tempo richiesto sarà funzione crescente della gravità del problema e sarà fondamentale cercare di minimizzare il più possibile tale parametro. Il concetto del budget invece è maggiormente legato alle risorse che dovranno essere utilizzate durante il progetto, con l'obiettivo di sfruttare il minor ammontare possibile di risorse per raggiungere l'obiettivo prefissato.

Il *Level of Detail* non è altro che il livello di dettaglio con cui si decide di affrontare un problema: chiaramente, un maggior livello di dettaglio facilita l'individuazione della causa che ha originato il problema, e di conseguenza ne faciliterà anche l'eliminazione. Molto simile è il concetto del *Level of Expansion*, ad indicare che, una volta raggiunto un determinato miglioramento in una specifica area, sarà preferibile che questo venga condiviso con il maggior numero possibile delle altre aree.

Ultimo dei pilastri manageriali è quello della *Motivation of Operators*, aspetto chiave in merito all'applicazione di tutte le tecniche proposte dal WCM. Sarà fondamentale ottenere il coinvolgimento di tutti gli operatori: proprio perché si tratta di coloro che realizzano le attività produttive, sarà necessario che tali figure si sentano parte integrante del sistema. Chiaramente, ciò implicherà che anche gli operatori stessi dovranno essere al corrente di quali siano i reali obiettivi dell'azienda e soprattutto di eventuali risultati ottenuti, in modo che anch'essi possano sentirsi gratificati e quindi stimolati per progetti futuri.

### 3.1.2. I pilastri tecnici

I dieci pilastri tecnici costituiscono la vera e propria ossatura del WCM e l'obiettivo ultimo sarà quello di raggiungere il livello di eccellenza ("World Class") in ciascuno di questi: per ogni pilastro è previsto un percorso articolato in sette step, volto al graduale raggiungimento dell'eccellenza. Partendo da una situazione base, identificata come step zero, si giungerà progressivamente, con un percorso di continuo miglioramento, allo step sette, che corrisponde alla piena realizzazione di una gestione controllata ed efficace del processo specifico. Pertanto, i sette step identificano, qualificano e caratterizzano il percorso che un'organizzazione produttiva deve seguire per raggiungere l'eccellenza in ognuno dei pilastri. Questi sette step possono essere riorganizzati in tre fasi principali, rispettivamente fase reattiva, fase preventiva e fase proattiva. La fase reattiva include i primi tre step (non si tiene conto dello step zero), tramite i quali vengono sviluppati progetti per possibili miglioramenti e contenimenti dei problemi evidenziati. La seconda fase, quella preventiva, include il quarto e il quinto step, e prevede, invece, lo sviluppo di modelli volti a prevenire i problemi che sono sorti nella prima fase. Infine, nel corso della fase proattiva, che includerà il sesto e il settimo step, verranno sviluppate delle metodologie volte al miglioramento continuo con l'obiettivo di raggiungere gli standard di eccellenza (Petrillo, De Felice, Zomparelli, 2019). Per ciascuno dei dieci pilastri verranno illustrate le attività che caratterizzano le tre fasi sopra descritte.

Partendo dal pilastro della sicurezza (*Safety*), questo si pone come obiettivo principale quello di andare a soddisfare le necessità degli operatori proponendo continui miglioramenti in merito al tema della sicurezza sul posto di lavoro. Entrando nello specifico, si tratta di andare a minimizzare il numero di infortuni, promuovendo lo sviluppo della cultura della prevenzione, il corretto utilizzo dei dispositivi di protezione, creando condizioni sicure ed evitando tutti quei comportamenti che esulano dalle linee guida di sicurezza. Lo scopo ultimo è quello di ottenere il coinvolgimento da parte di tutti i lavoratori, facendo in modo che tutti sviluppino la consapevolezza di essere responsabili della propria sicurezza e di quella dei propri collaboratori.

	<b>Safety</b>
<b>STEP 1</b>	Analisi di incidenti e relative cause
<b>STEP 2</b>	Individuazione di contromisure ed espansione orizzontale
<b>STEP 3</b>	Definizione dei primi standard di sicurezza
<b>STEP 4</b>	Safety General Inspection con formazione e educazione del personale
<b>STEP 5</b>	Autonomous Inspection con individuazione di contromisure preventive
<b>STEP 6</b>	Definizione di Autonomous Safety Standards
<b>STEP 7</b>	Implementazione del Safety Management

Tabella 1. 7 steps of the Safety pillar

Il secondo pilastro dell'approccio WCM è quello del *Cost Deployment*, approccio scientifico e sistematico volto ad individuare le principali cause di perdita, ma soprattutto a quantificare i vantaggi economici che possono derivare dall'applicazione di determinate strategie nonché gli svantaggi che possono derivare dalla mancata applicazione. Le principali attività che

caratterizzano questo pilastro si sviluppano a partire dall'identificazione delle perdite, a partire dalle quali sarà necessario andare a risalire a ciò che ha causato la perdita stessa. A valle dell'identificazione seguirà una fase di quantificazione, volta appunto ad associare l'effettivo valore economico alla rispettiva perdita individuata. Risulta poi fondamentale aver individuato la causa della perdita, in quanto sarà proprio il punto di partenza per l'implementazione di metodologie volte all'eliminazione della stessa. È necessario che tali strategie siano giustificate da un'apposita analisi basata sul confronto tra costi e benefici. Lo scopo di questo approccio è quello di sviluppare l'attitudine alla ricerca della reale causa delle perdite, andando inoltre a costruire skills che permettano di comprendere quali siano le effettive priorità per poter pianificare conseguentemente delle strategie migliorative. L'effettiva integrazione di tale approccio nella metodologia di lavoro si potrà constatare dal momento in cui, indipendentemente dai miglioramenti già implementati, non verrà interrotta la ricerca di tutte quelle perdite e quindi di opportunità di ridurre i costi e aumentare la produttività. Molto spesso gli sprechi e le perdite risultano essere "nascosti", di conseguenza soltanto tramite l'interiorizzazione di questa filosofia della continua ricerca di opportunità di miglioramento sarà possibile farli emergere. Risulta fondamentale, ogniquale volta si consegua una riduzione delle perdite, che la strategia adottata venga orizzontalmente condivisa con gli altri enti, in modo che anche questi possano prendere spunti per apportare dei miglioramenti nelle loro aree di interesse. Le principali attività che caratterizzano il Cost Deployment si basano sull'utilizzo di matrici, ciascuna delle quali avrà uno specifico scopo:

- i. *Losses vs Processes matrix*, permette di localizzare le perdite;
- ii. *Sources vs Consequences matrix*, permette di risalire alla fonte della perdita;
- iii. *Sources vs Costs matrix*, permette di valorizzare la perdita;
- iv. *Losses vs Solution matrix*, permette di selezionare il metodo per eliminare la perdita;
- v. *Costs vs Benefits matrix*, valorizzazione dei benefici attesi.

	<b>Cost Deployment</b>
<b>STEP 1</b>	Identificazione del costo totale di trasformazione; fissare un target per la riduzione dei costi
<b>STEP 2</b>	Identificare sprechi e perdite da un punto di vista qualitativo; quantificazione in funzione di misurazioni passate
<b>STEP 3</b>	Separazione delle cause delle perdite dalle perdite stesse
<b>STEP 4</b>	Calcolo dei costi associati a perdite e sprechi
<b>STEP 5</b>	Identificazione di metodi per il recupero di perdite e sprechi
<b>STEP 6</b>	Prima stima dei costi per il miglioramento e confronto con la corrispondente riduzione di perdite e sprechi
<b>STEP 7</b>	Definizione di un piano per il miglioramento e della sua implementazione; GOTO STEP 4

Tabella 2. 7 steps of the Cost Deployment pillar

Il terzo pilastro è quello del cosiddetto *Focused Improvement*, strettamente legato al secondo pilastro e insieme al quale concorre all'eliminazione di perdite e sprechi. Come anche il nome

suggerisce, tramite questo pilastro si cerca di andare a prioritizzare le problematiche, in modo tale da poterle eliminare secondo una metodologia il più efficiente possibile.

Gli obiettivi che ci si pone sono, quindi, quelli di una drastica riduzione delle perdite produttive e di una eliminazione delle inefficienze: la presenza di attività che non portano valore aggiunto, portano ad una riduzione della competitività del costo complessivo di produzione del prodotto, motivo per cui risulta fondamentale poterle individuare e conseguentemente eliminarle (De Oliveira, Kuhl, Do Prado, Gorgulho, Pacagnella Junior, 2015).

Il punto di partenza è proprio la definizione di tutte quelle attività che dovranno essere implementate per migliorare l'efficienza produttiva, dei risultati che ci si attende a valle di queste e delle risorse di cui sarà necessario disporre per poter portare avanti il progetto. Lo strumento simbolo di questo pillar è il ciclo PDCA (Plan Do Check Act), articolato, come suggerito dal nome, su quattro attività specifiche:

- i. *Plan*, individuazione delle cause che hanno generato un problema, analisi del problema stesso ed individuazione delle contromisure;
- ii. *Do*, implementazione delle soluzioni individuate nello step precedente;
- iii. *Check*, verifica dell'efficacia della soluzione implementata e monitoring della stessa;
- iv. *Act*, consiste nella standardizzazione e nel miglioramento delle soluzioni, con l'eventuale scopo di estenderle orizzontalmente ad altre aree funzionali.

	<b>Focused Improvement</b>
<b>STEP 1</b>	Identificazione dei "colli di bottiglia" e delle principali perdite
<b>STEP 2</b>	Stratificazione delle perdite
<b>STEP 3</b>	Selezione delle criticità da affrontare
<b>STEP 4</b>	Definizione del team di progetto
<b>STEP 5</b>	Sviluppo del progetto tramite l'applicazione del ciclo PDCA
<b>STEP 6</b>	Analisi Costi/Benefici
<b>STEP 7</b>	Continuo monitoring ed espansione orizzontale

Tabella 3. 7 steps of the Focused Improvement pillar

Il concetto delle *Autonomous Activities* è il quarto pilastro della filosofia del WCM e può essere a sua volta scomposto in due ulteriori pilastri.

Il primo è quello dell'*Autonomous Maintenance*. Le attrezzature o i macchinari utilizzati nei plant produttivi sono spesso in condizioni di deterioramento, con la conseguenza che questi lavoreranno ad un livello di efficienza sempre più distante da quello per cui sono stati progettati. Per ovviare a queste problematiche e, nuovamente, migliorare l'efficienza produttiva è fondamentale che vengano implementate delle strategie che permettano, da un lato, di mantenere le attrezzature in un buono status e, dall'altro, coinvolgere e responsabilizzare maggiormente gli operatori in modo che questi si possano occupare in maniera totalmente indipendente di mantenere le attrezzature in buone condizioni, con l'obiettivo di raggiungere la condizione "zero breakdowns".

Il secondo è il pilastro legato alla *Workplace Organization* e si pone come obiettivo quello di migliorare la produttività delle singole attività degli operatori nonché garantire una migliore organizzazione dell'ambiente di lavoro, secondo il concetto del Minimal Material Handling. I

materiali e le attrezzature utilizzate nelle linee produttive sono spesso conservati in condizioni ben lontane da quelle ideali, talvolta anche per effetto dello scarso interesse degli operatori nei confronti dell'attività e del processo produttivo. Questo può spesso tradursi in una riduzione della qualità dei prodotti realizzati, motivo per cui saranno necessarie molteplici ispezioni o addirittura rilavorazioni per ottenere gli standard qualitativi ricercati. Lo scopo di questo pilastro è quindi quello di andare a ripristinare per poi mantenere le buone condizioni delle attrezzature, eliminare attività non a valore aggiunto, far accrescere il coinvolgimento degli operatori nonché la loro conoscenza del prodotto e delle attrezzature. I risultati attesi saranno una maggiore efficienza dei cicli produttivi e si potranno osservare miglioramenti non solo in termini di riduzione dei costi complessivi di produzione, ma anche in termini di sicurezza sul posto di lavoro.

	<b>Autonomous Activities</b>
<b>STEP 1</b>	Pulizia e ispezione preliminari
<b>STEP 2</b>	Ri-organizzazione del processo
<b>STEP 3</b>	Definizione di standard per l'ordine nell'ambiente di lavoro
<b>STEP 4</b>	Formazione sulle caratteristiche del prodotto e delle attrezzature utilizzate
<b>STEP 5</b>	Fornitura dei materiali secondo la logica JIT
<b>STEP 6</b>	Miglioramento degli standard fissati allo STEP 3
<b>STEP 7</b>	Implementazione di sequenze di lavoro standardizzate

Tabella 4. 7 steps of the AA pillar

A seguire verrà trattato il pilastro della *Professional Maintenance*, il quale nasce dalla necessità di dover gestire e laddove possibile prevenire numerosi guasti sulle linee produttive. Lo scopo principale di tale pilastro è quindi quello di andare ad incrementare il MTBF (Mean Time Between Failures) e contemporaneamente ridurre il MTTR (Mean Time To Repair). Ciò sarà possibile attraverso accurate analisi dei vari guasti, ma anche tramite manutenzioni pianificate, utili nell'ottica di una riduzione dei costi causati dai blocchi produttivi, e l'utilizzo di tecniche di manutenzione innovative. Entrando più nello specifico si possono distinguere quattro tipologie di manutenzione:

- i. *Breakdown Maintenance*, si occupa di interventi di manutenzione a valle del guasto;
- ii. *Periodic Maintenance*, si tratta di una prima forma di manutenzione preventiva che opera in maniera periodica in funzione degli intervalli temporali durante i quali i macchinari sono idle;
- iii. *Predictive Maintenance*, opera in funzione dei segnali lanciati dai macchinari, molto spesso presagio di un possibile guasto; si tratta essenzialmente di prevenire situazioni altamente critiche basandosi però sullo status effettivo delle macchine;
- iv. *Corrective Maintenance*, da intendersi come una serie di attività che permettono di migliorare il livello qualitativo delle manutenzioni e di conseguenza l'affidabilità dei macchinari.



	<b>Professional Maintenance</b>
<b>STEP 1</b>	Eliminazione e prevenzione di degradazioni accelerate
<b>STEP 2</b>	Analisi dei guasti
<b>STEP 3</b>	Definizione di standard per la manutenzione nell'ambiente di lavoro
<b>STEP 4</b>	Contromisure nei confronti dei punti deboli dei macchinari ed estensione del ciclo di vita dei vari componenti
<b>STEP 5</b>	Costruzione di un sistema di manutenzione periodica
<b>STEP 6</b>	Costruzione di un sistema di manutenzione preventiva
<b>STEP 7</b>	Gestione dei costi di manutenzione e definizione di un piano di manutenzione

Tabella 5. 7 steps of the PM pillar

Il sesto pilastro è quello del cosiddetto *Quality Control*, volto ad intaccare tutte quelle situazioni in cui il livello di soddisfazione del cliente non è dell'ordine di grandezza di quello desiderato, per esempio perché questi si ritrovano tra le mani un prodotto difettoso. In aggiunta a ciò, la gestione del mancato raggiungimento degli standard qualitativi richiesti comporta dei costi, per effetto non solo degli scarti produttivi ma anche per la necessità di effettuare delle rilavorazioni. L'obiettivo che ci si pone è quello di garantire un prodotto di qualità al cliente, minimizzando i costi a monte per ottenerlo. Per garantire il raggiungimento di tale obiettivo, sarà innanzitutto fondamentale riuscire ad individuare la causa radice delle problematiche che vanno ad intaccare gli standard qualitativi: risulta essere particolarmente efficiente in questi casi andare ad utilizzare tecniche che permettano di classificare e categorizzare le varie problematiche, in modo da facilitare l'individuazione delle rispettive cause.

Lo step di individuazione e di eliminazione delle problematiche è il primo da percorrere per arrivare ad ottenere e soprattutto mantenere nel tempo gli standard qualitativi desiderati: sarà quindi fondamentale fissare degli standard ai quali far riferimento per garantire il mantenimento di determinate condizioni obiettivo; si tratta essenzialmente di adottare un approccio preventivo, volto ad evitare eventuali problemi piuttosto che dover individuare delle contromisure una volta che questi si sono presentati.

	<b>Quality Control</b>
<b>STEP 1</b>	Individuazione delle condizioni attuali
<b>STEP 2</b>	Ripristino e miglioramento degli standard operativi
<b>STEP 3</b>	Analisi delle cause delle perdite
<b>STEP 4</b>	Riduzione ed eliminazione delle cause delle perdite
<b>STEP 5</b>	Individuazione delle condizioni necessarie per il raggiungimento degli zero defects
<b>STEP 6</b>	Mantenimento delle condizioni necessarie per il raggiungimento degli zero defects
<b>STEP 7</b>	Miglioramento dei metodi utilizzati per il raggiungimento degli zero defects

Tabella 6. 7 steps of the Quality Control pillar

Chiaramente, affinché tale metodologia possa effettivamente portare ai risultati desiderati, è fondamentale che questa venga interiorizzata da tutti i membri dei team di lavoro, ciascuno dei quali dovrà seguire un percorso volto ad accrescere le proprie skills in tema di quality problem solving.

Il settimo pilastro è invece quello legato all'ambito *Logistics & Customer Service*. La necessità di questo pilastro insorge principalmente dalla presenza di eccessivi livelli di stock presso i magazzini degli impianti produttivi e da tutti i costi che ne derivano. Tali costi includono anche il rischio di danneggiamento e di obsolescenza che deriva da un periodo troppo prolungato di mantenimento a magazzino. Chiaramente tramite questo pilastro si cerca di gestire anche la situazione opposta, ovvero quella in cui ci si ritrovi in stock out di materiale da dare in input alle linee produttive con la conseguente necessità di rischedulare frequentemente la produzione.

L'obiettivo che ci si pone è quindi quello di sincronizzare il più possibile la produzione con le richieste del cliente finale, in modo tale che questo possa essere soddisfatto nella maniera più precisa possibile. L'obiettivo finale è quello di arrivare a produrre esclusivamente ciò che serve, quando serve e nelle quantità richieste. Entrando più nello specifico si tratta di applicare i seguenti principi:

- i. Flusso teso, richiede necessariamente un layout di processo orientato al prodotto;
- ii. Logica pull, i processi a valle richiedono esclusivamente ciò di cui hanno bisogno;
- iii. Takt Time, le attività operative dovranno essere bilanciate in funzione del volume e del ritmo imposto dalla richiesta del cliente;
- iv. Zero Defects, legato al pilastro del *Quality Control*.

Un approccio di questo genere richiede chiaramente un sistema di produzione altamente flessibile, capace quindi di reagire a variazioni nelle richieste nella maniera più rapida possibile.

Si cerca quindi di creare un flusso continuo di materiali (e informazioni), implementando piani per la ridefinizione della logistica interna e di quella esterna: si tratta di ottimizzare i flussi tra le varie unità operative ma anche tra l'azienda stessa e i suoi fornitori (De Felice, Petrillo, Monfreda, 2013).

Tutto ciò sarà possibile grazie ad appositi strumenti quali la Value Stream Map, tramite la quale sarà possibile andare ad individuare perdite ed opportunità lungo i vari flussi di materiali e informazioni, ma anche facendo uso di sistemi innovativi per la gestione e movimentazione dei materiali, come ad esempio i Kanban. In merito alla gestione dei magazzini, sarà fondamentale l'applicazione della logica FIFO (First In First Out), ad indicare che bisognerà dare priorità al materiale con la data di consegna meno recente in fase di prelievo dal magazzino.

Tutte queste metodologie di gestione dei flussi interni ed esterni ai plant hanno come scopo ultimo quello di garantire un costante e puntuale soddisfacimento degli ordini lato cliente, ma anche una generica ottimizzazione del livello delle scorte in ciascuna fase del ciclo produttivo.

	<b>Logistics &amp; Customer Service</b>
<b>STEP 1</b>	Re-ingegnerizzazione delle linee produttive
<b>STEP 2</b>	Riorganizzazione della logistica interna
<b>STEP 3</b>	Riorganizzazione della logistica esterna
<b>STEP 4</b>	Livellamento della produzione
<b>STEP 5</b>	Miglioramento della logistica interna e della logistica esterna
<b>STEP 6</b>	Integrazione degli enti Acquisti, Produzione e Vendite
<b>STEP 7</b>	Adottare una logica di programmazione della produzione sequenziale e JIT

Tabella 7. 7 steps of the LC&S pillar

Ottavo pilastro della filosofia WCM è quello dell'*Early Product & Equipment Management*. Per quel che riguarda l'*Equipment Management*, si tratta di andare a prevenire situazioni di criticità che possono insorgere durante le attività produttive tramite un'accurata e corretta progettazione delle attrezzature e dei macchinari a valle di un'analisi dei problemi causati da quelli precedentemente utilizzati. L'obiettivo sarà quindi quello di migliorare l'affidabilità delle attrezzature e ridurre il *Life Cycle Cost* delle stesse. Da questo punto di vista si osserva un forte legame con il pilastro della *Professional Maintenance*, in quanto in fase di design degli impianti produttivi si andranno a definire cicli di manutenzione preventiva che siano comunque economicamente sostenibili.

Per quel che riguarda, invece il *Product Management*, il concetto di fondo è essenzialmente lo stesso ma viene in questo caso esteso all'inserimento di nuovi prodotti. L'obiettivo è quello di facilitare e velocizzare l'introduzione dei nuovi prodotti nei processi produttivi.

	<b>Early Product &amp; Equipment Management</b>
<b>STEP 1</b>	Pianificazione (Design Review 1)
<b>STEP 2</b>	Prima definizione del progetto (Design Review 2)
<b>STEP 3</b>	Definizione dettagliata del progetto (Design Review 3)
<b>STEP 4</b>	Costruzione (Design Review 4)
<b>STEP 5</b>	Installazione (Design Review 5)
<b>STEP 6</b>	Test di produzione e ispezioni (Design Review 6)
<b>STEP 7</b>	StartUp (Design Review 7)

Tabella 8. 7 steps of the EP&EM pillar

Penultimo pilastro è quello del *People Development*, incentrato sul concetto della continua e costante crescita del personale presente all'interno dell'azienda: qualsiasi progetto di miglioramento risulterà particolarmente complesso da portare avanti in assenza di personale sufficientemente e correttamente formato e informato. Sarà necessario, oltre ai già citati programmi di training, sviluppare delle figure professionali di riferimento ai quali poter affidare la formazione degli operatori.

A monte della definizione di un programma di formazione, sarà necessario mappare le skill richieste dalle varie attività e quelle che gli operatori effettivamente possiedono: sarà in tal modo possibile strutturare il training in funzione dei gap riscontrati, fondamentale anche nell'ottica di maggiore coinvolgimento e motivazione degli operatori.

L'obiettivo principale che ci si pone tramite questo pillar è la totale eliminazione degli errori

umani (*Zero Human Errors*), con conseguente di riduzione del rischio di incidenti all'interno del plant. Tale obiettivo sarà raggiungibile tramite l'applicazione di tre diversi approcci:

- i. TWTP (The Way To Treat People), si tratta di interviste che vengono effettuate con il soggetto che commette uno specifico errore con lo scopo di individuare le lacune in termini di skills e conoscenza;
- ii. HERCA (Human Error Cause Analysis), consiste nel monitoring del soggetto mentre questo esegue il proprio lavoro con l'intento di individuare possibili cause che abbiano generato uno specifico problema;
- iii. Metodo LUTI (Learn, Use, Teach, Inspect), a valle di una fase di formazione sarà necessario applicare quanto imparato, per poi trasferire il know-how acquisito e verificare l'efficacia di ciò che è stato insegnato.

<b>People Development</b>	
<b>STEP 1</b>	Definizione dei principi e delle priorità del sistema di formazione
<b>STEP 2</b>	Implementazione di un primo sistema di training volto allo sviluppo delle skills
<b>STEP 3</b>	Sviluppo di progetti volti al miglioramento delle skills dei team di lavoro
<b>STEP 4</b>	Implementazione di un sistema di training consistente volto allo sviluppo delle skills e all'identificazione di esperti
<b>STEP 5</b>	Implementazione di un sistema per la crescita e il rafforzamento di skills avanzate
<b>STEP 6</b>	Sviluppo di skills specifiche
<b>STEP 7</b>	Continua verifica e valutazione delle skills

*Tabella 9. 7 steps of the People Development pillar*

A conclusione di questa trattazione, il pilastro dell'*Environment*, il cui scopo si spinge al di fuori delle mura degli impianti produttivi, andando ad abbracciare temi come l'impegno nei confronti della società e dell'ambiente.

Ci si pone in primis l'obiettivo di migliorare costantemente le condizioni di lavoro: sarà di fondamentale importanza l'applicazione degli standard ISO 14000, nonché un miglioramento tecnico delle varie attrezzature. Ciò si concluderà con l'eliminazione di tutte quelle condizioni per potenziali incidenti sul lavoro.

Parallelamente, verranno organizzati appositi audit volti ad illustrare gli effettivi impatti che l'impresa sta generando sull'ambiente circostante e non solo: risulta cruciale l'impegno di tutti i soggetti coinvolti nell'attività produttiva per il raggiungimento di obiettivi quali la riduzione del consumo di energia, delle emissioni di sostanze inquinanti e di rumori, nonché la crescita dell'ammontare di materiale riciclato durante il corso della vita quotidiana dello stabilimento (Palucha, 2012).

	<b>Environment</b>
<b>STEP 1</b>	Comprensione della legislazione locale sui temi dell'ambiente
<b>STEP 2</b>	Prevenzione della contaminazione
<b>STEP 3</b>	Individuazione di standard temporanei
<b>STEP 4</b>	Risparmio su risorse ed energia, controlli sulle sostanze chimiche utilizzate
<b>STEP 5</b>	Definizione di un Environment Management System (EMS)
<b>STEP 6</b>	Implementazione di un sistema per riduzione degli impatti ambientali
<b>STEP 7</b>	Applicazione full-scale dell'EMS

*Tabella 10. 7 steps of the Environment pillar*

### 3.2. Il WCM in FPT Industrial

Le applicazioni del WCM osservabili presso i plant produttivi FPT Industrial prendono ispirazione dal Fiat Auto Production System.

Il FAPS si pone come obiettivo principale quello di creare un sistema di produzione di livello World Class, basato sulla sistematica aggressione di qualsivoglia tipologia di spreco e perdita, applicando metodi e standard con rigore e coinvolgendo qualsiasi membro dell'azienda. I risultati ottenuti dovranno poi essere standardizzati e applicati orizzontalmente da tutti gli enti funzionali dell'azienda.

Per sviluppare il suddetto sistema venne presa ispirazione dalle principali aziende manifatturiere del settore automotive, prima fra tutte la Toyota, per poi cercare di comprendere quali fossero le tecniche e le metodologie che potessero permettere di sviluppare un approccio volto a surclassare miglioramenti semplici, isolati e soprattutto difficili da ripetere.

L'applicazione di strumenti e metodi non sarà sufficiente e dovrà quindi essere accompagnata dal coinvolgimento di tutti i membri dei team di lavoro, i quali dovranno fermamente credere nello sviluppo di tale programma, e da consistenti investimenti nello sviluppo delle loro skills.

L'ambito della produzione gioca un ruolo chiave nell'ottica della massimizzazione delle performance dell'impresa in termini di:

- i. Qualità
- ii. Prezzo
- iii. Velocità di consegna
- iv. Flessibilità
- v. Innovazione

Il livello di performance da ottenere in ciascuno di questi ambiti non sarà invariato nel tempo, ma sarà funzione dell'andamento del settore di mercato automotive e della crescita dei competitors.

L'applicazione di tale sistema sarà supportata da un sistema di Audit e sarà strettamente

legata a specifici obiettivi, il raggiungimento dei quali sarà misurabile tramite l'utilizzo di appositi KPI (Key Performance Indicator).

I risultati attesi saranno la massimizzazione dell'efficienza produttiva e della customer satisfaction, assicurando al cliente che il prodotto gli venga consegnato nelle tempistiche richieste e che questo rispetti gli standard qualitativi richiesti, andando parallelamente ad eliminare tutte quelle attività che, nel percorso che porta alla realizzazione del prodotto stesso, non portano valore aggiunto.

Quelli che sono stati definiti i metodi del FAPS trovano una perfetta corrispondenza con i dieci pilastri tecnici del WCM. Sono poi stati sviluppati appositi strumenti, ciascuno dei quali potrà essere applicato nell'ambito di più metodi.

Per comprendere quali siano le principali attività che caratterizzano i vari metodi, è necessario andare a descrivere il funzionamento dei vari strumenti, in modo da comprendere come questi possano legarsi ai rispettivi metodi.

### 3.2.1. Le tecniche del FAPS

La prima tecnica ad essere analizzata è quella delle *4M (Machine, Material, Method, Man)*, tramite la quale si vanno ad analizzare i possibili fattori scatenanti (cause, cause contribuenti, sotto-cause) di un fenomeno, i quali andranno riorganizzati in funzione delle quattro categorie sopra citate. In alcuni casi, può risultare opportuno tener conto di categorie aggiuntive, ovvero:

- i. Environment;
- ii. Measurement;
- iii. Management;
- iv. Market.

Si tratta più in generale di diagrammi tramite i quali, a partire da un effetto, si cerca di risalire alle rispettive cause. L'effetto dovrà essere, per poterlo definire tale, oggettivamente misurabile, e non dovrà essere confuso con il problema.

Tale diagramma viene realizzato facendo uso di un approccio iterativo, ovvero identificando una serie di "cause delle cause" che faranno emergere quella causa che ha dato origine all'effetto studiato. Chiaramente, la prima fase è l'individuazione dell'effetto d'interesse, seguita da una fase di brainstorming durante la quale si cercherà di individuare il maggior numero possibile di cause. Successivamente si andranno a raggruppare le varie cause in specifiche categorie. Tale suddivisione permetterà di analizzare un'area per volta, facilitando il processo di individuazione delle "cause delle cause", tramite le quali si riuscirà ad individuare la vera causa scatenante.

Si tratta di uno strumento molto versatile, utilizzabile non solo in fasi diagnostiche, ovvero per individuare le cause di deviazioni, ma anche in fasi di decision making, per individuare possibili soluzioni e stimare i rischi delle soluzioni stesse, e in fasi di pianificazione, per prevedere potenziali problemi.

A seguire, la tecnica delle *5S*, ideata in territorio giapponese e il cui nome deriva appunto da cinque diversi concetti espressi proprio in lingua giapponese:

- i. *Seiri* (separare), individuare ciò che è strettamente necessario nel lavoro quotidiano e distinguerlo da ciò che invece serve sporadicamente o addirittura può non servire più;

- ii. *Seiton* (riordinare), dopo aver eliminato ciò che non serve, occorre sistemare in modo funzionale ciò che è stato etichettato come importante ai fini dello svolgimento del lavoro;
- iii. *Seiso* (pulire), si tratta del modo più concreto per ispezionare e revisionare gli strumenti che l'azienda affida ai propri lavoratori e che ci si aspetta che vengano usati al meglio;
- iv. *Seiketsu* (sistematizzare), occorre poi preoccuparsi che le regole sopra definite vengano rispettate e che eventuali situazioni di disordine possano emergere ed essere affrontate con facilità;
- v. *Shitzuke* (standardizzare), si tratta del passaggio chiave, che dimostra che il plant ha saputo adeguarsi al cambiamento e alle nuove regole.

Attraverso lo sviluppo di quest'attitudine si vuole puntare ad un continuo miglioramento delle condizioni di lavoro nonché alla crescita della produttività, tramite eliminazione di attività non a valore aggiunto, riduzione dei searching times e dei livelli qualitativi (Jiménez, Romero, Dominguez, Espinosa, 2015).

La tecnica delle *5WH*, invece, consiste in un semplice strumento di analisi che permette di affrontare una qualsiasi problematica andandone ad esplorare tutti i possibili aspetti. Tale tecnica si sviluppa andando a rispondere a sei principali domande, le quali potranno essere sviluppate a diversi livelli di dettaglio, in funzione delle specifiche circostanze nelle quali si sta conducendo l'analisi.

WHO? (CHI)	Chi lo fa?
	Chi dovrebbe farlo?
	Chi altro potrebbe farlo?
	Chi altro dovrebbe farlo?
WHAT? (COSA)	Cosa bisogna fare?
	Cosa si dovrebbe fare?
	Cos'altro si potrebbe fare?
	Cos'altro si dovrebbe fare?
WHY? (PERCHÈ)	Perchè farlo?
	Perchè farlo lì?
	Perchè farlo poi?
	Perchè farlo in quel modo?
WHERE? (DOVE)	Dove bisogna farlo?
	Dove lo si sta facendo?
	Dove si dovrebbe farlo?
	Dove potrebbe essere fatto?
	Dove dovrebbe essere fatto?
WHEN? (QUANDO)	Quando andava fatto?
	Quando andrebbe fatto?
	Quando potrebbe essere fatto?
	Quando avrebbe dovuto essere fatto?
HOW? (COME)	Come è fatto?
	Come lo si sta facendo?
	Come lo si dovrebbe fare?
	Come potrebbe essere fatto?
	Come avrebbe dovuto essere fatto?

Figura 10. Le domande del 5W1H

L'individuazione delle risposte alle suddette domande permette di comprendere a fondo le specifiche circostanze che hanno portato alla nascita di una problematica, ma risulta essere



fondamentale anche per l'individuazione di possibili soluzioni. Si tratta di uno strumento altamente versatile, motivo per cui trova applicazione in tutti i dieci metodi del FAPS.

Non troppo differente è l'applicazione della tecnica dei *5 Whys*, che consiste nel porsi cinque volte consecutivamente la domanda "perché?" in merito ad uno specifico fenomeno. È fondamentale che venga data risposta a tutte le cinque domande, altrimenti si rischia di non riuscire a identificare la vera radice del problema. Si tratta di una tecnica che può essere utilizzata in fasi di *breakdown analysis*, nell'analisi di problematiche sporadiche o di perdite dovute a cause specifiche. Aver individuato le risposte chiaramente non elimina il problema, motivo per cui, per ciascuna delle cause individuate sarà necessario intraprendere delle azioni correttive. In aggiunta a ciò, l'utilizzo di questa tecnica si pone come obiettivo aggiuntivo quello di far sì che i vari soggetti si abituino a porsi queste domande e soprattutto a trovare in maniera autonoma le risposte.

A seguire, fondamentale è l'utilizzo degli *AM Tags*. Si tratta di appositi cartellini che, dopo essere stati compilati, verranno applicati su specifici macchinari nei pressi di un difetto individuato. Ogniqualvolta viene individuato un difetto che non può essere risolto nell'immediato, oppure nei casi in cui ci si scontri con difetti ricorrenti, sarà necessario fare uso di questi strumenti.

Lo scopo è quello di rendere il più possibile visibili tutte quelle problematiche che possono in qualche modo compromettere la sicurezza degli operatori o la qualità del prodotto.

I tag compilati per ciascun difetto, in realtà, sono due, in quanto il primo rimarrà nei pressi della problematica riscontrata e un secondo, invece, verrà applicato sulle lavagne presenti nei box della UTE, in modo che possa fungere da input per la pianificazione di azioni correttive. Un ulteriore strumento che viene utilizzato per verificare l'efficacia dell'AM Tag è quello di andare ad aggiornare, al variare del tempo, due curve specifiche:

- i. Numero progressivo di Tag elaborati;
- ii. Numero progressivo di Tag risolti.

La distanza tra queste due curve offrirà una stima della prontezza con cui il sistema è capace di implementare i miglioramenti.

Fondamentale è la tecnica della *classificazione ABC*, strumento utilizzato per la classificazione delle attrezzature in funzione della loro priorità per poi poter correttamente allocare le risorse per la manutenzione (umane ed economiche). Lo scopo di questa tecnica è quello di andare a identificare i macchinari più critici presenti all'interno del plant, ovvero quelli che generano un maggiore impatto negativo sul livello di performance dell'intero processo produttivo. Si tratta essenzialmente di andare ad allineare le priorità della manutenzione con gli obiettivi dell'azienda.

Dopo aver chiaramente individuato tutti i possibili macchinari, questi vengono classificati facendo uso del metodo TGPC, tramite il quale si va ad associare un punteggio a ciascun macchinario (Plant Priority Score), calcolato come somma di quattro componenti:

- i. Time to repair;
- ii. Gravity;
- iii. Probability of failure;
- iv. Critical nature of the plant.

Di seguito viene riportato il procedimento per il calcolo del PPS.

Classification	Description	Item	Score assignment guidelines
<b>TIME TO REPAIR (T)</b>	Calcolo del MTTR in funzione dello storico di dati relativi ai guasti	MTTR	>1 GG, 35; <0.5 H, 5
<b>GRAVITY (G)</b>	Effetto generato su altri macchinari o attrezzature in termini di sicurezza, produzione, environment e costi	USE	100%, 5; <60%, 1
		EFFECT ON PRODUCT QUALITY KPI	>10%, 5; no effect, 0
		COST OF NON-QUALITY	>2.5K€, 5; 250€, 1
		LOSSES OF ENERGY	>4k€, 5; 250€, 1
		IMPACT ON PRODUCTION	0.1% of the production loss, 5; <0.01% of the production loss, 1
		IMPACT ON SAFETY	HIGH RISK, 5; NO RISK, 1
	IMPACT ON THE ENVIRONMENT	HIGH RISK, 5; MODERATE EFFECT, 1	
<b>PROBABILITY OF FAILURE</b>	Calcolo del MTBF in funzione dello storico di dati relativi ai guasti	MTBF	>4/MONTH, 35; <1/MONTH, 5
<b>CRITICAL NATURE OF THE PLANT</b>	Definizione dell'impatto in termini di fermi linea	CRITICAL IMPACT	NO IMPACT, 20
			<24H, 40
			>24H, 60
			IMPACT ON MORE THAN ONE LINE <24H, 80
			IMPACT ON MORE THAN ONE LINE >24H, 100

Tabella 11. Calcolo del PPS

Dopodiché, i vari macchinari verranno classificati in ordine decrescente in funzione del loro PPS, per poi essere associati ad una specifica classe:

- i. AA → >95%;
- ii. A → compreso tra l'80% e il 95%;
- iii. B → compreso tra il 20% e l'80%;
- iv. C → minore del 20%.

Infine, sarà necessario effettuare un check incrociato dei risultati ottenuti con l'output del Cost Deployment: in tal modo ci si potrà concentrare sulle attrezzature che stanno causando perdite significative e che sono cruciali per il business.

Altra importante tecnica è quella del *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)*, ovvero un'analisi preventiva, la quale potrà essere incentrata sia su un processo che su un prodotto, volta a identificare per poi eliminare errori o problemi prima che questi possano avere impatti troppo costosi da gestire (Chong, Ng, Goh, 2016).

Per ciascuna problematica, sarà necessario stimare l'effetto che questo potrà avere sul sistema, la probabilità con cui potrà verificarsi e i mezzi a disposizione per individuarlo. Per ogni Failure Mode sarà necessario andare a stimare tre diversi indicatori:

- i. P, probabilità di accadimento delle cause scatenanti il Failure Mode;
- ii. G, gravità degli effetti generati dal Failure Mode;
- iii. R, possibilità di documentare/registrare il Failure Mode laddove questo dovesse accadere.

Successivamente, si andrà a calcolare il cosiddetto PGR Index, calcolato come prodotto dei tre suddetti indicatori, tramite il quale sarà possibile prioritizzare i vari Failure Mode e assegnare conseguentemente le azioni correttive.

Lo strumento dei cartellini *Kanban*, invece, è fondamentale ai fini di una corretta pianificazione della produzione, in quanto permette di dimensionare il flusso di produzione sfruttando un approccio pull: ciò significa che ciascuna workstation andrà a prelevare soltanto ciò che effettivamente serve dal magazzino inter-operazionale, autorizzando parallelamente la workstation precedente a reintegrare quanto è stato prelevato; si osserva quindi che saranno i processi a valle ad attivare i processi a monte. Lo scopo di questa tecnica è quello di andare ridurre i livelli delle scorte, ottenere elevati livelli qualitativi, semplificando i processi ed eliminando gli idle times.

L'applicazione dello strumento del Kanban si caratterizza di quattro distinte fasi:

- i. Definizione del modello, durante questa fase ci si occuperà di codificare il materiale, definire le tempistiche per il rifornimento e le tipologie di container;
- ii. Definizione delle procedure, stesura dei vari cartellini e attivazione delle procedure di rifornimento dei contenitori;
- iii. Pilot application, applicazione delle procedure in aree pilota, controllo del corretto funzionamento delle procedure e conseguente proposte di miglioramenti;
- iv. Deployment, estendere le procedure al di fuori dell'area pilota e in tutto il plant.

Per poter identificare le attività non a valore aggiunto, da intendersi sia per il cliente che per l'azienda, si fa uso della tecnica *NVAA (Not Value Added Activity)*. Ci si riferisce essenzialmente a movimenti non necessari, attese, conteggi, rilavorazioni, ispezioni e controlli. È bene notare che non necessariamente un'attività non a valore aggiunto dovrà essere eliminata, in quanto potrà comunque essere essenziale ai fini dell'intero processo: avere però una completa visibilità sulla quota parte delle attività che non generano valore aggiunto rispetto a tutte le attività svolte per ciascuna fase dell'intero processo, permette di individuare possibili margini di miglioramento.

Lo strumento della *OPL (One Point Lesson)* viene ampiamente utilizzato nelle fasi di training e si pone come obiettivo quello di ottimizzare la formazione su specifici topic. Ciò avverrà basando i programmi di formazione su più lezioni, ciascuna delle quali sarà incentrata su uno specifico argomento, facendo in modo che queste non abbiano una lunga durata e che tutto venga illustrato possibilmente in un'unica pagina. Affinché la OPL sia chiara e facile da comprendere, si farà uso massivo di disegni, fotografie e schemi. Le varie OPL dovranno essere numerate, suddivise in funzione dell'argomento e gestite in modo da permettere l'immediata applicazione di quanto descritto.

La tecnica del *Poka Yoke* viene invece utilizzata per la prevenzione di errori umani durante lo svolgimento di una qualsiasi attività produttiva. Il concetto base a partire dal quale si sviluppa questa tecnica è che la produzione di anche solo un prodotto difettoso non è ammissibile e che la qualità a costo zero può essere ottenuta soltanto prevenendo i difetti.

L'applicazione del Poka Yoke si articola su otto principi:

- i. Costruire qualità nei processi;
- ii. Tutti gli errori dovuti a disattenzioni possono essere eliminati;
- iii. Smettere di commettere errori e cominciare a svolgere le attività correttamente;
- iv. Pensare a come evitare gli errori;
- v. Se si hanno delle idee per alcuni miglioramenti, cercare di applicarle il prima possibile;
- vi. Quando tutti cooperano, errori e difetti possono essere azzerati;
- vii. "Ten heads are better than one";
- viii. Cercare la causa reale del problema facendo uso della tecnica 5W1H.

La *QA (Quality Assurance) Matrix*, ha come scopo quello di evidenziare la correlazione tra i difetti riscontrati in un prodotto e le varie fasi del processo produttivo, per poi individuare quali di questi difetti risultano maggiormente critici in funzione di parametri quali la frequenza di accadimento, il costo del materiale, il costo della manodopera coinvolta nonché l'impatto sul cliente.

Tale matrice viene realizzata andando inizialmente a redigere una lista di tutte le problematiche o difetti, i quali saranno le righe della matrice. Per ciascuna problematica o difetto, bisognerà definire una serie di indici che permettano di calcolarne la gravità (come accennato, frequenza di accadimento, il costo di materiale e manodopera coinvolta, l'impatto sul cliente) e che saranno le colonne della matrice. Un ulteriore set di colonne permetterà di definire il legame tra processo e difetto riscontrato. Per realizzare un'analisi maggiormente accurata, sarà possibile integrare la 4M Technique. Lo studio di tale matrice permetterà di individuare le aree in cui sarà maggiormente necessario intraprendere azioni correttive.

Una seconda matrice è la *QM (Quality Maintenance) Matrix*, la quale ha lo scopo di definire quali siano le condizioni operative che devono essere necessariamente mantenute per garantire il livello di qualità desiderato, chi dovrà occuparsi di mantenerle, in che modo e con che frequenza al fine di evitare non conformità dei prodotti. In tal modo, sarà innanzitutto possibile stilare una check-list di obiettivi qualitativi da raggiungere per garantire una corretta prevenzione e un'immediata reazione alle non conformità. In aggiunta, verranno definite le specifiche responsabilità degli operatori e dello staff di manutenzione, con conseguente possibilità di rilevare l'eventuale necessità di attività di training.

Sono inoltre state individuate cinque regole per la definizione delle condizioni che garantiscono l'assenza di difetti ("*Five conditions for zero defects*"). Queste dovranno essere:

- i. Definite in maniera chiara e lineare;
- ii. Facili da implementare;
- iii. Il più possibile invariate nel tempo;
- iv. Facili da riconoscere, laddove dovessero subire variazioni;
- v. Facili da ristabilire.

Una tra le più famose tecniche, applicata anche da altre grandi aziende quali Motorola o American Express, è il *Six Sigma*: si tratta di una metodologia che permette un'efficiente gestione dei processi e un fitto controllo delle relazioni causa-effetto, facilitando così il compito di identificare, quantificare ed eliminare tutte quelle attività che non concorrono alla

crescita della profittabilità.

Si possono individuare tre diverse tipologie di applicazioni per questa tecnica. La prima, definita dall'acronimo *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), consiste nella ricerca di miglioramenti continui dei processi già esistenti; la seconda, invece, definita dall'acronimo *DMADV* (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*), è basata sulla riprogettazione di processi esistenti o sulla progettazione di nuovi processi; infine, l'applicazione *DFSS-IDOV* (*Design For Six Sigma – Identify, Design, Optimize, Validate*) consiste in un approccio volto ad una robusta progettazione.

Entrando più nello specifico della prima delle tre tecniche, nonché quella di utilizzo più comune, questa si compone di cinque attività:

- i. Define, identificazione del problema, degli obiettivi e dell'ambito del progetto;
- ii. Measure, analisi e misurazione delle performance attuali del processo;
- iii. Analyze, analisi e registrazione delle principali cause di inefficienza;
- iv. Improve, definizione di una strategia di problem-solving;
- v. Control, standardizzazione della situazione e miglioramento continuo.

Si tratta di un approccio basato su dati oggettivi e non su percezioni soggettive, motivo per cui sarà fondamentale una fase preliminare di raccolta dati: se i dati non saranno a disposizione, bisognerà ricorrere a campioni statistici.

Un'ulteriore tecnica che caratterizza il FAPS è quella dello *SMED* (*Single Minute Exchange Of Die*), acronimo con il quale si fa riferimento ad una serie di tecniche volte a realizzare le operazioni di cambio tipo e di set-up sulle linee di produzione in meno di dieci minuti, garantendo al tempo stesso la continuità delle operazioni. Si tratta di uno strumento particolarmente idoneo per produzioni a lotti con frequenti cambi tipo, soprattutto laddove questi richiedano delle tempistiche piuttosto elevate. In aggiunta, viene utilizzato per processi che richiedono spesso il cambio delle attrezzature, per ottimizzare la gestione dei bottleneck e per processi nei quali le operazioni di set-up possono compromettere la qualità della lavorazione. I risultati attesi dall'applicazione di queste tecniche sono i seguenti:

- i. Miglioramento dell'efficienza della linea produttiva;
- ii. Riduzione del WIP e dei relativi costi di immobilizzazione;
- iii. Riduzione della complessità del lavoro richiesto agli operatori;
- iv. Maggior flessibilità e reattività a modifiche dei piani di produzione;
- v. Riduzione dei costi legati alla non qualità (scarti e rilavorazioni a seguito del set-up);
- vi. Riduzione dei costi di gestione dei processi;
- vii. Maggior coinvolgimento degli operatori, in quanto risulterà impossibile l'applicazione di tali tecniche senza l'aiuto di coloro che conoscono perfettamente i macchinari e le attrezzature.

La *Value Stream Map* risulta, invece, fondamentale nell'ottica dell'individuazione di tutte quelle aree che comportano una perdita per l'azienda. A seguito di una fase iniziale volta a rappresentare il flusso attuale dei materiali e delle informazioni da fornitore a cliente finale (*Current State Map*), si procederà con la rappresentazione dei flussi rivisitati in funzione degli sprechi individuati e delle rispettive cause (*Future State Map*). Facendo riferimento ai principi della Lean Production, l'analisi dovrebbe proseguire con la realizzazione dell'*Ideal State Map* nell'ottica del conseguimento del miglioramento continuo.

Le fasi finali dell'applicazione di questa tecnica consistono nella definizione e a seguire della validazione di un piano di implementazione dei possibili miglioramenti.

Infine, l'ultimo strumento illustrato è quello della *X Matrix*, fondamentale nell'ottica di miglioramenti in termini qualitativi e che permette di individuare la causa dei difetti di produzione nonché la correlazione tra l'anomalia riscontrata e i componenti dei macchinari che l'hanno generata. Più nello specifico, si prendono in considerazione quattro aree, le quali risultano essere correlate tra di loro:

- i. Defect mode;
- ii. Abnormal phenomenon;
- iii. Section o Machine group;
- iv. Q points o Componenti.

Per ciascuna delle quattro aree sopra indicate verrà stilata una lista di elementi, per poi andare ad individuare le connessioni tra i vari componenti delle diverse liste. In tal modo, per ciascuna delle aree, sarà possibile individuare quale elemento è la causa delle principali criticità.

### 3.2.2. Gli Audit

Il funzionamento di tale modello e i miglioramenti derivanti dall'applicazione delle tecniche fino a qui descritte dovranno essere monitorati e valutati: per questo motivo vengono periodicamente organizzati i cosiddetti Audit. Tale pratica sarà fondamentale non solo nell'ottica di valutare lo status di avanzamento dell'applicazione delle pratiche del FAPS, ma anche per poter guidare i vari attori del sistema produttivo verso una migliore applicazione dei vari metodi.

Bisogna distinguere gli Audit interni (Self Audit) da quelli esterni (External Audit): i primi vengono organizzati e gestiti dal Plant Manager, il quale si occuperà di monitorare il livello di applicazione delle attività e delle tecniche che caratterizzano ciascun pillar, mentre i secondi saranno a carico di soggetti esterni che, a seguito di attente valutazioni, potranno rilasciare certificazioni per il raggiungimento di determinati risultati.

Indipendentemente dal fatto che tali Audit siano interni o esterni, durante ciascuno di questi verranno valutati dieci criteri tecnici e dieci criteri manageriali (si noti il forte parallelismo con la struttura del tempio del WCM).

La valutazione consiste essenzialmente nell'assegnazione di un punteggio, detto *Assessment Level*, compreso tra 0 e 5 a ciascuno dei criteri, sia tecnici che manageriali, il quale indicherà lo status dell'applicazione delle procedure e delle tecniche che caratterizzano quello specifico metodo. Tale punteggio verrà poi utilizzato per il calcolo di un unico indicatore, detto Methodologies Implementation Index (MII): si tratta di un indicatore molto flessibile, in quanto applicabile non solo a livello dell'intero plant, ma anche a livello della singola unità produttiva. Il calcolo di questo indicatore è semplicemente frutto della somma del punteggio ottenuto per ciascun pillar. Al termine della valutazione, potrà essere assegnato un riconoscimento in funzione del punteggio ottenuto:

- i. Bronze, per un punteggio maggior di 50 punti;
- ii. Silver, per un punteggio maggiore di 65 punti;
- iii. Gold, per un punteggio maggiore di 80 punti.

Per poter ottenere i suddetti riconoscimenti, oltre a superare il rispettivo punteggio limite, sarà necessario che vengano rispettati dei requisiti minimi relativi a specifici metodi. Questi sono riassunti nella tabella seguente.

<i>Acknowledgements</i>	<i>Safety</i>	<i>AM</i>	<i>PM</i>	<i>WO</i>	<i>Quality</i>	<i>Logistics</i>
<b><i>Bronze</i></b>	3	2	2	2		
<b><i>Silver</i></b>	4	2	3	3	3	
<b><i>Gold</i></b>	4	2	4	4	4	4

*Tabella 12. Minimum requirements per gli Acknowledgements*

Questa fase di monitoraggio ha come obiettivo quello di valutare su quali dei seguenti aspetti è maggiormente necessario concentrarsi per poter massimizzare le performance del sistema produttivo:

- i. Miglioramento dei processi;
- ii. Miglioramento della qualità dei prodotti;
- iii. Controllo e graduale riduzione dei costi;
- iv. Flessibilità nel soddisfare le richieste dei clienti;
- v. Coinvolgimento e motivazione di coloro che operano sui vari processi.

Nel concreto, il miglioramento delle performance del sistema produttivo si traduce in crescita della capacità di consegnare il prodotto corretto al cliente corretto, rispettando le tempistiche richieste e gli standard qualitativi imposti, andando ad eliminare lungo il percorso tutte quelle attività non a valore aggiunto e qualsiasi forma di spreco, in termini di risorse umane, materiali ed energetiche.



#### 4. Simulazione del funzionamento di una linea di produzione

Lo scopo principale di tale elaborato è quello di presentare i risultati relativi allo studio effettuato su una delle linee di produzione del plant torinese FPT Industrial. Più nello specifico, si è cercato di comprendere quali fossero i punti deboli di tale linea di produzione e di proporre conseguentemente miglioramenti tali da ottenere non solo un'ottimizzazione dei flussi ma anche un benefit in termini economici.

Si tratta chiaramente di un'idea che nasce dalle applicazioni delle filosofie del WCM e del FAPS, le quali verranno integrate con l'utilizzo di un simulatore appositamente realizzato dal sottoscritto e che servirà per disporre di una panoramica relativa al funzionamento della linea di produzione nei diversi scenari che verranno testati.

Di forte ispirazione è sicuramente stato il pilastro LCS (Logistics & Customer Service):

l'analisi nasce proprio dalla necessità di ripristinare un buon livello di sincronia tra l'output della linea di produzione e la richiesta del cliente finale. Si cercherà di raggiungere tale obiettivo dimostrando tramite il primo scenario di simulazione che la capacità produttiva di cui attualmente si dispone non è sufficiente al soddisfacimento della domanda né tantomeno al mantenimento di uno stock di prodotto finito tale da garantire un turnover lineare tra i diversi codici attualmente processati. Verrà proposta una variazione del mix produttivo parallelamente all'applicazione di strategie di outsourcing e insourcing su alcuni particolari, giustificata dai risultati offerti dal simulatore applicato su questo nuovo scenario. In aggiunta a ciò, nell'ottica dell'ottimizzazione del funzionamento e della gestione della linea di produzione studiata, si è cercato in fase di realizzazione del simulatore di implementare una gestione dei flussi basata sull'utilizzo dei Kanban: l'input per il cambio tipo non sarà altro che il frutto di una richiesta delle linee di montaggio; verrà quindi definito un lotto di lavorazione che permetterà di ristabilire la copertura desiderata e ogni qualvolta tale lotto avrà terminato la lavorazione nella sua prima fase verrà rilasciato l'input di processare un nuovo lotto di un altro codice in funzione del gap tra scorta target e scorta effettiva. Essendo la richiesta dei clienti relativamente variabile nel tempo, i lotti di produzione per ciascun codice non saranno invariati, ma saranno appunto frutto dell'esigenza del momento e saranno funzione dell'andamento della domanda media nel tempo. Lo scopo è quello di instaurare una metodologia basata su un approccio pull, ma che includa, a causa dell'elevata variabilità di codici che devono essere processati, anche alcuni aspetti dell'approccio push.

Fondamentale sono stati inoltre i principi sostenuti dal metodo del Focused Improvement.

L'applicazione dello strumento della simulazione ha infatti permesso di individuare i colli di bottiglia dei processi dei singoli prodotti fornendo quindi importanti spunti per l'applicazione di alcune modifiche volte all'ottimizzazione dei flussi e alla massimizzazione dell'output. Ai fini dell'impostazione del lavoro è stata inoltre fondamentale l'analisi PDCA.

Di seguito viene brevemente riportato in che modo questa è stata applicata in tutte le sue fasi:

- i. *Plan*, la simulazione applicata nello scenario iniziale nonché quello attuale ha permesso di individuare i vincoli al soddisfacimento della domanda, riassumibili in uno stress eccessivo della linea a causa di un mix produttivo non sostenibile in termini di capacità produttiva; è stata quindi portata avanti la proposta di variazione del suddetto mix produttivo;
- ii. *Do*, il simulatore è stato modificato e adeguato a più scenari migliorativi fino a giungere all'individuazione di quello ottimo;
- iii. *Check*, sono stati analizzati i risultati della simulazione nello scenario migliorativo, con conseguente individuazione di notevoli miglioramenti sia in termini economici che in termini di livello di servizio verso il cliente;
- iv. *Act*, ai fini della validazione del modello e di un eventuale estensione ad altri reparti produttivi sarà necessario, perlomeno temporaneamente, applicare nel concreto quanto proposto e verificare che i risultati ottenuti coincidano con l'output della simulazione.

Non molto distante ma comunque di forte ispirazione è stata una delle tecniche del Six Sigma, in particolare quella del *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)*, la quale si pone come obiettivo quello di apportare miglioramenti a sistemi già esistenti, nati a seguito dell'individuazione di criticità misurabili a partire dalle quali implementare azioni correttive che andranno successivamente monitorate e validate.

A sostegno di un progetto migliorativo sarà infine necessario fornire dei dati relativi ad un possibile guadagno in termini monetari: la nuova configurazione della linea produttiva studiata sarà necessariamente frutto di costi aggiuntivi, i quali saranno però sostenuti da una serie di benefici tali da giustificare le proposte migliorative. Come suggerito dal pilastro del Cost Deployment, sarà necessario mappare le criticità riscontrate in modo da potervi associare i rispettivi costi e, parallelamente, sarà necessario individuare quale tra i possibili miglioramenti preveda un costo nella sua applicazione tale da ottenere un sufficiente beneficio dall'abbattimento delle inefficienze riscontrate.

Entrando più nello specifico, prima di procedere alla descrizione della ricerca vera e propria, sarà necessario fornire una descrizione dettagliata della linea di produzione trattata: ciò significa, descrivere i vari processi e i vari tipi di lavorazione che vengono eseguiti dai diversi macchinari, nonché spiegare la tipologia di materiale lavorato e la funzione che questo ricopre in relazione all'assale finito.

A seguire verrà esposta un'analisi della domanda relativa ai codici trattati sulla linea esaminata, fase che, come verrà a breve descritto, è di fondamentale importanza nell'ottica di un progetto di simulazione.

Il terzo step sarà quello relativo alla descrizione del funzionamento del simulatore e di come questo è stato programmato. Seguirà l'analisi dei risultati della simulazione effettuata in un contesto altamente vicino alla realtà attuale, per poi andare ad implementare i possibili miglioramenti e verificare sempre tramite lo studio dei risultati della simulazione i vantaggi che ne potranno derivare.

È stato però ritenuto opportuno integrare la ricerca con una piccola introduzione ai principi teorici e pratici della simulazione, i quali risulteranno fondamentali nell'ottica di una piena comprensione dei passaggi che hanno portato alla realizzazione del simulatore e all'individuazione dei dati in input su cui ne verrà basato il funzionamento.

## 4.1 I principi teorici della simulazione

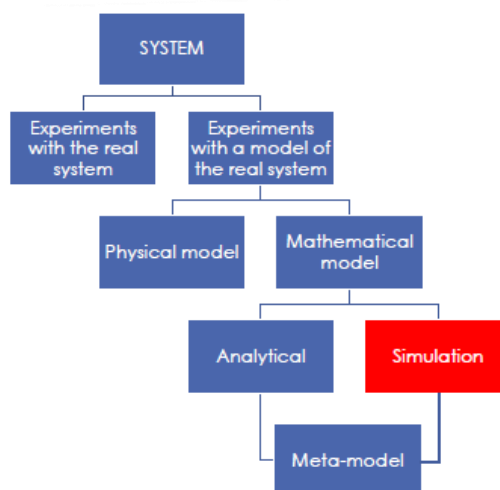


Figura 1. Lo studio dei sistemi

Il diagramma illustrato in Figura 11 permette di capire come è possibile andare a studiare i diversi sistemi: in assenza di un modello fisico, si farà uso di modelli matematici, i quali si distingueranno in modelli analitici o simulazioni. La differenza tra questi due approcci è che il primo offrirà una risposta chiusa sotto forma di soluzione di un'equazione, mentre il secondo permetterà di testare diverse condizioni logico-matematiche.

Più in generale, la simulazione viene utilizzata per ottenere una miglior comprensione del funzionamento del sistema e soprattutto laddove si vogliono implementare dei miglioramenti: vengono fissate a monte specifiche condizioni per poi andare a predire il livello di performance del sistema; cambiando le condizioni, cambieranno i risultati della simulazione.

Di seguito vengono elencati i principali vantaggi offerti dalla simulazione:

- i. Aiuta a scegliere correttamente;
- ii. Time compression & expansion, di fondamentale importanza è la distinzione tra tempo di simulazione, ovvero la durata del run del simulatore, e tempo simulato;
- iii. Permette di capire il perché di certi comportamenti del sistema;
- iv. Permette di esplorare diverse alternative e possibilità;
- v. Aiuta a identificare problemi e vincoli del sistema
- vi. Aiuta a costruire consenso all'interno di un team
- vii. Prepara al cambiamento e specifica i requisiti necessari affinché questo possa essere implementato.

Chiaramente, vi saranno anche degli svantaggi nell'utilizzo della simulazione:

- i. Non offre risposte esatte ma solo stime e approssimazioni;
- ii. Si basa su modelli, la cui preparazione richiede una specifica formazione;
- iii. Difficoltà nell'interpretare i risultati della simulazione;
- iv. Time consuming e costoso.

Nell'ambito delle simulazioni è inoltre necessario effettuare le seguenti distinzioni:

- i. Statica vs Dinamica, possibilità di rappresentare sistemi time-dependent o time-independent; la prima tipologia simula sistemi in un certo istante temporale, la seconda simula l'evoluzione nel tempo del sistema;
- ii. Deterministica vs Stocastica, differiscono per l'assenza o presenza di variabilità; la prima tipologia di simulazioni offrirà sempre lo stesso risultato a fronte degli stessi dati in input, mentre nella seconda tipologia si avranno Random Input che porteranno a Random Output (RIRO) con la conseguenza che ad ogni run di simulazione si potranno avere risultati diversi.

Vi è infine un'ulteriore distinzione tra le simulazioni dinamiche, le quali possono distinguersi in funzione di come viene trattata l'evoluzione del tempo: si parla di simulazione ad eventi discreti (*Discrete Event Simulation*) nel caso in cui l'evoluzione del tempo sia dettata dalla realizzazione di eventi specifici. Nel caso di questo progetto di ricerca, si è fatto uso di un software tramite il quale è possibile effettuare simulazioni ad eventi discreti, ovvero simulazioni dinamiche, stocastiche ed event-oriented.

Il principale componente delle simulazioni ad eventi discreti è l'entità, termine con il quale si va a identificare ciò che fluisce nel sistema e che ne può variare lo stato. Ciascuna entità sarà caratterizzata da una propria dimensione del batch, da un proprio tempo di inter-arrivo e da una serie di attributi. Le entità che fluiscono nel sistema verranno processate da apposite risorse, altro elemento fondamentale delle simulazioni, a loro volta caratterizzate da uno stato, che potrà essere idle o busy, da guasti e da schedules. Potrà verificarsi la situazione per cui un'entità, prima di essere processata, dovrà attendere che l'apposita risorsa termini di processare l'entità precedentemente arrivata: si formano in questo modo le code o buffer, ultimo componente principale delle simulazioni, caratterizzati da una propria capacità e da una dispatching rule.

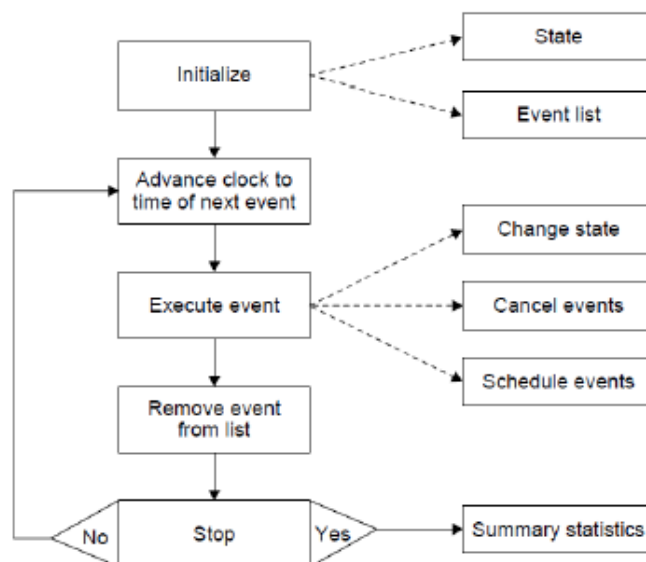


Figura 2. Algoritmo di una simulazione a eventi discreti

In Figura 12 è stato rappresentato l'algoritmo di base di una generica simulazione ad eventi discreti. Tra gli elementi maggiormente degni di nota vi sono sicuramente la lista degli eventi

e il clock. Si tratta di elementi strettamente dipendenti tra di loro, in quanto l'avanzamento del clock, che non è altro che il tempo simulato, è funzione degli eventi che si realizzano, così come l'avanzamento del tempo simulato permette il continuo aggiornamento della lista degli eventi. Nel caso specifico di una simulazione ad eventi discreti, si osserva quindi che gli incrementi temporali sono esclusivamente funzione del tempo che intercorre tra due eventi successivi e che tutto ciò che succede durante tale intervallo temporale è totalmente irrilevante ai fini della simulazione. Come si evince osservando sempre la Figura 12, un evento presenta tre scopi principali:

- i. Modificare lo stato del sistema, il quale a sua volta può essere identificato dallo stato in cui si trovano i serventi (idle o busy) e dal numero di entità in coda;
- ii. Schedulare un nuovo evento
- iii. Cancellare un evento

Alla luce di quanto detto, si deduce quindi che gli eventi potranno essere:

- i. Arrivo delle entità o uscita delle entità, comporta una variazione del numero di componenti in circolo nel sistema;
- ii. Inizio o fine delle lavorazioni, segnala il momento in cui la macchina diventa idle o smette di essere idle.

Una volta che un evento è stato eseguito, questo verrà rimosso dalla lista e parallelamente l'avanzamento del clock di simulazione farà sì che nella stessa lista possano comparire nuovi eventi da processare. Si osserva quindi che tramite la lista degli eventi sarà possibile monitorare ciò che accade durante la simulazione. Potrebbero generare problemi più eventi che si verificano nello stesso istante, casistica nella quale sarà necessario inserire dei vincoli e sviluppare dei sistemi di priorità tra le diverse tipologie di eventi volti a rendere più fluido lo svolgimento della simulazione.

#### 4.1.1 Le fasi di un progetto di simulazione

In generale, si fa riferimento ad un progetto di simulazione ogni qualvolta si cerchi di risolvere un problema facendo uso della simulazione. Indipendentemente dal problema affrontato, il progetto sarà articolato in otto specifici step.

Il primo step è quello della Definizione del Problema, fase durante la quale verrà accuratamente analizzato il problema e verranno individuati tutti quei dati che bisognerà raccogliere: sarà necessario innanzitutto capire di quali dati non si dispone.

Nel corso di questa fase verrà fissato il livello di dettaglio che caratterizzerà la simulazione, il quale andrà necessariamente a influenzare l'ammontare di dati di cui sarà necessario disporre. Il livello di dettaglio sarà inoltre influenzato da vincoli su tempi e costi, per cui l'approccio migliore prevederà di partire da un modello semplice per poi andare gradualmente ad aggiungere ciò che è necessario.

Sempre durante questa fase sarà necessario individuare astrazioni, semplificazioni e assunzioni che caratterizzeranno il modello di simulazione. Necessario specificare la

differenza tra assunzione e semplificazione: la prima consiste in un'ipotesi su ciò che non si conosce del sistema, mentre la seconda permette di rendere meno complesso ciò che già si conosce.

Durante questa prima fase ci si occuperà inoltre di definire gli obiettivi della simulazione, le misure di performance che si vogliono ottenere, l'orizzonte di simulazione, il tempo e le risorse necessarie per condurre il progetto.

A seguire avrà inizio la fase di Costruzione del Modello Concettuale: si andrà a distinguere cosa verrà modellizzato del sistema reale e cosa invece verrà escluso dalla modellizzazione, inserendo tutte le assunzioni fatte per rappresentare il sistema. Il modello concettuale verrà utilizzato dagli sviluppatori software e potrà essere modificato continuamente durante l'intera fase di sviluppo del modello.

Per questa fase si potrà fare uso di semplici diagrammi di flusso o, in alternativa del linguaggio UML (Unified Modeling Language) e del metodo ERG (Event Relationship Graph).

Successivamente si passerà alla vera e propria Costruzione del Modello, andando a implementare un codice realizzato con uno specifico linguaggio di programmazione, il quale potrà essere di tipo general purpose o di tipo simulation oriented. I linguaggi di tipo general purpose offrono più flessibilità ma al tempo stesso rendono necessario dover implementare anche alcuni tool base della simulazione, quali il clock e la lista degli eventi. Nella ricerca qui presentata, si è fatto uso di un linguaggio di tipo simulation oriented.

Lo step successivo sarà quello legato all'Analisi degli Input, fase durante la quale vengono settati i parametri e le distribuzioni dei dati raccolti: non sempre si avrà la possibilità di disporre dei dati necessari per eseguire l'analisi, motivo per cui sarà necessario predisporre delle metodologie per ricavarli o comunque stimarli. Le distribuzioni saranno fondamentali nell'ottica di una rappresentazione aggregata di tutti i dati a disposizione.

Si tratta in generale di uno step piuttosto delicato in quanto sarà a partire dai dati ricavati che verrà impostato il progetto di simulazione: ne deriva che, laddove questi dovessero essere sbagliati, obsoleti o parziali, potranno insorgere delle problematiche.

In alternativa, sarà possibile fare uso direttamente dei dati raccolti senza andare a ricavarne la distribuzione: si parla in tal caso di Trace Driven Simulation, simulazione guidata dai dati raccolti sul campo. In questo caso il simulatore va semplicemente a leggere un file contenente i dati raccolti, andando così a simulare il sistema in condizioni specifiche. Questa tipologia di simulazione è molto utile laddove si voglia riprodurre un comportamento specifico del sistema, eventualmente in condizioni diverse, per individuare alcuni miglioramenti da apportare (si pensi al caso in cui si voglia replicare il comportamento del sistema nel giorno di picco della domanda ma in presenza di una macchina aggiuntiva). Al tempo stesso, questo tipo di simulazione non permette di effettuare numerose repliche, in quanto risulterebbe eccessivamente time consuming reperire dati a sufficienza relativi a momenti specifici. Questa fase diventerebbe particolarmente complessa laddove il sistema che si vuole simulare ancora non dovesse esistere: potrebbe essere utile in questo caso rifarsi a sistemi simili adottati da terzi o chiedere il consulto di esperti.

Si è detto che i dati possono essere utilizzati per individuare una distribuzione (empirica o teorica). Laddove nessuna delle distribuzioni teoriche che si conoscono riesca a rappresentare correttamente i dati, eventualmente perché caratterizzati da un mix di distribuzioni, si farà uso di quella empirica, tramite la quale si va essenzialmente a definire la probabilità con cui un dato rientri in un certo intervallo o assuma un valore specifico.

Dopo aver raccolto i dati e realizzato il modello sarà necessario verificare che questo esegua pedissequamente tutto ciò che è necessario ai fini della riuscita di una corretta simulazione in funzione del modello concettuale realizzato.

Arrivati al tal punto del progetto sarà necessario passare alla vera e propria progettazione della simulazione, tramite quello che viene definito Design Of Experiments (DOE).

Essenzialmente, verranno individuati gli scenari nei quali si vorrà simulare il sistema (progettazione strategica) e le caratteristiche di ciascuno di questi (progettazione tattica).

Nello specifico, per poter definire uno scenario sarà necessario individuare:

- i. Il tempo simulato per ciascun run;
- ii. Il numero di run;
- iii. L'eventuale presenza di un transitorio ovvero un intervallo temporale durante il quale il sistema raggiungerà una condizione di equilibrio.

Dopo aver eseguito la simulazione seguirà quella che viene definita Analisi degli output, andando a calcolare le misure di performance del sistema ed effettuando comparazioni con eventuali alternative o con un benchmark.

#### 4.2 L'area pilota: la linea dei semiassi

L'obiettivo di questo paragrafo è quello di andare a descrivere la linea di lavorazione che è stata selezionata per condurre questa analisi.

Come precedentemente accennato, la linea dei semiassi è posta sotto la gestione della UTE 1 e i prodotti che vengono lavorati sono interamente di interesse per la UTE 9.

Entrando più nello specifico, si tratta di componenti che vengono utilizzati per l'assemblaggio degli assali posteriori e che rientrano a far parte di quell'insieme di meccanismi che permettono di trasmettere alle ruote del veicolo l'energia sviluppata dal motore.

La linea di produzione in questione è, nelle condizioni attuali, adibita alla lavorazione di tutti i semiassi per i ponti della famiglia NDA e di parte di quelli delle famiglie HD e SPR: si tratta nel complesso di quattro particolari ai quali verrà fatto riferimento facendo uso delle lettere A, B, C e D. Si noti che questi sono soltanto una percentuale di tutti i semiassi di cui farà uso la linea di montaggio e che la quota restante è al momento commissionata a fornitori terzi. Di seguito, in Figura 14, un diagramma riassuntivo delle principali fasi che caratterizzano la lavorazione di questi particolari.

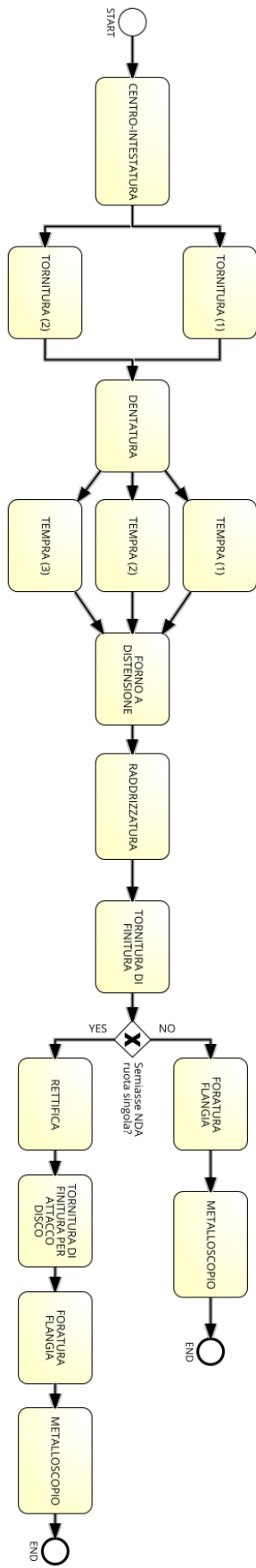


Figura 3. Linea dei semiassi (BPMN)



Partendo dalle fasi a monte della linea di lavorazione, si osserva una prima particolarità nella fase di tornitura: tale operazione viene realizzata da due serventi, i quali possono essere utilizzati in parallelo permettendo quindi di lavorare due unità in contemporanea.

La seconda delle fasi particolari che caratterizzano questa linea è quella della tempra. Tale fase può essere realizzata su tre diversi serventi, di cui uno avrà anche la possibilità di processare due unità in contemporanea. La necessità di garantire la lavorazione in parallelo di quattro unità suggerisce la criticità di questo step di lavorazione, il quale, come sarà possibile verificare in seguito, rappresenta il collo di bottiglia del processo di lavorazione di tre dei quattro codici attualmente processati su questa linea.

Un'ulteriore particolarità degna di nota è che, raggiunto un determinato step della lavorazione, il flusso seguito sarà funzione del tipo di prodotto trattato: il flusso di lavorazione dei semiassi qui identificati con il codice D sarà infatti diverso rispetto a quello degli altri semiassi.

La gestione del flusso di questo codice risulta essere particolarmente complessa: ciò dipende non solo dalla conseguente ramificazione della linea di lavorazione ma anche dal fatto che alcune delle operazioni su macchinari comuni agli altri tre codici presentano dei vincoli o delle differenze.

Innanzitutto, la fase di centro-intestatura, ovvero, la prima che caratterizza la linea, non farà parte del processo di lavorazione del codice D: si tratta di una differenza strettamente legata alle condizioni di fornitura del materiale grezzo.

In aggiunta a ciò, un'ulteriore distinzione va fatta in merito alla fase di tempra: si è detto in precedenza che si dispone di tre serventi in parallelo che garantiscono la lavorazione contemporanea di quattro item. Soltanto uno dei tre serventi, ovvero quello capace di processare due item contemporaneamente, nonché quindi quello a capacità produttiva maggiore, sarà in grado di eseguire la lavorazione su questo tipo di semiasse.

La diramazione del flusso avviene a valle della tornitura di finitura: mentre gli altri tre codici passeranno direttamente alla foratura, il codice D dovrà sostenere due operazioni aggiuntive. A seguire dovrà essere realizzata l'operazione di foratura: il macchinario che dovrebbe eseguire tale operazione non è lo stesso che esegue la foratura sugli altri tre codici. Lo status attuale di questo macchinario costringe l'azienda a ricorrere ad aiuti esterni per la realizzazione di tale operazione. Questo implica un'ulteriore complicazione del flusso di tale codice, in quanto a valle dell'operazione di tornitura di finitura dovrà essere predisposta la spedizione del semilavorato presso un terzista che si occuperà della realizzazione della fase di foratura, seguita dal ritiro del materiale e conseguente spedizione presso l'impianto FPT Industrial. Prima che il materiale lavorato esternamente possa essere disponibile per il montaggio, questo dovrà passare al metalloscopio.

Parallelamente a questo particolare flusso, negli ultimi anni, per poter contrastare la crescita dei volumi essendo vincolati a macchinari con capacità produttiva limitata, è stato deciso di ricorrere ad un ulteriore aiuto esterno: lo stesso fornitore che fornisce il materiale grezzo ha infatti la possibilità di eseguire l'intera lavorazione di tale codice. Per questo motivo, la richiesta nei confronti di questo fornitore sarà caratterizzata da una percentuale di materiale grezzo e una percentuale, tendenzialmente ben maggiore, di materiale finito.

Il funzionamento della linea è chiaramente subordinato all'attività degli operatori: per questo motivo la linea è stata suddivisa in quattro centri di lavoro, ciascuno dei quali sarà affidato ad un singolo operatore. Quest'ultimo, oltre allo svolgimento di tutte quelle operazioni che

garantiscono continuità al funzionamento della linea, si occuperà della realizzazione dei campi tipo dei macchinari che rientrano nel centro di lavoro di sua competenza.

Il primo centro di lavoro fa riferimento alle prime tre fasi, ovvero dalla centro-intestatura alla dentatura del semiasse. Il secondo è associato ai macchinari adibiti alla tempratura e al forno a distensione. Il terzo centro di lavoro farà invece riferimento alle ultime tre fasi di lavorazione, ovvero dalla raddrizzatura alla foratura. Chiaramente, nel momento in cui la linea di lavorazione starà processando il codice D, il terzo operatore sarà adibito alla gestione degli specifici macchinari: ciò non esclude di iniziare la lavorazione di un nuovo codice nelle fasi a monte per poi impiegare una quarta persona sul terzo centro di lavoro del flusso ordinario. La suddivisione dell'intera linea in centri di lavoro permette di ottimizzare i cambi tipo: dal momento in cui viene dato l'input per il passaggio dalla lavorazione di un certo item a quella di un item diverso, l'operatore che gestisce il centro di lavoro a monte potrà dare inizio alle operazioni relative al cambio tipo, mentre il centro di lavoro a valle ancora sta ultimando la lavorazione degli ultimi pezzi fino a quel momento presenti in linea. Tale approccio permette di dare una maggiore continuità alla lavorazione, andando parzialmente a sotterrare l'impatto generato dalla presenza dei tempi di set up.

Di seguito viene riportata una tabella riassuntiva di tutti i possibili tempi di set up per ciascuna delle fasi di lavorazione. Osservando la tabella, si noteranno delle caselle vuote nella colonna del codice D: questo proprio per effetto del diverso flusso di lavorazione a cui questo è soggetto. In aggiunta a ciò, bisogna specificare che chiaramente i macchinari adibiti esclusivamente alla lavorazione di questo codice non saranno soggetti ad alcun tipo di set up. Si tratta chiaramente di tempistiche medie, le quali possono variare in funzione di fattori quali:

- i. Livello di esperienza dell'operatore;
- ii. Codice precedentemente lavorato, prevedere di passare dalla lavorazione di un certo item a quella di un item fisicamente molto simile facilita il processo del cambio tipo.

<b>TEMPI PER CAMBIO TIPO (MINUTI)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>CENTRO INTESTATURA</b>	15	15	15	
<b>TORNIO (1)</b>	12.5	12.5	12.5	12.5
<b>TORNIO (2)</b>	12.5	12.5	12.5	12.5
<b>DENTATRICE</b>	10	10	10	10
<b>TEMPRA (1)</b>	20	20	20	
<b>TEMPRA (2)</b>	20	20	20	
<b>TEMPRA (3)</b>	20	20	20	20
<b>FORNO A DISTENSIONE</b>	0	0	0	0
<b>PRESSA (RADDRIZZATURA)</b>	20	20	20	20
<b>TORNIO</b>	15	15	15	15
<b>FORATRICE</b>	20	20	20	

Tabella 13. Matrice cambi tipo

Non sono stati presi in considerazione in Tabella 13 le tempistiche relative ai tempi di set up del metalloscopio, il quale, oltre ad essere comune a tutti i codici processati sulla linea, richiederà soltanto circa un minuto per effettuare il cambio tipo: si tratta infatti di eseguire soltanto una semplice operazione di settaggio del programma del macchinario.

Come già accennato la varietà dei semiassi non si limita ai quattro codici fino ad adesso trattati. A questi si aggiungono, infatti, altri sei codici la cui richiesta risulta essere decisamente inferiore ma che comunque concorrono a completare l'intera domanda di questa tipologia di componenti. Si tratta infatti delle seguenti tipologie di semiassi:

- i. Variante BD del semiassi per ponti SPR 4517/2;
- ii. Variante BD del semiassi per ponti HD;
- iii. Semiassi per ponti SPR 4521;
- iv. Variante BD del semiassi per ponti SPR 4521;
- v. Semiassi per ponti SPR 4517;
- vi. Variante BD del semiassi per ponti SPR 4517;

Per la composizione di una variante di ponte BD, sarà possibile fare uso di un semiassi base e di un semiassi della rispettiva variante. In termini di struttura fisica dei vari codici, la differenza tra semiassi base e variante BD è già osservabile dal materiale grezzo: la variante BD presenterà infatti una dentatura aggiuntiva sul gambo del semiassi. Tale differenza chiaramente implica non solo la necessità di una lavorazione aggiuntiva che dovrà essere eseguita dal fornitore del materiale grezzo, con conseguente costo di fornitura maggiore rispetto a quello della versione base, ma anche una generica crescita tempi di processo nelle

varie fasi. Anche in questo caso, ciascuno di questi particolari verrà identificato con un'apposita lettera, associatagli in via del tutto casuale.

#### 4.3 Il progetto di rivisitazione della linea dei semiassi

Come precedentemente accennato, al momento la linea di produzione studiata è interamente dedicata alla lavorazione dei quattro codici caratterizzati da maggior richiesta, mentre la lavorazione dei sei codici caratterizzati da domanda inferiore è totalmente esternalizzata: questo è dovuto essenzialmente al fatto che la domanda osservata negli ultimi anni ha portato alla saturazione della capacità produttiva della linea di lavorazione con il solo processamento dei quattro codici principali. Come già accennato in precedenza per il codice D, l'esternalizzazione della lavorazione di questi codici comporta dei costi, legati in parte alla gestione dei trasporti per la spedizione di materiale grezzo e ritiro di materiale finito, ma principalmente legati alla vera e propria lavorazione dell'item.

Laddove la linea di lavorazione avesse sufficiente capacità produttiva sarebbe possibile valutare la possibilità di reintrodurre la lavorazione di questi codici aggiuntivi. Si tratterebbe comunque di una gestione particolare, in quanto, a differenza di quanto accade con i codici attualmente processati, per effetto della minor richiesta ci si ritroverà a dover realizzare dei lotti di produzione di dimensioni decisamente ridotte con conseguente crescita dei tempi destinati al set up dei macchinari e perdita di efficienza produttiva. Al tempo stesso, una maggiore dimensione dei lotti di produzione comporterebbe una crescita dei costi legati all'immobilizzazione del materiale finito.

In tutto questo, però, permane il problema dell'attuale vincolo imposto dalla capacità produttiva della linea di produzione: tale problema potrebbe essere eventualmente arginato proponendo una totale esternalizzazione della lavorazione del codice D. Nuovamente, sarà necessario valutare costi aggiuntivi e benefici di tale alternativa: sicuramente si otterrebbe un risparmio legato all'eliminazione del terzista che si occupa dell'operazione di foratura, nonché al costo di produzione interna; parallelamente, si osserverebbe una crescita dei costi sostenuti per acquistare la quota aggiuntiva di semiassi già lavorati. Bisognerà inoltre valutare se la capacità produttiva che si andrebbe a guadagnare eliminando la lavorazione del codice D sia sufficiente per sostenere la lavorazione di sei codici aggiuntivi: laddove ciò non risultasse possibile, sarebbe comunque possibile andare a selezionare una quota parte di questi sei codici, i quali potranno essere reintrodotti al posto del codice D.

Sarà proprio questo lo scopo del progetto di simulazione, ovvero quello di verificare se può risultare fattibile rielaborare lo schema produttivo di tale linea di produzione e se tali modifiche possono comportare dei risparmi in termini monetari.

Entrando più nello specifico, si è cercato di realizzare un simulatore capace di rappresentare il funzionamento della linea di lavorazione dei semiassi e che fosse sufficientemente versatile per poterlo adattare facilmente ai diversi contesti nei quali dovrà essere testato.

Prima di scendere nei dettagli delle varie fasi che hanno caratterizzato il progetto, è bene anticipare che il primo macro-step operativo è stato quello di realizzare un simulatore che fosse in grado di replicare l'attuale gestione dei vari codici e che quindi tenesse conto della gestione mista del codice D: questa scelta deriva dalla necessità di capire se gli eventuali risultati derivanti da simulazioni in diversi contesti potessero avere un buon livello di

attendibilità. È bene anticipare che i risultati ottenuti hanno fatto emergere uno dei principali problemi al momento riscontrati, ovvero l'impossibilità di gestire la richiesta dei clienti senza mantenere una quota mediamente fissa di ritardo: ciò può implicare che vi saranno momenti caratterizzati da un ritardo nullo così come si potranno osservare picchi di ritardo tali da poter generare fermi produttivi degli stabilimenti dei clienti veicolari.

Seguirà un macro-step intermedio, ovvero la simulazione del funzionamento della linea in assenza del codice D ferma restando la lavorazione presso terzi dei sei codici caratterizzati da minor domanda.

Infine, si andrà a valutare l'opzione di reinserimento dei codici esternalizzati, valutando in maniera graduale quali di questi (eventualmente tutti) risulteranno compatibili per il nuovo mix produttivo, sia in termini di crescita dell'efficienza produttiva che in termini di riduzione dei costi.

È necessario specificare che in ciascuno degli scenari ai quali è stato adattato il simulatore, è stata introdotta un'importante assunzione, legata al fatto che non si potesse verificare un fermo della linea per effetto di stock out di materiale grezzo. Non introdurre tale assunzione non solo avrebbe complicato notevolmente la realizzazione del modello, ma sarebbe stato fuorviante rispetto a quello che è lo scopo dell'analisi, ovvero valutare la possibilità di apportare un improvement nella gestione della lavorazione di tutti i semiassi trattati.

Allo stesso modo, è stato assunto che il fornitore adibito alla lavorazione del codice D riesca sempre a soddisfare la richiesta di semiassi finiti: si tratta di un'assunzione giustificata dalla capacità produttiva dichiarata dallo stesso fornitore, ma che deriva dall'eccessiva difficoltà nel programmare la gestione dei fermi linea e dei guasti.

Sono state effettuate ulteriori assunzioni, perlopiù legate a specificità dei macchinari in relazione ai diversi codici, difficilmente replicabili avendo scelto di far uso di centri di lavoro per la rappresentazione della linea di produzione:

- i. Nonostante la lavorazione del codice D non preveda la fase di centro-intestatura, l'apposito macchinario rimarrà idle fino a che l'intero lotto del suddetto codice non sarà stato processato sul primo centro di lavoro;
- ii. Uno dei tre macchinari adibiti alla fase di tempra rimarrà idle durante la lavorazione del lotto del codice D;
- iii. Le tempistiche relative ai cambi tipo per la lavorazione dei semiassi attualmente lavorati esternamente saranno identiche a quelle relative ai codici al momento gestiti internamente.

Come indicato nella scaletta delle varie fasi che compongono un progetto di simulazione, in seguito alla definizione del problema e degli obiettivi legati al progetto, sarà necessario individuare di quali dati bisognerà disporre per la realizzazione del simulatore per poi individuare quali metodologie implementare per raccogliergli. I dati necessari ai fini della realizzazione del simulatore possono essere raggruppati in tre categorie:

- i. Tempi di set up per ciascuna delle fasi che caratterizzano la linea di lavorazione;
- ii. Tempi di processo per ciascuna fase e per ciascun codice;
- iii. Domanda per ciascun codice.

Per quel che riguarda i primi due punti, la fase di ricerca è stata facilitata dal fatto che vi sono enti interni a FPT Industrial che analizzano il funzionamento delle linee produttive e il loro status a livello quotidiano: facendo riferimento a tali enti è stato possibile ricavare con relativa facilità sia i tempi relativi ai set up, già illustrati in Tabella 13, che quelli relativi ai vari step di lavorazione dei diversi codici.

#### 4.3.1 La struttura del modello

Per la realizzazione di questo simulatore è stato fatto uso del software Arena: tale software permette di andare a simulare il funzionamento di sistemi di qualsivoglia genere andando a realizzare dei diagrammi rappresentativi del flusso delle varie entità all'interno del sistema stesso, in questo caso specifico le varie tipologie di semiassi. Si è deciso di procedere con una suddivisione del modello in due macroaree: la prima sarà dedicata al processo produttivo e la seconda alla gestione della domanda.

Partendo proprio da quest'ultima, si è deciso di optare per una gestione basata su entità con tempi di inter-arrivo pari a un giorno: ogni entità effettua  $n$  iterazioni, dove  $n$  sarà pari al numero di codici esaminati, durante ciascuna delle quali si verificherà l'estrazione di un valore dalla distribuzione di probabilità della domanda giornaliera del rispettivo codice. Tale valore andrà confrontato con il valore dello stock di materiale finito, comunemente denominato FNA (acronimo per Finito Non Assorbito), al momento del check: se minore, si andrà a decrementare il valore dell'FNA, se maggiore l'FNA verrà portato a zero e la quota mancante andrà ad incrementare il valore del ritardo verso il cliente.

Il ramo relativo alla gestione della domanda è stato poi arricchito con un modulo che permettesse la corretta gestione del codice D: come anticipato precedentemente, il plant riceve consegne giornaliere di materiale finito, le quali dovranno necessariamente essere prese in considerazione in questa specifica fase andando a coprire una certa percentuale della domanda giornaliera.

È stato poi inserito un ulteriore modulo che permettesse di aggiornare progressivamente il valore medio della domanda di ciascun codice, fondamentale ai fini della corretta alimentazione del ramo legato alla gestione della produzione. Per ciascun codice, ad ogni iterazione verrà incrementato un contatore inizializzato a zero e verrà aggiornata una variabile denominata  $D_{tot}$  nella quale verrà salvato progressivamente il valore cumulato della domanda: per ottenere il valore della domanda media sarà sufficiente dividere il valore della variabile  $D_{tot}$  per il valore associato al contatore.

Come verrà esposto anche successivamente, per la realizzazione del modello si è deciso di fare uso di variabili vettoriali  $n$ -dimensionali: per ottenere il corretto aggiornamento delle diverse variabili, si farà uso di un indice  $k$ , il quale verrà incrementato ad ogni iterazione a cui sarà soggetta la specifica entità, provocando la fuoriuscita di questa dal ramo del modello nel momento in cui verrà raggiunto un valore esattamente pari alla dimensione delle variabili vettoriali; sarà però necessario, prima che si verifichi l'arrivo di una nuova entità che il valore di tale indice venga riportato a zero in modo da poter ripetere correttamente l'iter di aggiornamento delle diverse variabili.

Decisamente più complessa è stata la gestione del flusso relativo alla lavorazione dei diversi particolari. Se l'idea iniziale era quella di realizzare una struttura che permettesse di

processare una singola unità per volta, a causa dei limiti imposti dalla versione del software disponibile al momento della realizzazione del modello, si è deciso di optare per una gestione per batch, la dimensione dei quali sarà pari al numero di unità contenute all'interno degli imballi dei rispettivi codici: tali valori sono stati salvati in una variabile vettoriale denominata *UdC* (Unità di Carico).

Il primo step per la realizzazione di questo ramo del modello è stato cercare di capire come comunicare al modello stesso quale dei diversi codici necessitasse di essere processato: ciò avverrà confrontando lo stock effettivo con un certo stock target. Chiaramente, si tratta anche in questo caso di variabili vettoriali, le quali verranno calcolate come segue:

- i.  $Stock_{\text{effettivo}} = FNA - \text{Ritardo} + \text{WIP1} + \text{WIP2} + \text{WIP3}$  (chiaramente nel caso in cui il ritardo dovesse avere un valore maggiore di zero, il valore dell'*FNA* sarà necessariamente pari a 0);
- ii.  $Stock_{\text{target}} = 3 * D_{\text{media}}$ .

Per quel che riguarda la prima delle due variabili, il calcolo deriva dalla necessità di dover considerare tutto il materiale presente all'interno del flusso per poter calcolare la copertura effettiva rispetto alla richiesta: oltre al materiale finito, nettizzato dell'eventuale ritardo, bisognerà tenere in conto i semilavorati relativi ai diversi step del processo produttivo. In particolare, non considerare questi ultimi, potrebbe dare l'input al modello di continuare a processare un codice per il quale si dispone di molto materiale in procinto di terminare il ciclo produttivo e si andrebbe quindi a falsare l'informazione sul livello dello stock.

In merito allo stock target, si è deciso che dovesse essere calcolato come tre volte la domanda media giornaliera, valore che, se da un lato permette di lasciar spazio alla lavorazione di altri particolari evitando stock out di materiale finito, dall'altro permette di non raggiungere livelli eccessivi di scorta con conseguente risparmio in termini di costi di inventory. Il confronto tra queste due variabili permetterà di individuare il lotto di lavorazione del codice selezionato.

Lo step successivo è il vero e proprio processo produttivo. Questo, a sua volta, è stato scomposto in tre sotto-rami collegati tra di loro, scelta necessaria per poter realizzare un modello che permettesse di simulare i seguenti aspetti della linea produttiva:

- i. L'attesa per il set-up di uno stadio a valle non impedisce di continuare a processare il materiale negli step precedenti;
- ii. Sarà possibile processare diversi codici nei vari step della linea di produzione.

In generale, ognuno di questi tre sotto-rami può essere scomposto in quattro parti, ognuna delle quali sarà relativa a ciascuno dei centri produttivi. È stato necessario prevedere una diramazione del flusso di ciascun ramo in corrispondenza delle fasi finali del processo produttivo, proprio ad indicare che il codice *D* sarà soggetto a lavorazioni su macchinari diversi e, in parte, a lavorazioni esterne.

Come precedentemente accennato, il materiale verrà processato in sotto-lotti di dimensioni pari alle dimensioni dei rispettivi imballi. Faranno però eccezione la prima iterazione, ovvero quella che richiederà anche di tenere in considerazione i tempi di set-up, e la seconda, ovvero quella che porterà ad ultimare la lavorazione della prima *UdC*.

Entrando più nello specifico, il primo sotto-ramo farà riferimento al primo passaggio dai vari centri produttivi e includerà appunto i tempi di set-up. In questo caso specifico, il tempo di processo per ciascun centro produttivo sarà pari alla somma del tempo di set-up e del tempo

di processo di una singola unità. Dopo il passaggio dal primo centro produttivo, si osserverà una diramazione che permetterà il collegamento diretto con il secondo sotto-ramo, dedicato alla lavorazione della quota restante dell'UdC la cui lavorazione era stata avviata nel sotto-ramo precedente: proprio per questo motivo, i tempi di processo per questo sotto-ramo saranno pari al tempo di processo della singola unità moltiplicata per  $UdC-1$ . Si osservi che per la realizzazione della diramazione è stato fatto uso di un modulo che permette di duplicare una qualsiasi entità: sarà così possibile fare in modo che, dopo la prima fase di lavorazione della prima unità, da un lato si prosegua con il set-up del secondo centro produttivo e dall'altro si prosegua con la lavorazione nella prima fase, accumulando semilavorato che verrà poi processato ad ultimazione set-up e che verrà tenuto in considerazione nel momento in cui verrà dato l'input per un ulteriore cambio tipo. Secondo uno schema pressoché identico è stato modellato il passaggio dal secondo al terzo sott-ramo: in questo caso si va a modellare il collegamento tra la conclusione della lavorazione del primo imballo e l'inizio della lavorazione del secondo. In questo modo sarà possibile proseguire con la prima fase di lavorazione dei successivi sotto-lotti mentre il primo dovrà ultimare la seconda fase di lavorazione, dando così sempre continuità alla linea di lavorazione. Per ciascuno dei centri produttivi, i tempi di processo del terzo sotto-ramo saranno esattamente pari al tempo necessario alla lavorazione di un'intera UdC. Quest'ultimo ramo è quello che detta la cadenza con la quale verranno effettuati i cambi-tipo. Anche per questa sfaccettatura del modello si è deciso di fare uso del modulo che permettesse di duplicare le entità: dopo che viene ultimata la lavorazione presso il primo centro produttivo di una singola UdC, si va a decrementare in maniera proporzionale la dimensione del lotto di produzione calcolato per raggiungere lo stock target e quando questo raggiungerà un valore pari o inferiore a zero si darà l'input al modello di ripetere il check per individuare quale dei vari codici presenti il maggior gap tra stock effettivo e stock target. Parallelamente, bisognerà dare continuità alla lavorazione nelle fasi successive: il fatto che sia stato dato l'input per il cambio tipo significa che una quantità sufficiente di pezzi ha terminato la prima fase di lavorazione, ma non significa che tutti questi siano già stati trasformati in prodotto finito. Potrebbe quindi verificarsi la situazione per cui verrà dato l'input per il cambio-tipo nonostante il valore dell'FNA del codice al momento processato sia ancora piuttosto basso, e ciò sarà esclusivamente dovuto al fatto che vi sarà una quota parte del lotto di lavorazione ancora in attesa di essere processato nelle fasi successive alla prima. Tale approccio permette di effettuare valutazioni in merito ai cambi tipo tenendo conto di tutto il materiale presente all'interno del ciclo produttivo, andando conseguentemente ad indirizzare la produzione in funzione della richiesta effettiva garantendo al tempo stesso continuità ai centri di lavoro.

Per poter strutturare correttamente l'avanzamento della produzione, rispettando tutti i vincoli di priorità e le attese, è stato necessario inserire nella modellazione una serie di flag, il cui valore permettesse di segnalare all'entità la possibilità di proseguire o la necessità di attendere il sussistere di una specifica condizione. Più nello specifico i flag utilizzati sono stati otto. Di seguito viene riportata la funzionalità di ciascuno di questi:

- i. Flag1, impedisce di dare inizio al set-up del secondo centro produttivo fino a che non viene terminata la lavorazione della seconda fase di tutto il lotto precedente;
- ii. Flag2, impedisce di dare inizio al set-up del terzo centro produttivo fino a che non viene terminata la lavorazione della terza fase di tutto il lotto precedente;
- iii. Flag3, impedisce di dare inizio alla lavorazione della seconda fase nel secondo



- sotto-ramo fino a che non verranno ultimati il set-up del secondo centro produttivo e la lavorazione della prima unità;
- iv. Flag4, impedisce di dare inizio alla lavorazione della terza fase nel secondo sotto-ramo fino a che non verranno ultimati il set-up del terzo centro produttivo e la lavorazione della prima unità;
  - v. Flag5, impedisce di dare inizio alla lavorazione della seconda fase nel terzo sotto-ramo fino a che non verrà ultimata la seconda fase di lavorazione della prima UdC nel secondo sotto-ramo;
  - vi. Flag6, impedisce di dare inizio alla lavorazione della terza fase nel terzo sotto-ramo fino a che non verrà ultimata la terza fase di lavorazione della prima UdC nel secondo sotto-ramo;
  - vii. Flag7, impedisce di dare inizio alla terza fase di lavorazione del codice D nel secondo sotto-ramo fino a che non verrà ultimata la lavorazione della prima unità;
  - viii. Flag8, impedisce di dare inizio alla terza fase di lavorazione del codice D nel terzo sotto-ramo fino a che non verrà ultimata la lavorazione della prima UdC.

Un'ulteriore complicazione nella modellizzazione del processo produttivo è stata la necessità di dover considerare la possibilità che venisse dato l'input alla lavorazione di un codice per il quale vi era ancora del materiale che necessitava di essere processato nelle ultime fasi: essendo l'intero modello, e di conseguenza tutte le variabili utilizzate, basato su una struttura vettoriale, un casistica di questo genere richiedeva l'inserimento di un'apposita condizione che permettesse di mantenere intatti tutti i vincoli di precedenza. Più nello specifico, la problematica non derivava tanto dalla lavorazione consecutiva di due lotti dello stesso codice, quanto la necessità di processare un codice che presentasse ancora del WIP nel flusso ma che al tempo stesso necessitasse di mettersi in coda ad un altro codice prima di essere nuovamente processato. Si è deciso pertanto di imporre un vincolo che impedisse il set-up e il conseguente inizio della prima fase di lavorazione fino al momento in cui fosse stata terminata l'intera lavorazione di lotti precedenti dello stesso tipo. Questo tipo di forzatura potrebbe comportare che il primo centro produttivo rimanga idle, ma essendo il secondo centro produttivo il collo di bottiglia della linea di lavorazione si sarebbe comunque generato un accumulo di semilavorato in attesa di essere processato, con la conseguenza che, nel complesso, non si sarebbe generata una perdita in termini di produttività in seguito all'inserimento del suddetto vincolo di attesa.

#### 4.3.2 La raccolta dei dati relativi ai tempi di processo

Come precedentemente accennato, la linea di produzione in oggetto è stata suddivisa in diversi centri di lavoro, ciascuno caratterizzato da più fasi di lavorazione. È risultato più congeniale, anche in funzione della particolare struttura del modello di simulazione fare riferimento ai tempi di processo dei singoli centri di lavoro piuttosto che ai tempi di processo delle singole fasi. Chiaramente, ciascuno di questi sarà funzione del flusso dello specifico codice.

<i>PN</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>	<i>I</i>	<i>J</i>
<i>Tempo ciclo abb. CENTRO DI LAVORO 1</i>	1.43	1.3	1.3	1.56	1.78	1.65	1.43	1.78	1.48	1.88
<i>Tempo ciclo abb. CENTRO DI LAVORO 2</i>	1.75	1.35	1.35	1.84	3.64	3.24	1.75	3.64	2.07	4.46
<i>Tempo ciclo abb. CENTRO DI LAVORO 3</i>	1.63	1.34	1.34	3.02	1.98	1.34	1.63	1.98	1.85	2.19
<i>Tempo ciclo abb. CENTRO DI LAVORO 4</i>										
<i>METALLOSCOPIO</i>	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61

Tabella 14. Tempi di processo

In Tabella 14 sono riassunti tutti quelli che sono stati definiti Tempi Ciclo Abbinato: si parla delle tempistiche richieste a ciascun codice per attraversare tutte le fasi che caratterizzano uno specifico centro di lavoro, tenendo conto del fatto che ciascuno di questi è gestito da un singolo operatore.

Le caselle evidenziate in giallo fanno riferimento ai centri di lavoro che, nel momento in cui il sistema raggiungerà lo stato di equilibrio, detteranno la frequenza con cui usciranno dalla linea i prodotti finiti, ovvero i processi che rappresentano il collo di bottiglia dell'intero flusso. Risulta evidente, come precedentemente accennato, la criticità del secondo centro di lavoro, il quale include la fase di tempra. Si osserva inoltre, la differenza che caratterizza il flusso del codice D, per la lavorazione del quale sarà necessaria la presenza di un apposito centro di lavoro dedicato e un diverso raggruppamento delle fasi iniziali nei primi due centri di lavoro. Le differenze sostanziali che caratterizzano la lavorazione di questo codice sono già state precedentemente esposte e visibili nella tabella relativa ai vari tempi di set-up:

- i. L'assenza della fase di centro intestatura;
- ii. Dei tre macchinari disponibili per la realizzazione della fase di tempra, per questo codice ne potrà essere utilizzato soltanto uno;
- iii. La fase di foratura viene attualmente realizzata presso un terzista.

È doveroso aggiungere che i tempi indicati in Tabella 14 tengono conto di due fattori fondamentali:

- i. Il livello di usura dei vari macchinari;
- ii. I fermi dovuti ai guasti.

Per poter integrare questi due fattori nell'analisi si è fatto uso del coefficiente OEE (Overall Equipment Efficiency). Si tratta di un indicatore che permette di monitorare, come suggerito dal nome, il livello di efficienza di un macchinario e che può essere calcolato come il prodotto di tre fattori:

- i. A, Availability (disponibilità),  $A = \frac{450 - T_D}{T_D}$ ;
- ii. P, Performance,  $P = \frac{T_M * N}{450 - T_D}$ ;
- iii. Q, Quality,  $Q = \frac{N - NC}{N}$ .

Ne deriva,

$$OEE = (A * P * Q) * 100$$

Necessario specificare il significato di alcuni elementi presenti nelle formule dei vari componenti di tale indicatore. In particolare:

- i. 450 sono i minuti che compongono un turno lavorativo, composto quindi da 7,5 ore lavorative;
- ii.  $T_D$ , quota parte del turno lavorativo durante il quale il macchinario non è stato utilizzabile, per effetto di guasti, manutenzione, start-up dopo un cambio tipo;
- iii.  $T_M$ , tempo di processo teorico;
- iv. N, numero di pezzi prodotti nel turno;
- v. NC, numero di pezzi difettosi prodotti nel turno.

Si deduce che il calcolo di questo indicatore è possibile soltanto tramite un continuo e costante monitoring dell'output di ciascun turno lavorativo: prima del cambio turno, sarà necessario che venga compilato dal responsabile della UTE di lavorazione una scheda che permetterà di tener traccia della produzione del turno e del tempo che non è stato dedicato alla produzione. Nel concreto, l'OEE dovrebbe restituire la percentuale di pezzi conformi che sono stati realizzati durante il turno rispetto al numero di pezzi teoricamente producibili dal macchinario. Si tratta di un indicatore che può essere soggetto a notevoli variazioni, anche molto frequenti: sono proprio queste variazioni che devono suggerire come allocare le risorse per interventi manutentivi e con che priorità questi dovranno essere realizzati.

Per il calcolo di questo coefficiente si è deciso innanzitutto che dovesse essere calcolato per ciascuno dei centri di lavoro e che potesse essere ottenuto come il rapporto tra la capacità produttiva giornaliera teorica del singolo centro di lavoro e il suo output effettivo, a sua volta calcolato come valore medio su dati relativi all'anno 2021 e a buona parte del 2022. Infine, sempre ai fini del calcolo dell'indicatore, è stata considerata una giornata lavorativa standard, ovvero composta di tre turni da 7,5 ore, escludendo dall'analisi i giorni festivi e i fine settimana.

Di seguito, le tabelle riassuntive relative al calcolo dell'OEE di ciascun centro di lavoro.

Centro di lavoro 1	Produzione giornaliera teorica	Tempo ciclo abb. teorico	Produzione giornaliera effettiva	Tempo ciclo abb. effettivo	OEE
A	1235	1.09	944	1.43	0.765
B	1358	0.99	1038	1.3	0.765
C	1358	0.99	1038	1.3	0.765
D	1131	1.19	865	1.56	0.765

Tabella 15. Calcolo OEE Centro di lavoro 1

Centro di lavoro 2	Produzione giornaliera teorica	Tempo ciclo abb. teorico	Produzione giornaliera effettiva	Tempo ciclo abb. effettivo	OEE
A	1017	1.33	771	1.75	0.758
B	1320	1.02	1000	1.35	0.758
C	1320	1.02	1000	1.35	0.758
D	969	1.39	734	1.84	0.758

Tabella 16. Calcolo OEE Centro di lavoro 2

Centro di lavoro 3	Produzione giornaliera teorica	Tempo ciclo abb. teorico	Produzione giornaliera effettiva	Tempo ciclo abb. effettivo	OEE
A	1053	1.28	828	1.63	0.786
B	1281	1.05	1007	1.34	0.786
C	1281	1.05	1007	1.34	0.786

Tabella 17. Calcolo OEE Centro di lavoro 3

In aggiunta a ciò, bisogna specificare che un approccio identico è stato adottato per il calcolo dell'OEE relativo al centro di lavoro dedicato alla fase finale della lavorazione del codice D, con la differenza che, trattandosi di un centro dedicato, presenterà un idle time decisamente maggiore rispetto agli altri e, di conseguenza, la produzione media effettiva dovrà essere calcolata sulle sole ore in cui questo risulta essere attivo.

#### 4.3.3 L'analisi della domanda

La fase di analisi della domanda risulta essere altamente importante in quanto fornirà i dati in input sui quali si baserà il flusso del simulatore. Nello specifico, facendo riferimento alle varie fasi che caratterizzano un progetto di simulazione, si rientra nell'ambito dell'Analisi degli Input: dopo aver raccolto i dati relativi alla domanda di ciascuno dei particolari trattati, si è cercato di stimare i parametri di una distribuzione di probabilità che potesse caratterizzare l'andamento aggregato della domanda.

Innanzitutto, è necessario fare riferimento allo strumento utilizzato per il reperimento dei dati della domanda di ciascun particolare. Si è fatto uso di quello che viene chiamato FSG (Fattibilità Settimanale Gruppi): trattasi nello specifico di un file che, in seguito alla lettura in input dei dati relativi agli ordini dei clienti veicolari, provvede a generare il fabbisogno degli specifici particolari in funzione della distinta base del prodotto finito.

Entrando più nel dettaglio in merito al processo di pianificazione, questa risulta essere tendenzialmente soggetta ad aggiornamenti settimanali, sia dal punto di vista del cliente veicolare che dal punto di vista del plant FPT. Il cliente veicolare basa la propria pianificazione su due file:

- i. FSI (Fattibilità Settimanale Industriale), trattasi della schedulazione delle richieste dei veicoli, basata su priorità commerciali e vincoli produttivi (quali ad esempio i colli di bottiglia delle linee di assemblaggio dei veicoli);
- ii. FSP (Fattibilità Settimanale Previsiva), trattasi di una pianificazione frutto della previsione della richiesta dei veicoli, da considerarsi on top alle richieste già in essere (ovvero quelle considerate nell'FSI) e con un orizzonte temporale di circa otto mesi.

Con cadenza settimanale, a valle dell'aggiornamento degli ordini esecutivi e di quelli previsivi, viene effettuato l'aggiornamento dei fabbisogni, nuovamente, esecutivi e previsivi, degli assali e, di conseguenza, dei vari particolari che li compongono. Chiaramente, tali fabbisogni risentiranno della presenza di un certo lead time: in funzione della schedulazione dell'assemblaggio dei veicoli verrà automaticamente definita una data di consegna dell'assale

finito presso lo stabilimento del cliente veicolare. Secondo un approccio backward verranno definiti anche i seguenti parametri:

- i. Data di spedizione, esclusivamente frutto del lead time di trasporto necessario per lo spostamento dell'assale dallo stabilimento FPT allo stabilimento dello specifico cliente;
- ii. Data di impostazione dell'assale sulla linea di montaggio, definita a partire dalla data di spedizione e che sarà calcolata in funzione del lead time di montaggio dell'assale.

Applicando i dovuti filtri in fase di ricerca, sarà possibile individuare la richiesta di specifici particolari per ciascun time bucket, in funzione del numero di assali per cui è indicata la data di impostazione in quello specifico time bucket.

Per poter usufruire di un pool di dati adeguati alla stima di una distribuzione della domanda di ciascuno dei particolari, si è deciso di prendere in considerazione i fabbisogni dal 2018 ad oggi. Nello specifico, per quel che riguarda i dati relativi all'intervallo temporale compreso tra il 2018 e il 2021, è stato preso in considerazione l'ultimo aggiornamento annuale dell'FSG: l'ultima versione di ciascun anno fornisce infatti visibilità su tutti gli ordini esecutivi ricevuti nel corso dell'anno. Ne deriva che, l'unica versione dell'FSG contenente dati previsivi è quella che è stata utilizzata per la definizione dei fabbisogni dell'intero 2022. Si tenga in considerazione che il fabbisogno di assali non coincide con il fabbisogno dei vari particolari trattati in questa analisi: per ciascun assale posteriore sono necessari due semiassi; per le versioni con il Blocco Differenziale, sarà necessario un semiasse base e un semiasse BD. Ne deriva che il fabbisogno di ciascun particolare base è stato calcolato come:

$$d_{BASE} = 2 * d_{BASE}^{axle} + d_{BD}^{axle}$$

Si è deciso di andare a raggruppare i vari dati a disposizione in time bucket settimanali, tenendo in considerazione che per ciascun anno vi siano 52 settimane. Il risultato finale è stato quindi uno spacchettamento della domanda settimanale dei vari particolari trattati dal 2018 e il 2022. A questo punto, è stato possibile andare a calcolare la domanda settimanale media. Per poter definire, però, quale sia la distribuzione di probabilità rappresentativa dell'andamento della domanda di ciascun particolare, è stato necessario ordinare (in ordine crescente) i vari valori disponibili relativi alla domanda media per poi procedere a definire un determinato numero di classi in cui raggruppare i valori e poter infine definire la densità di probabilità ad essi associata.

Lo scopo di tale analisi era quello di identificare quale fosse l'andamento effettivo della domanda nel tempo, motivo per cui si è deciso di trascurare i valori ricavabili dai time bucket ritenuti poco significativi: le settimane in cui si registrano valori che presentano scostamenti notevoli rispetto a quelli mediamente registrati sono infatti quelle relative alla pausa estiva e invernale; gli ordini che vengono inseriti nelle settimane in cui il reparto di montaggio non è operativo verranno tendenzialmente soddisfatti prima o dopo lo stop produttivo. Nello specifico, ci si sta riferendo alla prima e all'ultima settimana dell'anno (stop dovuto alla pausa Natalizia) e alle settimane 32 e 33 (stop dovuto alla pausa estiva): i valori registrati in queste settimane, nei pochi casi in cui questi fossero diversi da zero, sono stati trascurati per evitare che questi andassero ad inquinare la ricerca della distribuzione di probabilità.

Per poter individuare la distribuzione di probabilità che più rappresentasse la domanda dei vari codici, sono stati presi i 48 valori relativi alla domanda media osservata negli anni in

ciascuno dei time bucket e ordinati in ordine crescente. Successivamente, è stato necessario suddividere l'insieme di dati in un determinato numero di classi equispaziate.

Di seguito i risultati ottenuti con i codici A, B, C e D.

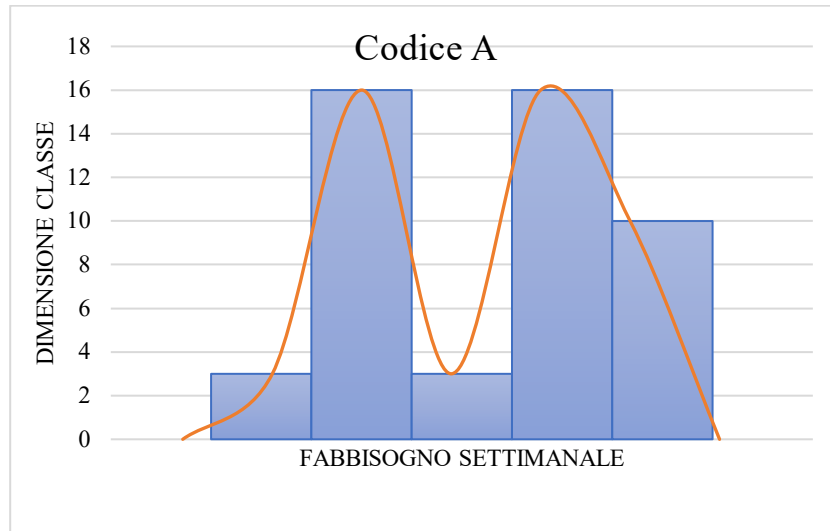


Figura 4. Densità di probabilità Codice A

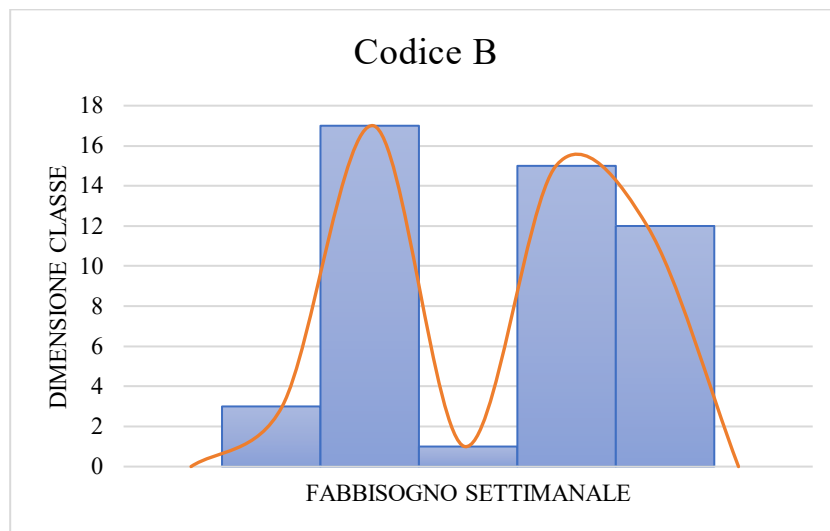


Figura 5. Densità di probabilità Codice B

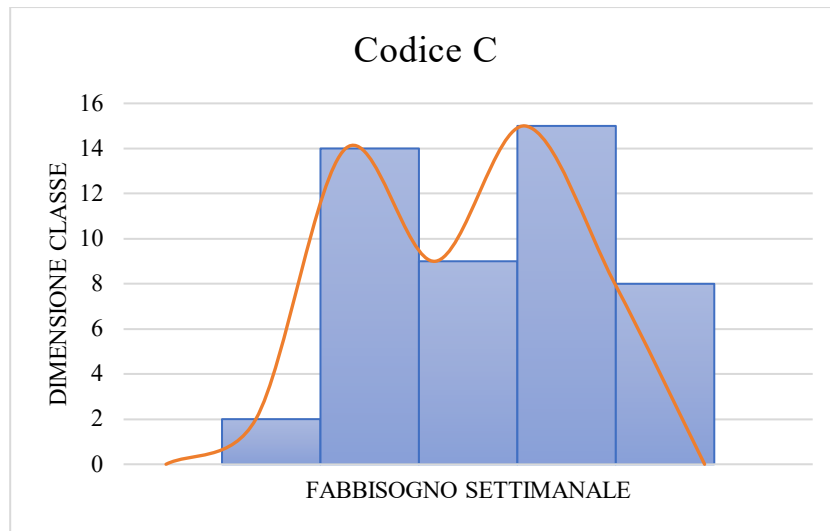


Figura 6. Densità di probabilità Codice C

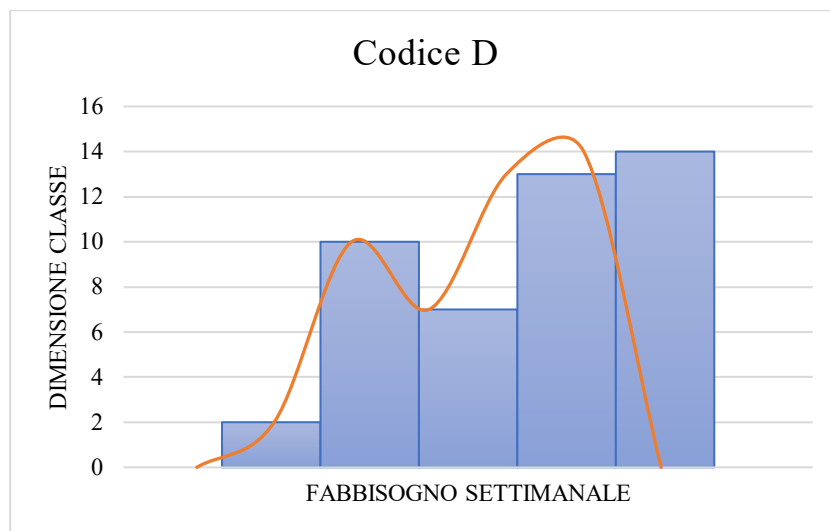


Figura 7. Densità di probabilità Codice D

I grafici sopra riportati sono stati realizzati andando a raggruppare i dati a disposizione in cinque classi equi-spaziate. Si osserva che, per ciascuno dei codici, la funzione di densità non è assimilabile a nessuna di quelle conosciute: ciò implica la necessità di andare a rivedere la composizione delle classi.

Per i codici A e B, si osserva che la classe centrale presenta un numero di valori decisamente inferiore a quello delle classi che la precedono e che la seguono.

Per il codice A, si possono contare tre osservazioni nella classe intermedia a fronte delle sedici presenti sia nella classe precedente che in quella successiva. Si è deciso quindi di optare per un diverso raggruppamento delle osservazioni, andando a ridurre il numero delle classi da cinque a quattro: in tal modo si è ottenuto l'effetto di redistribuzione di quei valori che precedentemente risultavano isolati.

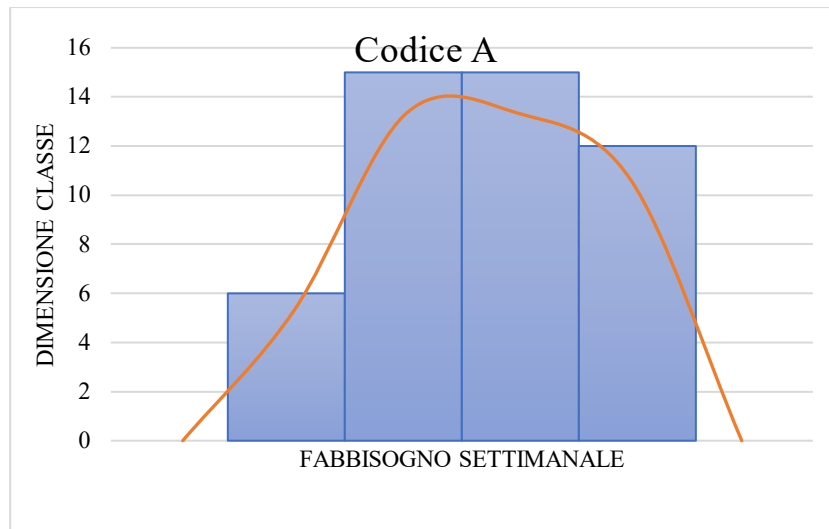


Figura 8. Densità di probabilità Codice A (4 classi)

Un diverso raggruppamento delle osservazioni ha fatto sì che potesse emergere una funzione di densità di probabilità paragonabile a quella di una distribuzione normale: è infatti possibile rilevare il tipico andamento a “campana” che caratterizza tale distribuzione.

La particolarità del set di dati relativo al codice B è rappresentata dal fatto che la classe centrale presenta una sola osservazione. Si è deciso di andare ad analizzare più attentamente l’origine di tale dato. Come già accennato in precedenza, ogni osservazione è calcolata come domanda media su un intervallo temporale di cinque anni in uno specifico time bucket. Dei cinque valori utilizzati per il calcolo dell’osservazione incriminata, uno di questi risultava essere nettamente inferiore rispetto agli altri quattro. Preso  $x$  il valore in questione, gli altri quattro sono calcolabili come segue:

- i.  $x_1 = 3,7x$
- ii.  $x_2 = 3,76x$
- iii.  $x_3 = 2,96x$
- iv.  $x_4 = 4,6x$

È possibile quindi andare ad imputare il valore  $x$  al caso, ricalcolando il valore medio della domanda per quello specifico time bucket omettendo l’outsider individuato.

A seguire, esattamente come nel caso del codice A, si è optato per un nuovo raggruppamento delle osservazioni facendo uso di sole quattro classi. In Figura 19 è rappresentato il risultato ottenuto.



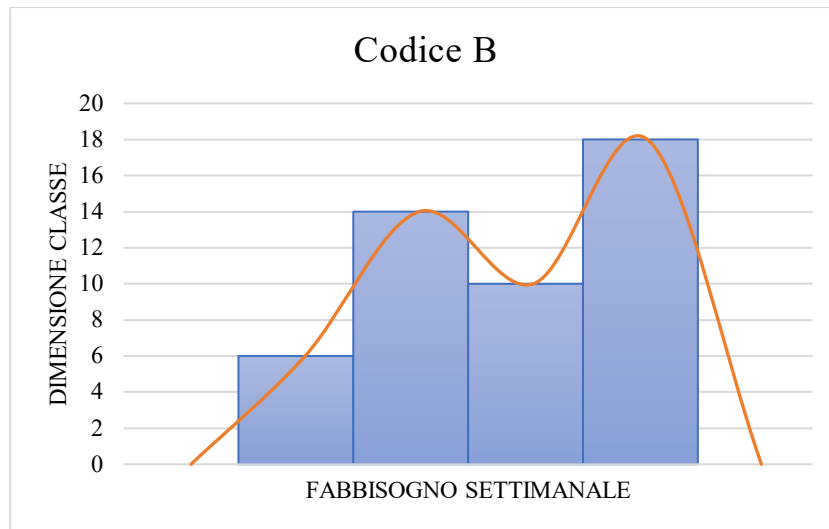


Figura 9. Densità di probabilità Codice B (4 classi)

Seppur l'andamento ottenuto non ricordi precisamente la funzione di densità di una distribuzione normale, questa risultava comunque la distribuzione maggiormente vicina e si è quindi deciso di testare la validità di tale associazione.

L'analisi relativa all'andamento della domanda dei codici C e D è stata invece più complessa: questo è dovuto infatti all'andamento piuttosto altalenante dei valori che caratterizzano la domanda settimanale media nel tempo. Se da un lato, per certi intervalli di valori è possibile individuare un elevato numero di osservazioni, vi sono altresì dei veri e propri "salti" da un valore all'altro che rendono maggiormente complicata la scomposizione in classi delle 48 osservazioni. Quello che si è deciso di fare è stato individuare quale fosse il numero di classi equidistanti che permettesse di isolare il più possibile i valori a bassissima densità, per poi poter procedere secondo lo stesso approccio utilizzato nel caso dei primi due codici.

Di seguito sono riportati grafici relativi alla funzione di densità individuata facendo uso di sei classi equi-spaziate.

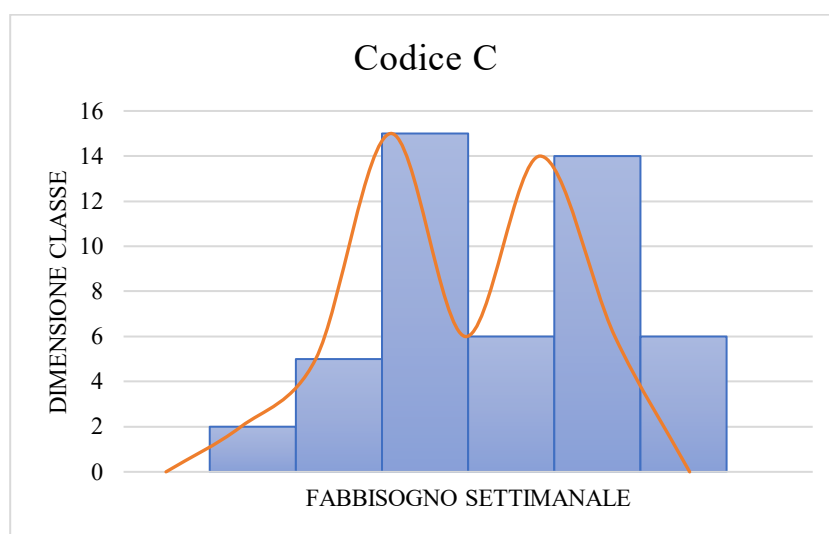


Figura 10. Densità di probabilità Codice C (6 classi)

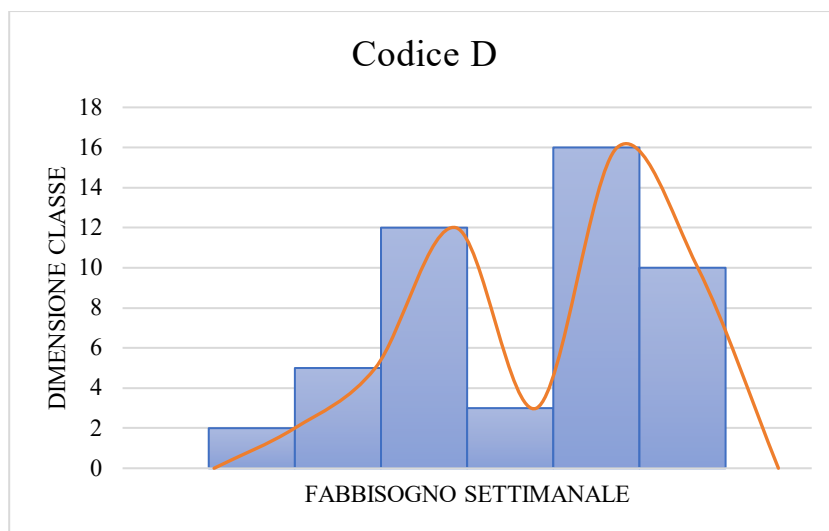


Figura 11. Densità di probabilità Codice D (6 classi)

Il passaggio successivo è stato quello di andare ad eliminare la quarta la classe, andando a ripartire i pochi valori in essa presente tra la terza e la quinta.

Nel caso del codice C, la struttura delle osservazioni ha portato a dover inglobare i sei valori contenuti nella quarta classe in quella successiva: questo perché tali valori risultavano essere molto più concentrati in un intervallo più vicino al lower bound della classe successiva piuttosto che in uno più vicino all'upper bound della precedente.

Secondo lo stesso approccio, i tre valori conteggiati nella quarta classe della funzione di densità relativa al codice D sono stati ripartiti tra la terza classe e la quinta: nello specifico, il primo dei tre valori è stato incluso nella classe precedente e i restanti due nella successiva. Di seguito sono riportati i grafici aggiornati in seguito alla ripartizione sopra indicata.

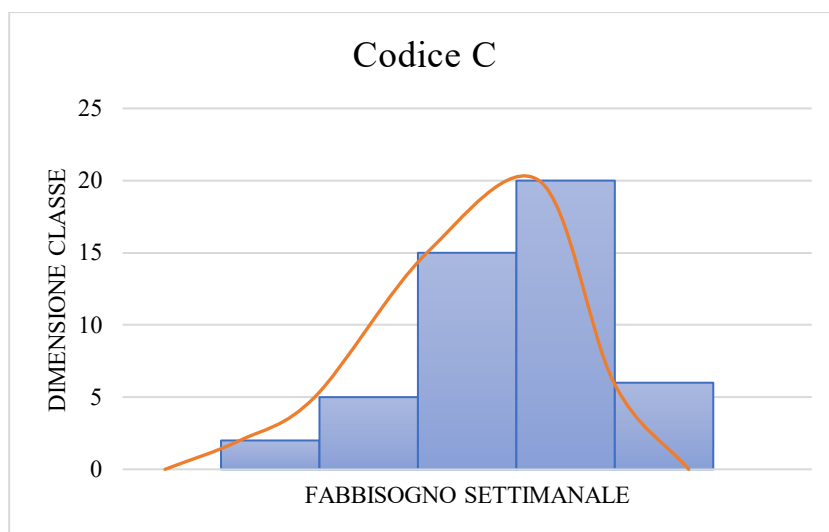


Figura 12. Densità di probabilità Codice C (5 classi)

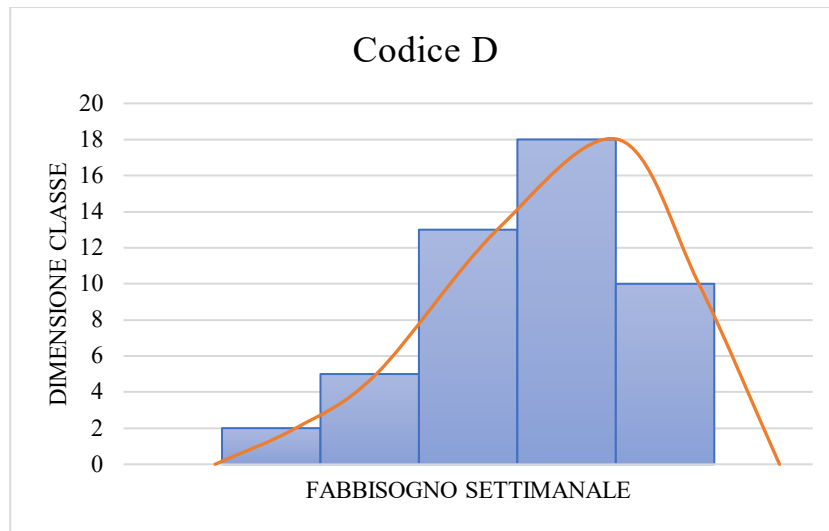


Figura 13. Densità di probabilità Codice D (5 classi)

Per proseguire nell'analisi, sarà necessario individuare i parametri che caratterizzano la distribuzione della domanda di ciascuno dei codici. Tale step sarà di importanza fondamentale in quanto i valori ottenuti saranno i dati in input che verranno letti dal simulatore: infatti, la domanda in ciascuno dei time bucket per ciascun codice verrà estratta casualmente da una distribuzione caratterizzata dai parametri individuati in questa fase.

Si è deciso di fare uso del Metodo dei Momenti per poter individuare i momenti di primo e di secondo ordine (rispettivamente media e varianza) che caratterizzano le distribuzioni dei quattro codici qui analizzati: tale metodo consiste essenzialmente nel risolvere un sistema di equazioni con  $n$  incognite, dove  $n$  è esattamente pari al numero di parametri della distribuzione di cui si vuole individuare il valore; si partirà dall'identificazione di stime campionarie dei momenti, in questo specifico caso, di primo e di secondo ordine, le quali verranno poste pari ai rispettivi momenti della distribuzione scelta.

Quindi, il primo step consiste nel calcolo della media campionaria della domanda di ciascuno dei codici.

Questa verrà individuata facendo uso della formula seguente:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{N}$$

Si tratta essenzialmente della media aritmetica calcolata sull'insieme di  $N$  valori (dove  $N$  è in questo caso pari a 48) utilizzati per comporre le classi delle funzioni di densità di ciascuno dei quattro codici. Il valore ottenuto sarà posto pari alla media della distribuzione della domanda settimanale del rispettivo codice.

A seguire, sarà necessario individuare il momento del secondo ordine delle quattro distribuzioni, ovvero la varianza.

Anche in questo caso ci si rifarà all'utilizzo di uno stimatore, nello specifico della varianza campionaria, calcolata come segue:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2$$

Tale calcolo prevede che la varianza della distribuzione sia calcolabile come l'errore quadratico medio, dove l'errore è da intendersi come lo scostamento tra la singola osservazione e il valore della media campionaria. L'utilizzo della potenza di secondo grado è di fondamentale importanza, in quanto permette di eliminare l'effetto compensazione che si osserverebbe tra gli scostamenti positivi e quelli negativi rispetto alla media campionaria.

Il passaggio conclusivo dell'analisi della domanda prevede il testing e la successiva validazione di quanto è stato calcolato. Per questa fase si è deciso di fare uso del test Chi-quadro, tramite il quale sarà possibile effettuare un confronto tra la forma della distribuzione teorica e quella derivante dai dati selezionati. Tale test risulta essere particolarmente adatto alle casistiche in cui si abbia a disposizione un'elevata quantità di dati, dove per elevata si intende un numero maggiore di venti. Dopo aver eseguito il test sarà possibile verificare se la scomposizione delle classi può essere confermata e se, di conseguenza, la scelta della distribuzione rappresentativa dei dati è stata corretta.

Innanzitutto, dati il numero di classi ( $n$ ), il numero di osservazioni per ciascuna classe  $i$ -esima ( $O_i$ ) e il numero atteso di osservazioni per ciascuna classe  $i$ -esima se la sequenza seguisse effettivamente la distribuzione testata ( $E_i$ ) è possibile andare a calcolare la seguente statistica,

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Prima di procedere al calcolo della suddetta statistica, sarà necessario effettuare una verifica in merito ad un vincolo imposto dall'algoritmo del test: si richiede, infatti, che per ciascuna delle classi, il numero atteso di osservazioni sia sempre maggiore o uguale a cinque. Laddove tale vincolo non dovesse essere rispettato sarà necessario andare a rivedere le classi.

Il parametro  $E_i$  può essere semplicemente calcolato come il prodotto tra la dimensione del campione di dati e la probabilità che una delle  $N$  osservazioni faccia parte dell' $i$ -esima classe. Per il calcolo di tale probabilità sarà necessario rifarsi all'utilizzo della funzione cumulata, nello specifico andandola a calcolare come

$$P_i = F(UB_i) - F(LB_i)$$

I parametri  $UB_i$  e  $LB_i$  rappresentano rispettivamente il valore dell'upper bound e del lower bound dell' $i$ -esima classe. Di seguito è riportato un sunto dei risultati ottenuti a seguito del calcolo dei vari valori del parametro  $E_i$  per ciascun codice.

<b>Codice A</b>	
$E_1$	4.86
$E_2$	14.03
$E_3$	17.21
$E_4$	8.97
<b>Codice B</b>	
$E_1$	4.97
$E_2$	13.13
$E_3$	16.35
$E_4$	9.59
<b>Codice C</b>	
$E_1$	1.73
$E_2$	5.63
$E_3$	17.97
$E_4$	16.48
$E_5$	4.41
<b>Codice D</b>	
$E_1$	1.66
$E_2$	4.65
$E_3$	14.64
$E_4$	16.46
$E_5$	6.45

Tabella 18. Calcolo dimensione attesa classi

La tabella sopra riportata suggerisce la necessità di rivedere il dimensionamento delle classi. Nello specifico, il problema sembra essere un eccessivo sottodimensionamento della prima classe; in aggiunta, per il codice C, anche la quarta classe sembra contenere un numero ridotto di osservazioni, così come la seconda del codice D.

Per i codici A e B sarà necessario individuare l'opportuno valore dell'upper bound della prima classe che permetta di ottenere un valore dell' $E_1$  almeno pari a cinque: ciò sarà possibile adottando l'approccio esattamente inverso rispetto a quello che ha portato all'individuazione della probabilità che l'osservazione si trovi in tale classe. Tale operazione comporterà, per ciascuno dei codici, alla crescita della dimensione della prima classe e alla riduzione della dimensione della seconda classe.

Maggiormente complessa è invece la situazione del codice C, per il quale sarà necessario prevedere i seguenti accorgimenti:

- i. Unire le prime due classi;
- ii. Aumentare leggermente la dimensione dell'ultima classe, prevedendo di conseguenza la riduzione della dimensione della classe precedente.

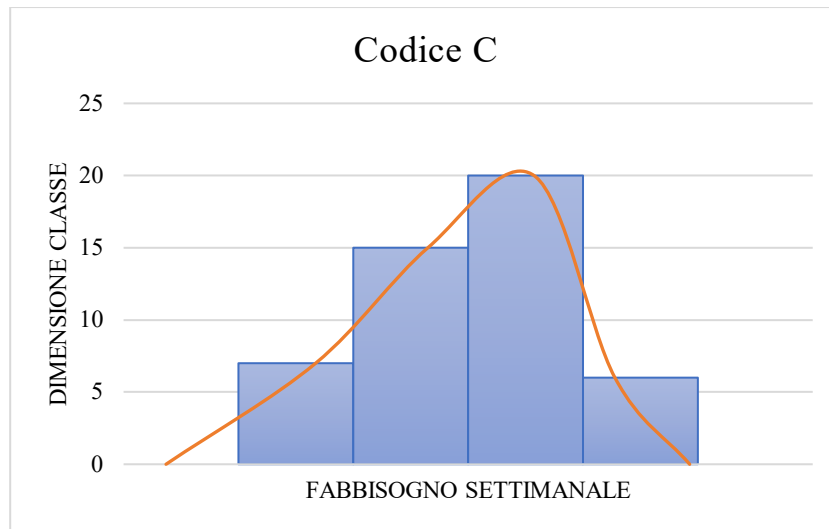


Figura 14. Densità di probabilità Codice C (4 classi,  $E_i > 5 \forall i$ )

I valori ottenuti nel caso del codice D suggeriscono la possibilità di andare a unire le prime due classi, ritornando quindi allo schema a quattro classi, inizialmente ipotizzato, ma non più equidistanti. A seguito di tale rivisitazione, sarà possibile osservare una funzione di densità ancor più vicina all'andamento a campana caratterizzante la distribuzione normale.

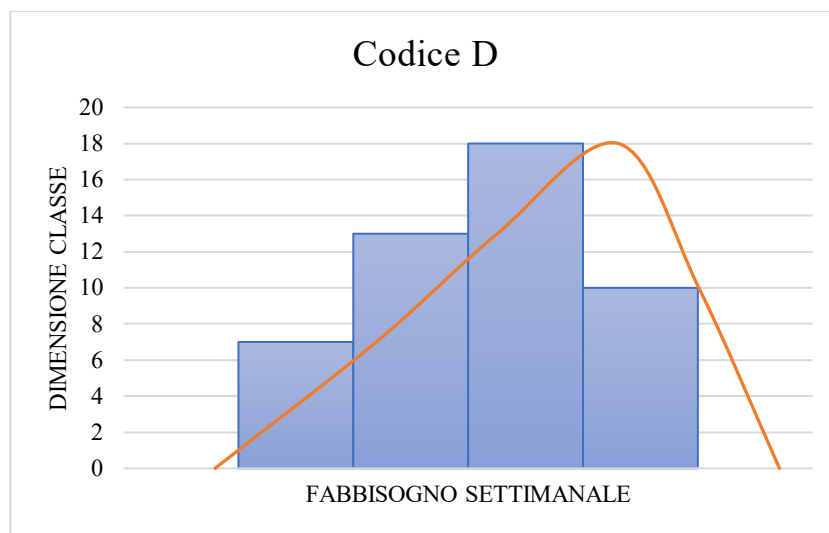


Figura 15. Densità di probabilità Codice D (4 classi,  $E_i > 5 \forall i$ )

Non rimane altro che proseguire con il calcolo della statistica Chi-quadro, necessario chiaramente per ciascuno dei quattro codici. Tale statistica dovrà essere confrontata con gli appositi valori tabulati: verrà selezionato un valore specifico in funzione dei gradi di libertà che caratterizzano il test e in funzione del livello di significatività.

Per quel che riguarda i gradi di libertà, questi verranno calcolati secondo la seguente formula,

$$G.D.L = k - 1 - s$$

In questo caso,  $k$  sarà il numero di classi e  $s$  il numero di parametri stimati in fase di definizione dei parametri della distribuzione (in questo caso specifico due).

Di seguito un recap dei valori delle varie statistiche calcolate per ciascun codice e il rispettivo valore tabulato. Nel caso in cui, il valore tabulato risulti maggiore del valore calcolato non

sarà possibile rifiutare l'ipotesi nulla e di conseguenza sarà possibile confermare le distribuzioni individuate. Per ciascun codice è stato riportato il livello di significatività per cui la distribuzione stimata fosse conforme a quella teorica.

	Statistica calcolata	Statistica tabulata	Livello di significatività
Codice A	0.485	2.706	10%
Codice B	1.194	2.706	10%
Codice C	1.774	2.706	10%
Codice D	2.363	2.706	10%

*Tabella 19. Risultato Test Chi-quadro*

Dai risultati ottenuti si evince che per i quattro codici analizzati la distribuzione che rappresenta in maniera statisticamente significativa l'andamento della domanda è proprio la distribuzione normale.

## 5. Analisi dei risultati

Si è deciso di simulare il funzionamento della linea di lavorazione dei semiassi su un orizzonte temporale di due anni, più nello specifico su 480 giorni, ipotizzando che il primo giorno simulato fosse il lunedì della settimana due: questo deriva dal fatto che era necessario escludere dal periodo simulato le settimane non lavorative, mediamente corrispondenti a quattro delle 52 che compongono l'anno. È stato inoltre necessario andare a colmare il disaccoppiamento tra le giornate lavorative dei reparti di montaggio e quelle dei reparti di lavorazione: se per i primi è previsto di lavorare cinque giorni a settimana su tre turni, per gli altri sono previsti invece turni aggiuntivi anche sul sabato e la domenica (più nello specifico i primi due turni sul sabato e il turno di notte sulla domenica). La particolarità di tale organizzazione è che non tutte le linee di lavorazione risultano essere sempre attive nel fine settimana: questo è dovuto al fatto che su questi due giorni la disponibilità di personale è ridotta e di conseguenza si tende ad assegnare gli operai a lavorazioni particolarmente critiche o per le quali è tassativo accumulare scorta di prodotto finito per la ripartenza della settimana successiva. Se la linea esaminata fosse sempre attiva sui tre turni del fine settimana si avrebbe un totale di ore lavorative sulla settimana pari a 135. Per andare a compensare tali disaccoppiamenti, si è supposto che la linea di lavorazione sia attiva un totale di 120 ore settimanali, suddivise su cinque giorni lavorativi, ovvero assumendo che sui giorni del fine settimana questa sia sempre attiva su uno dei tre turni disponibili. Per poter andare a contrastare eventuali effetti generati dalla variabilità si è inoltre deciso di eseguire dieci repliche della simulazione, in modo da poter individuare non solo gli andamenti medi delle varie misure di performance, ma anche quali di queste fossero caratterizzate da maggiore variabilità.

In aggiunta alle scelte legate alla struttura del periodo simulato, è stato necessario fissare delle condizioni che permettessero di far funzionare correttamente il simulatore sin dal momento in cui questo venisse attivato. In particolare, alcune variabili necessitavano di essere inizializzate a specifici valori. Quelle la cui gestione è risultata maggiormente critica sono state l'*FNA* e l'*FNA\_target*: se per quest'ultima si è scelto che dovesse essere pari a tre volte la domanda media, la prima è stata inizializzata in modo da delineare un contesto standard e che potesse sin da subito permettere al ramo del modello dedicato alla lavorazione di selezionare uno tra vari codici da processare, ponendo anch'essa pari a tre volte il valore della domanda media, da intendersi in questo caso come il valore della media della distribuzione della domanda giornaliera del rispettivo codice. La struttura del modello permette, non appena viene avviata la simulazione, di andare a nettizzare lo stock di partenza di tutti i codici della rispettiva prima estrazione dalla distribuzione della domanda giornaliera. Si è cercato quindi di replicare uno scenario di partenza che non fosse un vero e proprio punto zero, bensì uno scenario standard che si punterebbe ad ottenere per la ripartenza a seguito dello stop invernale. A partire da questo scenario sarà possibile verificare sin da subito come il sistema produttivo sarà in grado di reagire alla domanda: proprio per questo motivo non è stato necessario andare ad individuare un transitorio.

Come precedentemente anticipato, l'esperimento è stato sviluppato su tre fasi, ognuna delle quali corrispondente ad un diverso scenario nel quale è stato testato il funzionamento della linea di lavorazione. Il primo scenario rappresenta l'*as is*, ovvero l'alternarsi dei quattro codici caratterizzati al momento da maggiore richiesta. Seguirà uno scenario in cui il codice



D, caratterizzato da un flusso piuttosto articolato, verrà del tutto esternalizzato e sostituito dai codici attualmente gestiti tramite fornitori in Conto Lavoro. Terzo nonché ultimo scenario sarà quello in cui verrà testata, in funzione anche dei risultati ottenuti nello scenario precedente, l'ipotesi di reinserire nel mix produttivo soltanto una quota parte dei codici attualmente lavorati esternamente.

### 5.1 Scenario 1

Il primo spunto di interesse relativo all'analisi di questo primo scenario è sicuramente legato a come e quanto i vari centri produttivi sono attivi durante il periodo simulato. I risultati della simulazione confermano che il collo di bottiglia dell'intera linea di lavorazione è il secondo centro produttivo, per il quale è stato registrato in questo scenario un utilizzo medio pari al 97,85%, di gran lunga il maggiore rispetto agli altri tre centri produttivi facenti parte della linea (la suddetta percentuale tiene conto dei tempi di set-up). Ne derivano elevati valori relativi al tempo medio di attesa in coda a tale centro produttivo nonché alla dimensione della coda stessa: si osserva un tempo medio di attesa pari a 12,11 ore e una semi-ampiezza dell'intervallo di confidenza (calcolato con un livello di confidenza del 95%) pari 4,05 ore. La causa di questa elevata inefficienza può essere facilmente individuata andando ad analizzare i tempi di processo dei vari codici sia in relazione al primo che al secondo centro produttivo: in generale, i codici A e D risultano essere quelli la cui lavorazione richiede tempistiche maggiori; se il codice A risulta essere più lento del 22,86% rispetto ai codici B e C, per il codice D questa percentuale sale al 26,63%. In aggiunta a ciò si osserva che, sempre in relazione ai codici A e D, il gap che intercorre tra i tempi di processo delle prime due fasi è nettamente maggiore di quello osservabile per i codici B e C: ne deriva che il sovradimensionamento della coda che precede il secondo centro produttivo si verificherà in corrispondenza della lavorazione del codice A e del codice D. Tale accumulo di semilavorato verrà ulteriormente accentuato dal momento in cui, supponendo che il secondo centro di lavoro stia processando il codice D, verrà dato l'input per iniziare la lavorazione di un nuovo lotto del codice B o del codice C, le cui prime fasi di lavorazione risulteranno di gran lunga più veloci rispetto alla seconda fase di lavorazione del codice D: si osserva infatti uno scostamento tra le due pari al 29,35%. Specularmente a quanto appena esposto, degno di rilievo è sicuramente il basso valore relativo all'utilizzo del quarto centro produttivo, pari al 26,61%: ciò è sicuramente dovuto al fatto che si tratta di un insieme di macchinari che vengono attivati soltanto dal momento in cui viene processato il codice D. Oltre alla scarsa produttività rilevata per questo centro produttivo, è necessario portare alla luce una serie di effetti collaterali che ne possono derivare, principalmente legati ad aspetti manutentivi e di preservazione delle buone condizioni dei macchinari.

Come precedentemente anticipato, il codice D è quello caratterizzato da una domanda giornaliera media maggiore: senza l'apporto di consegne giornaliere di materiale finito, sarebbe pressoché impossibile sostenere i ritmi imposti dalla richiesta del cliente per questo codice. Ad oggi, in media, circa il 70% del fabbisogno di questo codice è garantito da aiuti esterni, mentre la quota residua deriva dalla produzione interna, con conseguenti forti impatti sulla produzione degli altri tre codici. Prima di trarre eventuali conclusioni è necessario tener conto che delle 11520 ore disponibili sul periodo di simulazione, una certa percentuale è dedicata ai cambi tipo e quindi al set up dei centri produttivi: considerando il numero medio

di lotti processati per ciascun codice e moltiplicandolo per il tempo complessivo di set up è possibile ricavare il tempo effettivo dedicato ai vari settaggi dei macchinari, ottenendo il 13,19% del monte ore disponibili (ovvero 1519,55 ore). Per poter individuare quante delle ore residue vengano effettivamente dedicate alla produzione del codice D, è stato applicato un semplice principio di allocazione: moltiplicando il numero medio di lotti processati per la dimensione media del lotto è stato possibile individuare un valore teorico della produzione media totale. Si è detto in precedenza come l'utilizzo medio calcolato per questo centro produttivo fosse del 97,85%, ad indicare che delle 10000,45 ore disponibili ben 9785,44 sono dedicate alla lavorazione di uno dei quattro codici. Seguendo il principio di allocazione precedentemente citato, si ottiene che 1577,91 ore sono dedicate alla pura lavorazione del codice D (ovvero il 15,77% delle ore totali). In seguito, si è potuto osservare come tale assetto produttivo non sia sufficiente per garantire il soddisfacimento dell'intera domanda: nella tabella sottostante sono riassunti i valori del ritardo medio nei confronti della richiesta del cliente veicolare per ciascuno dei quattro codici, espressi come percentuale della rispettiva domanda media giornaliera. Si noti come per ricavare il valore medio del ritardo per ciascun codice è stato necessario salvare ad ogni iterazione che portasse a nettizzare la scorta di prodotto finito della richiesta giornaliera il valore del ritardo vigente in quel preciso istante: non si tratta d'altro che dello scostamento che in media si mantiene rispetto alla richiesta del cliente al passare del tempo.

Codice	Ritardo	FNA	D gg	Copertura vs D gg
Codice A	156.05	69.95	184	-47%
Codice B	112.2	66.04	134	-34%
Codice C	407.31	110.58	428	-69%
Codice D	33.23	627.42	454	131%

Tabella 20. Copertura vs richiesta cliente Scenario 1

Può sembrare paradossale che il valore più basso lo si ritrovi proprio in corrispondenza del codice D, ma è necessario sempre tenere a mente che questo è riferito ad una minima parte della domanda giornaliera media, ovvero quella quota gestita dalla produzione interna. Si noti che i dati presentati in Tabella 20 tengono conto sia dei picchi di ritardo che dei valori minimi, ovvero pari a zero. L'apporto del fornitore in Conto Lavoro permette di minimizzare il numero di volte in cui il valore del ritardo risulterà essere maggiore di zero e al tempo stesso costituisce una seconda fonte di approvvigionamento nel momento in cui il codice D verrà processato sulla linea. Per poter comprendere la causa scatenante degli elevati ritardi medi sugli altri codici, è necessario tenere a mente che per poter soddisfare quasi pedissequamente il delta residuo della richiesta del codice D, viene sacrificato in media più di un settimo di ciascuna giornata lavorativa, che potrebbe essere invece dedicato alla produzione di altri particolari. Tenendo in considerazione che per tutti e tre i codici restanti il collo di bottiglia del processo è il secondo centro produttivo, ipotizzando di voler allocare in maniera proporzionale alla domanda le 1577,91 ore di lavoro che si guadagnerebbero eliminando il codice D dal mix produttivo, si otterrebbe un incremento della produzione giornaliera media tale da annullare il ritardo nei confronti della richiesta del cliente. Nella tabella sottostante è riportata un'ipotetica ripartizione della capacità produttiva aggiuntiva.

	D tot/y	% allocazione	h allocate	%Delta prod
Codice A	88020.81	0.25	388.55	0.19
Codice B	64126.02	0.18	283.07	0.20
Codice C	205307.96	0.57	906.29	0.18

Tabella 21. Allocazione capacità produttiva residua

Si osserva facilmente che tali incrementi permetterebbero non solo di colmare il gap nei confronti della domanda ma anche di avere un eccesso di capacità produttiva. Il fatto che l'eliminazione di un codice dal mix produttivo possa portare ad ottenere dei vantaggi in termini di efficienza e di produttività, non significa necessariamente che uno o addirittura più codici non possano essere reintegrati nel flusso, andando parallelamente ad esternalizzare completamente la lavorazione del codice D. Tale ipotesi verrà testata nel secondo e nel terzo scenario.

Prima di effettuare questo passo in avanti, è risultato opportuno integrare l'analisi con delle considerazioni in termini monetari. Una simile variazione dell'assetto produttivo comporterebbe infatti l'insorgere di una serie di delta sui vari costi di produzione (da considerarsi sia positivi che negativi). Il primo aspetto da tenere in considerazione è che ad oggi, il costo di produzione unitario del codice D (incluso anche il costo dell'ultima lavorazione eseguita esternamente) è persino maggiore del prezzo d'acquisto del prodotto finito: fermo restando il costo del materiale grezzo si otterrebbe un risparmio unitario del 9,62%. Un'ulteriore considerazione degna di nota riguarda la differenza tra il costo di produzione del codice D e quello degli altri tre codici attualmente prodotti internamente: sostituendo la produzione di un'unità del codice D con un'unità di uno dei tre codici residui si otterrebbe un risparmio unitario medio, calcolato come percentuale dell'attuale costo di produzione del codice D, del 74% circa.

## 5.2 Scenario 2

Prima di valutare quali codici potessero essere reinseriti nel mix produttivo è stato necessario valutare come la linea di produzione andrebbe a reagire alternando i soli tre codici alto-rotanti. Si è quindi proceduto andando ad eliminare dal simulatore il ramo relativo alla gestione del codice D e modificando la struttura delle variabili vettoriali per poi testare il sistema produttivo ferme restando le condizioni di partenza adottate nel primo scenario.

Dopo aver eseguito la simulazione, si è potuto notare che il ritardo nei confronti della richiesta cliente non assume mai valori maggiori di zero indipendentemente dal codice. Di seguito vengono riportati i valori della copertura rispetto alla domanda giornaliera, espressa come percentuale della domanda stessa.

Codice	Ritardo	FNA	D gg	Copertura vs D gg
Codice A	2.11	310.89	184	168%
Codice B	0.99	127.63	134	95%
Codice C	1.82	452.67	428	105%

Tabella 22. Copertura vs richiesta cliente (no Codice D)

Lo spunto di interesse non è tanto il fatto che non si vada a creare ritardo (o comunque che questo si aggiri intorno al valore dell'unità), condizione alquanto prevedibile avendo eliminato un particolare dal mix, quanto come questo traguardo verrà raggiunto. Osservando i valori relativi al numero di lotti processati e alla loro dimensione media, si osserva che da un lato questi tendono ad aumentare notevolmente e dall'altro ad essere caratterizzati da dimensioni minori: ciò si traduce essenzialmente in una percentuale minore del tempo disponibile dedicato esclusivamente alla produzione, passando da un 86,81% ad un 70,4%. Ciò è dovuto al fatto che ogni qualvolta il sistema recepisce di dover effettuare il cambio tipo, il lotto verrà calcolato partendo da uno stock iniziale di prodotto finito mediamente maggiore rispetto allo scenario precedente, impattando così sulla dimensione del lotto di produzione. Al tempo stesso, essendo il numero di particolari inferiore rispetto allo Scenario 1, aumenta la frequenza con cui questi verranno processati. Laddove si decidesse di inserire uno o più codici nel mix produttivo, bisognerà far sì che la loro produzione permetta da un lato di minimizzare i tempi complessivi di set up e dall'altro di mantenere la condizione di zero ritardi incrementando la dimensione media del lotto di produzione.

Si è passati quindi a valutare di reinserire nel mix produttivo quei codici la cui lavorazione è completamente esternalizzata. Si tratta di particolari la cui gestione è più complessa rispetto a quella dei codici fino ad ora trattati, in primis perché caratterizzati da richiesta media nettamente inferiore e a seguire perché il contratto con il fornitore che provvede alla lavorazione prevede che il materiale grezzo debba essere spedito con sei settimane di anticipo rispetto alla data di prevista consegna del prodotto finito. Una struttura di questo tipo ha chiaramente delle conseguenze notevoli anche in termini di fornitura del grezzo stesso: lead time di produzione così alti comportano la necessità di mantenere livelli dell'inventary position nettamente più alti, con la conseguenza che si avranno costi di mantenimento della scorta altrettanto elevati.

Avendo inserito ben sei nuovi particolari nel mix produttivo, perlopiù caratterizzati da domanda inferiore rispetto ai quattro inizialmente trattati, ciò che ci si aspetta è che una percentuale minore del tempo disponibile sia effettivamente dedicato alla produzione, proprio a causa del maggior numero di set up necessari e della maggior frequenza con cui questi avranno luogo. Infatti, ripercorrendo i calcoli eseguiti nello Scenario 1, si osserva che la percentuale del tempo disponibile, sempre pari a 11520 ore, arriverà ad un valore del 18%: questo avviene perché, nonostante si osservi una riduzione del numero di lotti processati per i codici ad alta richiesta, si vanno ad aggiungere tutti quelli dedicati ai codici reinseriti nel mix produttivo. Si tratta comunque di una percentuale nettamente inferiore rispetto al 29,6% registrato nel caso in cui il mix produttivo sia composto dei soli tre codici alto-rotanti.

Rispetto allo scenario precedente, la domanda è l'unico fattore ad essere rimasto invariato. Bisogna però tenere in considerazione che, in relazione ai tre codici in comune ai tre scenari, trattandosi di due simulazioni diverse i valori estratti dalle distribuzioni di probabilità delle rispettive domande giornaliere potranno subire delle variazioni. Tale eventuale delta, potrà

sicuramente ripercuotersi nella sequenza di lotti processati nel corso della simulazione: diversi valori di domanda comportano diversi andamenti dello stock di prodotto finito nonché del ritardo, andando ad impattare sia sul numero medio di lotti processati per ciascun codice che sulla dimensione media di ciascuno di questi.

Si noti che anche per i codici che sono stati aggiunti nell'analisi di questo scenario si è ipotizzato che la domanda giornaliera fosse caratterizzata da una distribuzione normale: seppur tarate su valori differenti, le richieste per ciascun codice subiscono un andamento pressoché identico nel corso dell'anno.

Ciò che bisogna innanzitutto considerare è che la gestione tramite lavorazione esterna permette di soddisfare la richiesta del cliente senza accumulare alcun tipo di ritardo. Tale condizione ottimale diventa piuttosto difficile da replicare tramite la produzione interna, a maggior ragione se ci si pone come obiettivo quello di massimizzare l'efficienza di una linea di lavorazione: al diminuire della domanda diventerà sempre più complessa la gestione, in quanto la dimensione del lotto di lavorazione raggiungerà valori sempre più bassi, richiedendo così un numero maggiore di set up e di cambi tipo con conseguente perdita di produttività che andrà a ripercuotersi sulle varie coperture in termini di prodotto finito. Sebbene per i tre particolari alto-rotanti si possa osservare una crescita notevole della dimensione media del lotto, il tempo dedicato ai set up dei vari centri di lavoro passa dal 13,19% del tempo disponibile registrato nello Scenario 1 al 18%: da un lato, la necessità di dover processare un maggior numero di codici ha comportato una diminuzione del numero medio di lotti calcolati per i tre codici altro-rotanti, con conseguente crescita della loro dimensione media; dall'altro, tramite l'inserimento di ben sei nuovi codici, il numero medio totale di lotti processati è passato da 586,7 a 737,7.

Si inizia ad osservare un legame tra il numero di particolari processati e la percentuale di tempo dedicato ai set up dei macchinari: minore è il numero di prodotti che condividono la linea di produzione, minore sarà il tempo che intercorrerà tra la lavorazione di due lotti dello stesso tipo con la conseguenza che la dimensione dei lotti tenderà ad essere sempre più ridotta. L'obiettivo sarà quindi quello di individuare un mix produttivo efficiente ma anche capace di garantire il soddisfacimento della domanda.

Il fatto che i vari particolari siano caratterizzati da valori di domanda media giornaliera così diversi tra di loro rende ancor più complesso il mantenimento di un valore dell'FNA sufficientemente alto per tutti i codici. Viene a tal proposito riproposta la tabella relativa al confronto tra il ritardo medio mantenuto e la richiesta giornaliera.

Codice	Ritardo	FNA	D_gg	Copertura vs D_gg
Codice_A	252.29	41.16	184	-115%
Codice_B	196.96	34.11	134	-122%
Codice_C	669.3	59.46	428	-142%
Codice_E	33.88	11.97	25	-88%
Codice_F	22.51	11.72	17	-63%
Codice_G	23.18	11.84	18	-63%
Codice_H	0.064	29.22	2	1458%
Codice_I	17.6	11.28	12	-53%
Codice_J	2.64	22.48	4	496%

Tabella 23. Copertura vs richiesta cliente Scenario 2

Per i primi tre codici si osserva che il ritardo rispetto alla richiesta cliente tende (sempre da considerarsi come media della distribuzione di probabilità) tende a crescere, in particolar modo nel caso del codice C per cui si osserva addirittura un passaggio da un ritardo medio assimilabile al 69% della domanda giornaliera ad un 142%.

Si osserva però al tempo stesso che per i codici H e J, ovvero quelli caratterizzati in assoluto da richiesta inferiore si ottiene una copertura media pari a rispettivamente a circa 15 e 5 volte la domanda giornaliera: questo è sicuramente anche dovuto al fatto che, nel momento in cui tali codici vengono processati il lotto calcolato risulta essere parecchio inferiore rispetto alla dimensione dell'UdC. La dimensioni del lotto medio calcolato per questi due codici sono infatti rispettivamente di 8,65 e 17,13 unità, ben distanti dalle 75 che caratterizzano un'UdC. Tale inefficienza risulta essere amplificata dal fatto che questi due codici sono proprio quelli che presentano il tempo di processo maggiore in corrispondenza del collo di bottiglia della linea di lavorazione. Per i codici restanti, si osserva nuovamente una forte difficoltà nel soddisfare la condizione di assenza di ritardo rispetto alla domanda.

Se da un lato il reinserimento di tutti i codici attualmente lavorati esternamente potrebbe comportare una netta riduzione dei costi di mantenimento delle scorte (sia in termini di prodotto finito che di prodotto grezzo), dall'altro, tale soluzione non sembra essere la strada da perseguire per l'ottimizzazione del processo produttivo e la chiusura del gap tra richiesta del cliente e output della linea di lavorazione. È necessario, quindi, individuare un nuovo mix produttivo che da un lato permetta di incrementare la produzione dei codici alto-rotanti e che dall'altro permetta altresì di ridurre la quota parte dei particolari gestiti da terzi.

### 5.3 Scenario 3

Si è visto nella fase conclusiva dell'analisi del primo scenario come l'eliminazione del codice D dal mix produttivo avrebbe comportato la liberazione di una quota piuttosto consistente della capacità produttiva della linea di lavorazione. Arrivati a questo punto dell'analisi si tratta di capire quali dei sei codici caratterizzati da una richiesta inferiore possano essere integrati nel mix produttivo senza conseguenze negative sul grado di soddisfacimento della domanda dei tre codici alto-rotanti.

Si è deciso a tal proposito di escludere i codici H e J, per i seguenti motivi:

- i. Creano problemi di inefficienza per effetto della dimensione troppo ridotta che dovrebbe avere il lotto di lavorazione ottimo;
- ii. Il delta costo tra lavorazione interna e lavorazione esterna risulta essere inferiore rispetto a quello calcolato per gli altri codici;
- iii. Con particolare riferimento al codice H, si ottiene un livello medio di scorta di prodotto finito eccessivamente elevato.

Codice	Dgg (media)	Dtot 480 gg	Delta C un %
Codice_D	454	152544	+10%
Codice_E	25	12000	-60%
Codice_F	17	8160	-77%
Codice_G	18	8640	-154%
Codice_H	2	960	-33%
Codice_I	12	5760	-187%
Codice_J	4	1920	-38%

Tabella 24. Delta costi lavorazione interna vs lavorazione esterna (step 1)

In Tabella 24 sono riportati i valori necessari per individuare quali dei codici portino ad un maggiore risparmio in seguito al reinserimento nel mix produttivo. Dato il prezzo d'acquisto del pezzo finito presso fornitori esterni, l'ultima colonna riporta il delta percentuale rispetto al costo unitario di produzione. Sarà comunque necessario tenere conto dell'entità della domanda sul periodo analizzato per poter valutare l'incremento o il decremento complessivo dei costi.

Si è proseguito quindi andando a simulare il funzionamento della linea, sempre a parità di condizioni iniziali, verificando che l'esclusione dei codici H e J non è sufficiente per ottenere una copertura percentuale positiva per tutti i codici. Seppur siano oggettivamente visibili dei miglioramenti rispetto allo Scenario 2, i risultati ottenuti suggeriscono la necessità di individuare all'interno di questo nuovo mix produttivo appena testato un ulteriore codice da escludere: tale scelta potrà essere effettuata sulla falsa riga di quella che ha portato all'eliminazione dei codici H e J, ovvero tenendo conto dell'impatto monetario generato dalla lavorazione presso terzisti e da quanto l'ipotetica lavorazione interna possa andare a minare l'efficienza produttiva con lotti di dimensioni eccessivamente ridotte.

Codice	Ritardo	FNA	D_gg	Copertura vs D_gg
Codice_A	114.95	89.04	184	-14%
Codice_B	91.62	71.06	134	-15%
Codice_C	296.13	155.58	428	-33%
Codice_E	16.78	20.11	25	13%
Codice_F	11.67	18.6	17	41%
Codice_G	13.06	18.72	18	31%
Codice_I	8.44	18.74	12	86%

Tabella 25. Copertura vs richiesta cliente Scenario 3 (ipotesi 1)

Per effetto del trade-off precedentemente accennato, bisogna comunque tenere in considerazione che ogniquale volta si decide di ridurre il numero di codici processati si ottiene parallelamente una crescita della percentuale di tempo dedicata ai set up dei macchinari. La particolarità dei numeri riscontrati in questo scenario di transizione è che si osserva una minima differenza tra le caratteristiche dei lotti di produzione dei codici alto-rotanti rispetto al primo scenario (sia in termini di quantità che di dimensione), ma pur sempre sufficiente da garantire una notevole crescita della copertura media.

Dimensione lotto	S1	S2	Delta%
Codice_A	483.56	470.37	-2.73%
Codice_B	363.06	359.38	-1.01%
Codice_C	1056.55	1021.70	-3.30%
Nr Lotti	S1	S2	Delta%
Codice_A	171.40	175.30	2.28%
Codice_B	153.40	153.50	0.07%
Codice_C	186.80	192.90	3.27%

Tabella 26. Variazione dimensione lotti/numero lotti S1 vs S3 (ipotesi 1)

È comunque evidente che tale assetto produttivo non garantisce ancora il corretto soddisfacimento della domanda. Si è quindi proceduto andando ad eliminare in maniera progressiva dal mix produttivo i codici per i quali la lavorazione esterna, proporzionata rispetto alla domanda sul periodo simulato, comporta una perdita in termini monetari inferiore, e quelli i cui lotti di produzione sono caratterizzati di dimensioni medie troppo ridotte.

Codice	Dgg (media)	Dtot_480 gg	Delta C_un %
Codice_D	454	152544	+10%
Codice_E	25	12000	-60%
Codice_F	17	8160	-77%
Codice_G	18	8640	-154%
Codice_H	2	960	-33%
Codice_I	12	5760	-187%
Codice_J	4	1920	-38%

Tabella 27. Delta costi lavorazione interna vs lavorazione esterna (step 2)

La soluzione ottima si ottiene ipotizzando che il mix produttivo sia composto dai codici A, B, C, E, G.

Codice	Ritardo	FNA	D_gg	Copertura %
Codice_A	11.68	208.39	184	107%
Codice_B	9.96	162.79	134	114%
Codice_C	26.99	426.81	428	93%
Codice_E	1.67	44.45	25	171%
Codice_G	1.3	40.44	17	230%

Tabella 28. Copertura vs richiesta cliente Scenario 3 (ipotesi 2)

I valori riportati in Tabella 28 dimostrano come il mix produttivo sopra ipotizzato permetta di soddisfare ampiamente la domanda: si noti come la copertura va intesa come valore medio, ad indicare che non appena verrà terminata la lavorazione del lotto questa raggiungerà un punto di massimo per poi toccare un punto di minimo nel momento appena antecedente ad una nuova lavorazione. In aggiunta a ciò, l'entità del ritardo medio riscontrato per i codici alto-rotanti ha subito una netta decrescita rispetto a quanto osservato nello Scenario 1. Per poter ottenere tale risultato è stato necessario accettare un maggiore turn-over dei vari codici con conseguente inferiore dimensione media dei lotti di lavorazione. Sebbene la percentuale



di tempo prettamente dedicata alla produzione si sia passata dall'82% dello Scenario 2 al 72% dello Scenario 3, si osserva che quest'ultimo risulta essere in grado di massimizzare la stabilità del sistema: ciò lo si può osservare soprattutto dalla bassa variabilità che caratterizza la dimensione media dei lotti di lavorazione calcolati per ciascun codice nonché dalla riduzione nel passaggio da Scenario 2 a Scenario 3 della variabilità che caratterizza il numero di lotti processati sul periodo simulato. Sembrerebbe che il sistema abbia colto quella sequenza che, se ripetuta un numero indefinito di volte, garantirà comunque il soddisfacimento della domanda.

## 5.4 Conclusioni

Lo sviluppo di questa analisi porta alla luce le molteplici difficoltà che possono insorgere nella gestione di una linea di produzione dedicata a diversi particolari. Un aspetto che rende tale gestione ancor più complessa è sicuramente il fatto che, per quanto possano essere intraprese delle azioni di manutenzione ordinaria e preventiva, l'usura dei macchinari tenderà ad impattare in maniera esponenzialmente sempre più negativa sulla capacità produttiva disponibile, la quale diventerà il vero e proprio vincolo al soddisfacimento della richiesta. Ciò che si è cercato di fare è stato proprio andare a capire come ottimizzare la capacità produttiva disponibile, andando inizialmente ad individuare quale fosse l'elemento al momento maggiormente critico in questo contesto produttivo. La completa esternalizzazione di un codice caratterizzato da una richiesta particolarmente elevata porta con sé dei rischi, in questo caso però attenuati dal fatto che al momento vi è un fornitore capace di gestire tali volumi, perlopiù con costi decisamente moderati. La gestione interna di questo codice, oltre a generare inefficienze produttive, comporta infatti dei costi notevoli, soprattutto a causa dell'ultima fase di lavorazione, come già precedentemente accennato, eseguita presso un secondo fornitore. L'ipotesi di andare ed esternalizzare completamente questo codice porterebbe a liberare un volume di capacità produttiva tale da rendere la linea di produzione persino scarica laddove si decidesse di processare soltanto i tre codici residui: si noti come ciò avrebbe luogo eliminando dal mix produttivo il solo 30% della richiesta per questo codice. Disporre di capacità produttiva sicuramente lascia spazio a progetti di insourcing di altri particolari, la cui gestione sicuramente non sarà semplice a causa del livello inferiore della richiesta che li caratterizza. L'idea di poter reintegrare tutti i sei codici basso-rotanti si è dimostrata sin da subito fin troppo ambiziosa: il sistema fatica a seguire pedissequamente la richiesta, e ciò lo si può notare nelle dimensioni dei lotti di produzione dei codici alto-rotanti, i quali verranno calcolati con l'obiettivo di andare a sanare un ritardo che andrà gradualmente ad aumentare.

Si è quindi cercato di individuare quali potessero essere effettivamente i codici la cui reintegrazione potrebbe offrire i maggiori benefici in termini di produttività ma anche in termini monetari: il risultato finale è proprio il raggiungimento di una copertura nei confronti della richiesta tale da evitare alcun tipo di ritardo, ottenendo al tempo stesso una serie di savings dovuti alle azioni di outsourcing e insourcing.

Come riportato nella trattazione relativa ai principi cardine del WCM e FAPS, lo step finale di questa analisi sarebbe quello del vero e proprio testing dell'improvement ipotizzato, fase della quale non si sono purtroppo potuti osservare i risultati, per poi eventualmente estendere orizzontalmente l'approccio ad altre aree dello stabilimento, in modo tale da, nell'ottica del miglioramento continuo, adeguare i mix di produzione all'andamento della capacità produttiva e parallelamente a quello della domanda.

## Bibliografia e sitografia

- R.B. Kodali, K.S. Sangwan, V.K. Sunnapwar, *Performance value analysis for the justification of world-class manufacturing systems*, 85–102, 2004
- F. De Felice, A. Petrillo, *Optimization of Manufacturing System through World Class Manufacturing*, Università di Cassino e del Lazio Meridionale e Università di Napoli, 2015
- M. Francisco, R. Roy, B. Wegen, A. Steele, *A framework to create key performance indicators for knowledge management solutions*, 46–62, 2003
- J. Teeravaraprug, K. Kitiwanwong, N. Sae Tong, Relationship model and supporting activities of JIT, TQM and TPM, *Journal of Science and Technology*, 101–106, 2011
- Y. Monden, *Toyota production system, an integrated approach to just-in-time*, Engineering and Management Press, Norcross, 1998
- A. Petrillo, F. De Felice, F. Zomparelli, *Performance measurement for world-class manufacturing: a model for the Italian automotive industry*, Total Quality Management & Business Excellence, 2019
- F. De Felice, A. Petrillo, S. Monfreda, *Improving Operations Performance with World Class Manufacturing Technique: A Case in Automotive Industry. Chapter 1 - Operations Management*, InTech, 2013
- A. C. M. D. De Oliveira, C. Kuhl, A. E. Do Prado, G. Gorgulho, A. C. Pacagnella Junior, *Study of the implementation of the pillar of focused improvement methodology world class manufacturing (WCM) in a company of automotive sector of interior of Sao Paulo*, Espacios, 2015
- K. Palucha, *World Class Manufacturing model in production management*, Zabrze (Poland), 2012
- M. Jiménez, L. Romero, M. Dominguez, M. Espinosa, *5S methodology implementation in the laboratories of an industrial engineering university school*, Safety Sciences, 163–172, 2015
- K. E. Chong, K. C. Ng, G. G. Goh, *Improving Overall Equipment Effectiveness (OEE) through integration of Maintenance Failure Mode and Effect Analysis (maintenance-FMEA) in a semiconductor manufacturer: a case study*, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 1427–1431, 2016
- Fiat Group, *World Class Manufacturing – Methods and tools for the Fiat Auto Production System*

[https://www.ivecocapital.com/it\\_it/A-proposito-di-noi](https://www.ivecocapital.com/it_it/A-proposito-di-noi)

[https://www.heuliezbus.com/fr/presentation\\_de\\_lentreprise](https://www.heuliezbus.com/fr/presentation_de_lentreprise)

<https://www.iveco.com/ivecobus/it-it/prodotti/pages/iveco-bus-about-us.aspx>

<https://www.iveco.com/italy/Pages/Home-Page.aspx>

<https://www.fptindustrial.com/it/media/company/about-us>

<https://www.fptindustrial.com/it/products/drivelines/axles/light>

<https://www.fptindustrial.com/it/products/drivelines/axles/medium>

<https://www.fptindustrial.com/it/products/drivelines/axles/heavy>

<https://www.idvgroup.com/company/>

<https://www.astra-trucks.com/en/products/>

<https://www.magirusgroup.com/de/en/company/>

## Ringraziamenti

Ho iniziato questo lungo percorso pensando che sarebbe stato praticamente impossibile portarlo a termine, sembrava un susseguirsi di ostacoli sempre più difficili da superare. La fortuna ha voluto che io fossi circondato dalle persone giuste al momento giusto, persone che credo sia più che doveroso ringraziare perché senza di loro non sarei qui oggi a scrivere l'ultima pagina di questo importante capitolo.

Il caso ha voluto che sia stata proprio questa università a farmi incontrare la persona che ancora oggi mi supporta e mi sopporta in tutte le mie avventure e disavventure, Liliana, la mia fidanzata. A lei va un ringraziamento speciale, per avermi capito davvero sin da l'inizio, per avermi fatto realizzare di avere tutte le carte in regola per poter portare avanti questo percorso, per avermi sostenuto nei momenti difficili, per avermi lasciato gli spazi di cui avevo bisogno dopo le grandi delusioni, per aver capito a pieno l'importanza di tutti i traguardi raggiunti e per aver gioito con me degli stessi quasi come se fossero anche suoi. E in fondo, credo proprio che lo siano stati.

Un ringraziamento speciale va a Luca, mio migliore amico, se oggi sono qui lo devo anche a lui. Faccio davvero fatica a pensare a momenti non condivisi con lui in questi anni, abbiamo affrontato questo percorso insieme sostenendoci l'un l'altro, spronandoci e creando quel poco di competizione che ci ha portato a cercare di dare sempre il meglio di noi. Sono sicuro che, un giorno, tutti quei progetti fatti seduti al tavolino del bar diventeranno realtà e noi saremo ancora lì a guardarci un po' increduli per avercela fatta un'altra volta.

Non potrei non ringraziare i miei amici, Petro, Leo e Milans, veri compagni di viaggio con i quali ho potuto condividere intense giornate di studio nel bel mezzo dell'estate nonché fantastici pranzi davanti alla nostra amata biblioteca battendo i denti per il freddo. Grazie, perché aver avuto la possibilità di contare su di voi, sul vostro sostegno e su quel nostro pizzico di follia ha reso questo percorso molto meno difficile di quanto sarebbe altrimenti stato.

Ringrazio i miei genitori, per avermi trasmesso quei valori che mi hanno fatto diventare la persona che sono, per avermi accompagnato fino a quando ne ho avuto bisogno e per avermi lasciato andare dopo aver capito che ormai ero diventato grande. Ora che sono grande, so però che, un po' a modo vostro, voi ci sarete sempre per me e so che, sempre un po' a modo vostro, cercate di dimostrarcelo ogni giorno.

Ringrazio inoltre mia sorella, da sempre solido pilastro nella mia vita, che da sempre mi ha trasmesso l'importanza delle piccole cose e l'importanza dell'essere fieri di qualsiasi obiettivo raggiunto, dal più piccolo al più grande.

Penso sia doveroso ringraziare il mio tutor aziendale, non solo per gli insegnamenti che ha saputo trasmettermi, ma anche per aver creduto in me e nelle mie capacità come davvero pochi hanno fatto in tutta la mia vita. Sin dai primi giorni di tirocinio, mi sono rivisto in lui per la passione e la voglia di fare, e in lui ho potuto trovare non solo un ottimo collega ma anche un amico. Spero davvero che i nostri percorsi, lavorativi e non solo, possano in un futuro incrociarsi di nuovo.

Infine, un ringraziamento va alla Prof.ssa Alfieri e alla Prof.ssa Pastore, non solo per la comprensione e per il sostegno dimostrato in quest'ultima fase del percorso ma anche per la loro capacità nel trasmettere l'interesse per i temi affrontati durante i loro corsi e soprattutto il valore di quanto ho avuto la possibilità di imparare in questi anni. Grazie al Politecnico di Torino, perché più di sei anni fa varcavo per la prima volta la porta di questa università completamente ignaro di ciò che avrei dovuto affrontare, mentre oggi varco quelle stesse porte per l'ultima volta pienamente consapevole di tutto ciò che sono riuscito a superare.