POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Anno Accademico 2018/2019

Tesi di Laurea Magistrale

Qualità e Supply Chain: studio delle problematiche di sviluppo nel settore della produzione di cuscinetti

Relatore:

Prof. Fiorenzo Franceschini

Candidato:

Gaetano Alessio Bonanno

Sommario

Introduzione **4**

Acronimi **6**

1. Contesto generale **8**
- **1.1 SKF Industrie S.p.A** **8**
- **1.2 SKF nel mondo** **8**
- **1.3 Breve storia di SKF** **11**

2 Supply Chain in SKF **14**
- **2.1 Pianificazione integrata** **14**
- **2.2 I principali processi** **18**

3 Produzione e approvvigionamento **26**
- **3.1 Caratteristiche del prodotto** **26**
- **3.2 Processo di rettifica degli anelli esterni** **29**
- **3.3 Processo di decapaggio e fosfatazione** **40**
  - 3.3.1 Decapaggio 40
  - 3.3.2 Fosfatazione 42
- **3.4 Assemblaggio** **44**
- **3.5 Produzione in ottica pull** **46**
- **3.6 Approvvigionamento – Ottica JIT** **50**
- **3.7 NSDC – New Supplier Delivery Program** **52**
  - 3.7.1 Modello A 54
  - 3.7.2 Modello B 55
  - 3.7.3 Modello C 55
- **3.8 Confronto rispetto al passato** **55**
- **3.9 Reparto produzione e Supply Chain** **56**

4 Programmazione della produzione di cuscinetti **58**
- **4.1 Analisi del processo di rettifica** **61**
- **4.2 Interruzione del regolare flusso di processo – setup** **69**
  - 4.2.1 Rappresentazione visiva del tempo di setup – Patchwork 74
  - 4.2.2 Calcolo del tempo di setup 80

5 Gestione del percorso degli anelli dei cuscinetti **83**
- **5.1 Material code – differenti tipologie di anelli** **83**
- **5.2 Catena di fornitura** **84**
- **5.3 Approvvigionamento e parametri settati nel sistema – la mansione del Supply Chain Planner** **86**
- **5.4 Work order di produzione e proposta d'ordine** **93**

6 Prestazioni del sistema di produzione **98**
- **6.1 I principali dati che descrivono l'andamento aziendale** **98**
- **6.2 Studio della domanda negli ultimi tre anni** **103**
  - 6.2.1 Costo delle parti prodotte 103
  - 6.2.2 Numero di TBU prodotte 104
  - 6.2.3 Valore dell'orderbook 105
- **6.3 Indicatore di prestazione nella produzione di cuscinetti – OEE** **107**
  - 6.3.1 Perdite nel canale di produzione 113
  - 6.3.2 Calcolo di A, P, Q 114
- **6.4 Andamento A, P, Q degli ultimi tre anni** **116**
  - 6.4.1 Andamento Availability rate 2017-2018-2019 117

6.4.2 Andamento Performance rate 2017-2018-2019 118
6.4.3 Andamento Quality rate 2017-2018-2019..... 120
6.5 Andamento OEE 2017-2018-2019..... 121

7 CONCLUSIONI 124
7.1 Considerazioni e proposte 124

BIBLIOGRAFIA 130

SITOGRAFIA 131

MATERIALE DIDATTICO 132

Introduzione

Il seguente elaborato nasce dall'attività svolta presso la sede aziendale di SKF Industrie S.p.A situata a Villar Perosa. In particolare, la mia esperienza di tirocinio si è svolta nel reparto Supply Chain TBU dell'azienda, che si occupa di servire una domanda di mercato ormai in forte crescita riguardante i cuscinetti ferroviari. Di forte interesse è l'attività svolta al fine di servire questa domanda, in un ambiente particolarmente dinamico e ricco di sfumature. Alla base di questo studio vi è l'analisi della catena di fornitura in ogni suo particolare e delle metodologie attuate al fine di servire i clienti al meglio delle possibilità aziendali. Analisi che ha portato inevitabilmente ad interfacciarsi con il reparto produzione dell'azienda.

L'obiettivo di questa tesi di laurea è quello di fornire un'analisi dei processi necessari a raggiungere obiettivi di efficienza ed efficacia intrapresi dai reparti Supply Chain e Produzione, in modo da poter tenere un ottimo livello di servizio al cliente e quindi tenere bassi i lead time di consegna.

La tesi è articolata in sette capitoli: il primo capitolo, fornisce una breve introduzione riguardante l'azienda, con un excursus sulla nascita e con alcune indicazioni relative alla cultura di SKF. Il secondo capitolo, sviluppa il tema della Supply Chain, tratta i principali processi svolti e ne presenta le caratteristiche dal punto di vista della catena integrata. Il terzo capitolo descrive il processo di produzione alla quale sono soggetti gli anelli arrivati in officina:

- processo di rettifica,
- processo di decapaggio,
- processo di fosfatazione;
- assemblaggio.

Inoltre, si concentra sull'ottica produttiva di tipo pull, perseguita dal reparto Produzione, sulla logica just in time sulla quale si concentra l'approvvigionamento del reparto Supply Chain e sulla gestione degli item con i vari fornitori della catena. Il quarto capitolo ri-analizza il contenuto del terzo capitolo, ponendo l'attenzione sul processo di rettifica, con tempi di produzione macchina ed individuazione del collo di bottiglia della linea. In un primo momento, il processo è stato considerato come una linea continua senza nessun tipo di interruzione. In un secondo momento, la stessa analisi prende in considerazione i tempi morti che influenzano il processo produttivo, con particolare attenzione ai tempi di setup. Il quinto capitolo, analizza le tipologie di anelli di cuscinetti gestiti dall'azienda, il percorso che ogni lotto deve fare lungo la catena di fornitura, e come il pianificatore decide quantità e tempi di emissione degli ordini ai fornitori. Il sesto capitolo focalizza la sua attenzione sulle prestazioni produttive del reparto TBU, considerando i dati che sottolineano eventuali prestazioni rispetto al passato e focalizzando l'attenzione sull'indicatore di prestazione OEE (*Overall Equipment Effectiveness)*. Nel settimo ed ultimo capitolo è inserita una visione d'insieme dell'analisi svolta nei capitoli precedenti, presentando alcune proposte di possibile implementazione futura riguardante la gestione dei fattori che maggiormente influenzano il processo aziendale, come setup e fermi macchina imprevisti.

Acronimi

- CDB = Collo Di Bottiglia
- FWH = Factory Warehouse
- FV = Final Variant
- IED = Inside Exchange of Die
- JIT = Just in Time
- LWH = Local Warehouse
- MCSS = Manufacturing Customers System Service
- MF = Material Family
- MRP = Material Requirements Planning
- MSP = Manufacturing Supply Planning
- MV = Main Variant
- NSDC = New Supplier Delivery Program
- OED = Outside Exchange of Die
- PCC = Product Classification Code
- PV = Pack Variant
- RFP = Ready for Packing
- RWH = Regional Warehouse
- SCP = Supply Chain Profile
- SWH = Supplier Warehouse
- SIM = Supply Integration Manager
- SMED = Single Minute Exchange of Die
- TBU = Taper Bearing Unit
- UTE = Unità Tecnologiche Elementari
- VMI = Vendor Managed Inventory

1. Contesto generale

1.1 SKF Industrie S.p.A

SKF è fornitore leader di tecnologie a livello mondiale. Il suo principale punto di forza è la capacità di sviluppare continuamente nuove tecnologie utili alla creazione di prodotti che offrono concreti vantaggi competitivi per i clienti.
Il suo successo si basa su profonde conoscenze relative a ben cinque piattaforme tecnologiche: cuscinetti, unità cuscinetto, meccatronica, servizi e sistemi di lubrificazione. Il suo business è suddiviso in aree, tra cui: Industrial Sales Americas, Industrial Sales Europe and Middle East/Africa, Industrial Sales Asia e Automotive and Aerospace.
Ogni area offre una gamma completa di prodotti, servizi e soluzioni destinati agli utenti finali.

1.2 SKF nel mondo

Fondata a Göteborg, in Svezia, nel 1907 da Sven Wingquist (figura 1), inventore del cuscinetto (figura 2).
Oggi l'azienda, dopo ben 112 anni di attività, vanta una rete di distribuzione cosi ampia da raggiungere 130 Paesi, conta circa 45.678 dipendenti e 103 stabilimenti produttivi in 24 Paesi.

Figura 1: Primo stabilimento a Göteborg [a].

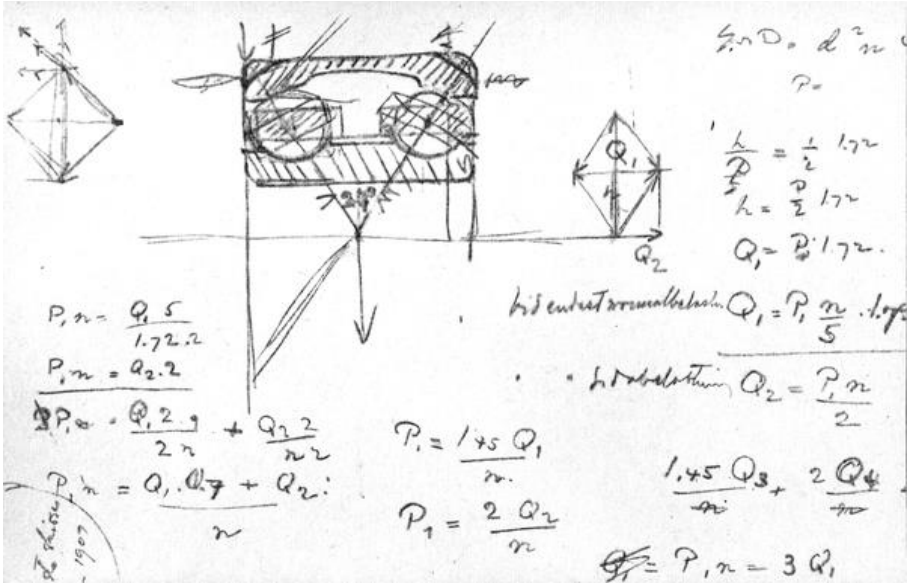


Figura 2: Disegno originale di un cuscinetto orientabile a sfere [a].

Come mostrato in Figura 3, il suo sviluppo ha permesso la collocazione di Siti di produzione, Sedi direzionali, Solution Factory e Centri di Ricerca e Sviluppo in tutto il mondo, diventando un'azienda globale consolidata in tutti i continenti e nella maggior parte dei settori industriali.

Figura 3: SKF nel mondo [a].

Il Gruppo SKF ha una struttura organizzativa mirata a rafforzare la crescita aziendale. Il suo sforzo si incentra su quattro principi di base, che definiscono l'essenza della cultura di SKF [a]:

- VISION: Affidabilità
- MISSION: in quanto leader indiscusso nel settore dei cuscinetti, si impegna investendo in processi di produzione più snelli, più sicuri, più convenienti e più flessibili.
- INDICATORI:
    - Crescita profittevole
    - Qualità
    - Innovazione
    - Semplicità e velocità
    - Sostenibilità
- VALORI:
    - Etica
    - Responsabilizzazione
    - Apertura
    - Lavoro di gruppo

La strategia che sostiene la produzione di eccellenza si applica a tutta la catena del valore, dal sourcing al prodotto finale, consegnato senza difetti al cliente. Significa consegnare senza difetti, puntualmente e al minor costo possibile.

Le tre Divisioni indipendenti, che caratterizzano l'azienda, sono: Automotive, Industrial, Service.
Queste, rappresentando e occupando un'ampia fetta del mercato aziendale, mantengono una reciproca collaborazione proponendo ai propri clienti un'offerta completa.
L'Automotive Division pone la sua attenzione al mercato delle due e delle quattro ruote, motori elettrici ed elettrodomestici. Sviluppa cuscinetti, tenute ed elaborando soluzioni di servizio. Le vendite di tale divisione rappresentano il 35 % delle vendite del Gruppo.
L'Industrial Division è responsabile dello sviluppo e della fabbricazione di una vasta gamma di cuscinetti e di sistemi di lubrificazione. Possiamo suddividerla in quattro aree di business: Ferrovie, Aerospaziale, Sistemi di lubrificazione e Attuazione e controllo del Moto. Le sue vendite rappresentano circa il 32 % delle vendite del Gruppo.
La Service Division, responsabile delle vendite al mercato del ricambio, permette ai clienti di ottenere soluzioni di manutenzione predittiva e preventiva, atte ad ottimizzare il rendimento dei macchinari. Le sue vendite rappresentano il 33% delle vendite aziendali.

1.3 Breve storia di SKF

All'alba del XX secolo, due aziende separate da un intero continente ma unite dai medesimi obiettivi, vedono la luce in Italia e in Svezia. La RIV di Villar Perosa (TO), e la SKF di Göteborg iniziano, approssimativamente nel medesimo periodo, a realizzare cuscinetti per tutta l'industria, allora in forte sviluppo.

A Berlino, nel 1906, la FIAT partecipa ad una esposizione-competizione per costruttori di automobili. Per partecipare a tale manifestazione, è necessario che i componenti dell'auto siano fabbricati nel paese dell'azienda partecipante. Giovanni Agnelli Senior comprende il potenziale economico dei cuscinetti a sfera, che la stessa FIAT sino ad allora era costretta a importare. Così, l'iniziativa dell'ingegner Roberto Incerti, progettatore italiano del cuscinetto, non tarda ad attirare l'attenzione del Senatore Giovanni Agnelli. In

via Marocchetti 6 nasce a Torino la società RIV, che ha come denominazione ufficiale Roberto Incerti & C. Villar La società trova spazio nello stabilimento FIAT di Corso Dante e, con una manodopera iniziale di 23 operai, fabbrica cuscinetti a sfere e sfere d'acciaio. Il nome RIV infatti deriva dal nome dell'ingegner Roberto Incerti (RI), unito alla "V" di Villar Perosa, paese in cui è stata costruita la prima officina.
Nel 1907 nasce a Villar Perosa il primo vero e proprio stabilimento RIV. La scelta del luogo è determinata sia da fattori sentimentali (era il luogo di nascita di Giovanni Agnelli senior) sia da fattori economici: Villar Perosa è un piccolo paese all'inizio della Val Chisone, servito da una buona rete stradale e ferroviaria e una posizione che ha permesso la creazione di centrali idroelettriche adatte a sopportare un'attività industriale di quella portata. Lo stabilimento si estende su un'area iniziale di 6250 metri quadrati ed ha 180 dipendenti. Con la costruzione del Municipio di Villar Perosa e delle case operaie, il paese cresce insieme alla fabbrica, che presto raggiunge una produzione annua di 20000 cuscinetti.

Negli anni successivi aumentano il numero di dipendenti e la capacità produttiva. Nel 1919 la RIV si rende autonoma dalla FIAT, costituendosi in Società Anonima, assumendo la denominazione di RIV Officine di Villar Perosa. È la guerra a causare gravi danneggiamenti agli stabilimenti italiani. Ma intorno al 1965, dopo una graduale ripresa e la riapertura degli stabilimenti, la RIV entra nel Gruppo SKF assumendo la denominazione di "RIV-SKF Officine di Villar Perosa S.p.A.". L'accordo tra l'azienda svedese e quella italiana prevede l'acquisizione da parte del gruppo svedese dei 2/3 del capitale azionario della società italiana.
Sarà solo nel 1988 che la RIV-SKF acquisisce il nome di una sola delle due case madri e diventa SKF Industrie S.p.A., a dimostrazione del fatto che la collaborazione tra l'azienda italiana e quella svedese è stata proficua. A partire da questo momento la storia ed i successi della RIV si fondono con quelli di tutto il Gruppo.

La crescita si fa sempre più forte e nel 1995 SKF vanta 90 stabilimenti distribuiti su tutto il territorio mondiale.

È nel 2007, quando l'azienda compie 100 anni, che si portano a termine diverse acquisizioni di società in diverse parti del mondo, concentrando i propri sforzi su produzioni che determinano il proprio core business [a].

2 Supply Chain in SKF

2.1 Pianificazione integrata

Lo sviluppo e il funzionamento delle catene di approvvigionamento sono diventati argomenti importanti per quelle aziende che perseguono l'obietto di ottimizzazione del servizio al cliente. Diverse definizioni sono state attribuite al concetto di catena di fornitura. Come riportato da Beamon, (1998), una Supply Chain è "un processo di produzione strutturato in cui le materie prime sono trasformate in prodotti finiti, quindi consegnati ai clienti finali " [1].
O ancora, Ayers, (2001) definisce la catena di fornitura come il ciclo di vita di un processo che coinvolge beni fisici, flusso di informazioni e attività finanziarie il cui obbiettivo è quello di soddisfare i requisiti del consumatore finale con beni e servizi diversi, attraverso la connessione dei vari fornitori [2]. È dunque un processo articolato, complesso, che richiede una pianificazione accorta e un'attenta allocazione delle risorse. Lo scopo è rendere l'azienda più efficiente e pronta a rispondere alle esigenze dei clienti. È un sistema di organizzazioni, persone, attività, informazioni e risorse coinvolte nel processo atto a trasferire o fornire un prodotto o un servizio dal fornitore al cliente.

Il principale obiettivo di SKF, oltre al profitto, è la soddisfazione del cliente: punta a creare un collegamento semplice e veloce tra azienda e fornitori e tra azienda e clienti.
Come mostrato in figura 4, si può rappresentare in modo chiaro e definito la catena di distribuzione con la quale SKF gestisce il flusso dei materiali, che siano essi grezzi, semilavorati, prodotti finiti da assemblare o già assemblati e pronti da spedire al cliente finale.

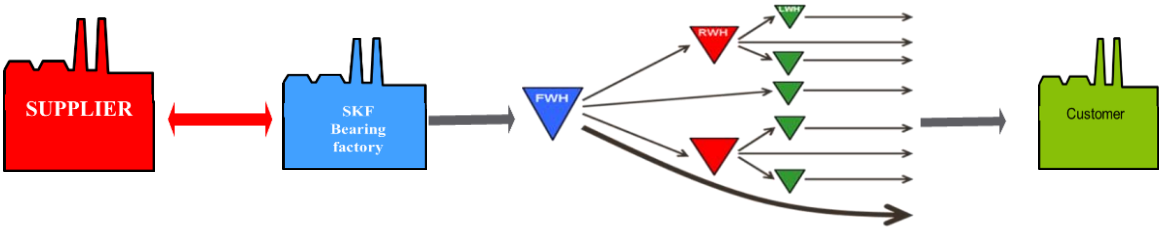


Figura 4: Rappresentazione del flusso dei materiali dai fornitori ai clienti. In blu la factory warehouse (FWH), in rosso le regional warehouse (RWH) ed in verde le local warehouse (LWH) [b].

Tenuto in considerazione il verso del flusso dei materiali, da monte a valle della catena, il primo attore è il fornitore, seguito da SKF Bearing Factory, il quale a sua volta sfrutta una fitta rete di magazzini (magazzino centrale, regionali e locali) che gli permettono di diramare il traffico dei prodotti al fine di velocizzare le consegne per i clienti.
Considerata tale catena come una rete costituita da nodi di ingresso e di uscita, ed ogni nodo come un team che lavora individualmente e localmente, si andrebbe incontro ad un grave disallineamento degli obiettivi (figura 5) [b].

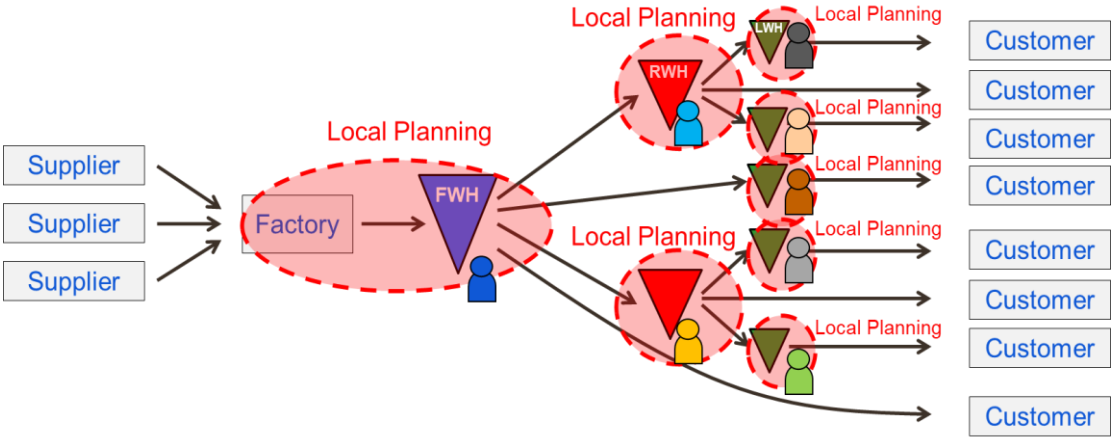


Figura 5: Supply Chain non integrata. Ogni sottogruppo evidenziato in rosso persegue un ottimo locale, ognuno attraverso una propria pianificazione [b].

Pianificazione verso un ottimo locale, allineamento limitato delle previsioni di domanda o volumi di produzione, potenziale utilizzo di differenti parametri e metodi di

pianificazione, problemi o deviazioni risolte solo in ambito locale sono aspetti che limiterebbero il raggiungimento degli obiettivi prefissati dall'azienda [3].
Sarebbe come avere mani e cervelli diversi che toccano lo stesso assortimento per servire i clienti sparsi in tutto il mondo.

Per ovviare a questi problemi, SKF fonda le sue radici su due principi primari di progettazione:

- L'ottimo globale supera la somma degli ottimi dei singoli
- Pianificare insieme i flussi dipendenti tra loro

E su due principi secondari:

- Alto livello di automazione in tutta la catena (intervenire solo in caso di eccezioni)
- Definizione rigorosa delle interfacce aziendali

SKF fa riferimento alla pianificazione integrata poiché essa collega le attività di pianificazione della domanda e le attività di pianificazione della distribuzione di tutto il mondo (figura 6). Il loro coordinamento permette di avere un'unica attività di pianificazione che consente di ottenere una totale ottimizzazione; lavorando giorno per giorno con dati, ordini clienti e magazzini completi, producendo il piano migliore.
Questo permette di reagire alle varie deviazioni in un contesto globale, non perseguendo l'obiettivo locale di una singola unità.

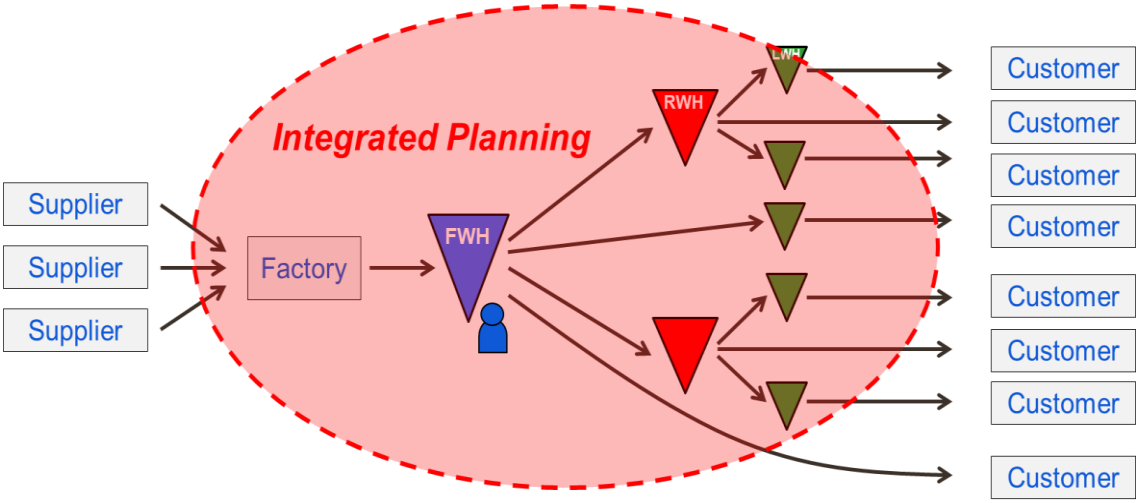


Figura 6: Supply Chain integrata. Caratterizzata dalla totale collaborazione di ogni livello all'interno della catena di fornitura [b].

Dividendo la catena in ruoli di business, si va incontro alla necessità di avere differenti livelli di pianificazione che sono direttamente responsabili del flusso dai fornitori ai clienti e viceversa:

- pianificazione degli acquisti
- pianificazione generale
- pianificazione della distribuzione
- pianificazione della domanda

È importante cercare risposta a molteplici domande che periodicamente accompagnano l'attività di pianificazione, tra le quali: qual è il livello di magazzino che mi permette di servire al meglio e tempestivamente i clienti? Come devo dividere i vari prodotti nei vari magazzini sparsi in tutto il mondo? Devo basare l'approvvigionamento dei materiali sulla teoria del lead time o investire in stock per avere più flessibilità?
Naturalmente non esiste una risposta univoca e che valga sempre ed in ogni contesto, considerando che il mercato è in continuo mutamento.

Scavando più a fondo ed analizzando interamente la rete che collega tutti gli attori della catena, sono necessarie altre figure di rilievo che svolgano attività di tipo esecutivo come:

- supervisore degli acquisti
- supervisore della produzione
- supervisore delle attività logistiche

Tali figure si occupano dell'esecuzione del piano di produzione, con un'attenta analisi del livello e dei fabbisogni dei magazzini.
Sono persone (o team) che giorno per giorno decidono cosa produrre e dove posizionare lo stock per servire al meglio i clienti.
Tale modus operandi permette il trasferimento del potere decisionale e di alcune attività dal locale al globale o da un continente all'altro.
Responsabilità dello stock, responsabilità della pianificazione e responsabilità del servizio fanno da guida a tali ruoli all'interno della catena.
L'obiettivo che SKF si prefigge è quello di avere una Supply Chain agile e flessibile che permetta di ridurre il capitale investito e di migliorare il servizio; ovvero offrire al mercato un servizio elevato minimizzando gli investimenti in stock [b].

2.2 I principali processi

I quattro processi che permettono di raggiungere gli obiettivi precedentemente fissati, sono rappresentati nella figura 5, che illustra in che modo si ripetono ciclicamente.

Figura 7: Rappresentazione ciclica dei processi della Supply Chain

Mensilmente avviene la previsione e la pianificazione dei volumi, giornalmente la pianificazione dei fabbisogni di materiale & esecuzione ed il master schedule & gestione del portafoglio ordini.

Previsione, divisa in due parti:

- Previsione dei volumi: prevedere la domanda del mercato a livello aggregato per poter adeguare i volumi di produzione.
- Previsione degli item: prevedere la domanda di singoli item o di famiglie di materiali per rendere disponibile un certo livello di stock.

I principi che stanno alla base sono molteplici:

- La previsione a livello aggregato è più accurata di una previsione ad un basso livello.
- L'algoritmo di previsione non prevede un punto di svolta poiché è necessario disporre di input e competenze umane.

- SKF sta utilizzando uno specifico processo di previsione chiamato "previsione di spedizione residua". Si utilizzano le informazioni dell'orderbook ("dati futuri") per il calcolo della previsione.
- Le previsioni dovrebbero essere fatte nel momento in cui sono disponibili conoscenze commerciali specifiche. Il reparto Sales, ad esempio, è il più vicino ai clienti e questo permette di avere una migliore base di partenza per la previsione.

Dal punto di vista pratico, chi pianifica ogni mese deve redigere una previsione delle spedizioni che copra un orizzonte temporale di qualche mese. Nel nostro caso è già in piedi un portafoglio ordini riguardante i sei mesi successivi di previsione e che fa generare le proposte dei fabbisogni su MCSS (Manufacturing Customers System Service) ovvero il sistema operativo utilizzato per gestire l'approvvigionamento dei materiali che formeranno il cuscinetto.
Tale sistema genera una previsione attraverso un algoritmo che si basa principalmente su dati storici. Esso è analizzato da chi si occupa della fase di pianificazione affinché siano rilevati eventuali errori o incongruità con la domanda di mercato. Questo avviene ogni mese in una finestra temporale di tre giorni, in cui il pianificatore studia la previsione per avvalorarla e convalidarla. Una volta che la previsione diventa operativa, le proposte dei fabbisogni di produzione sono visibili su MCSS.
Dopodiché sono gli ordini dei clienti ad arrivare ed a trasformare la percentuale dei fabbisogni previsti in orderbook. Come mostrato in figura 7, settembre sarà caratterizzato dal 100% di ordini già emessi e sicuri, con una leggera diminuzione percentuale nei mesi successivi.

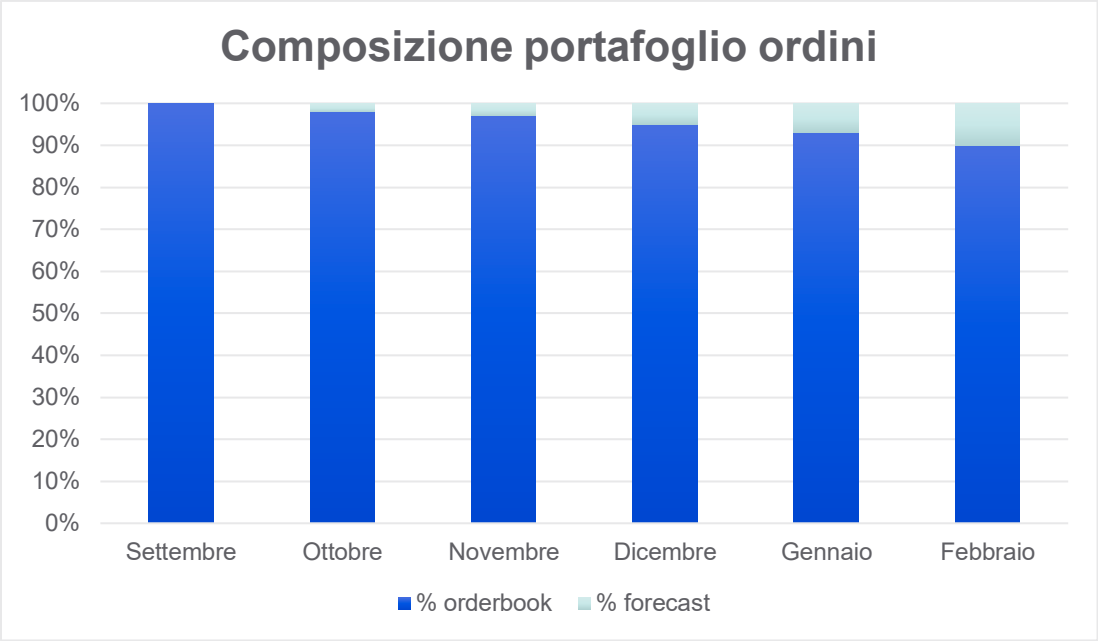


Figura 8: Andamento percentuale dell'orderbook considerando un orizzonte temporale di sei mesi.

In MCSS è possibile osservare, per ogni mese, il valore dell'orderbook in milioni di euro con la rispettiva percentuale. Il sistema genera un forecast nei vari mesi a venire, ed in base a questo, si formeranno le proposte. Con il passare del tempo, esso si trasformerà sempre più in orderbook.

Dalla ricezione dell'ordine del cliente, lo stabilimento offre un lead time di consegna di diversi mesi, con il canale di produzione impegnato per tale orizzonte temporale con gli ordini che già sono stati emessi precedentemente da altri clienti. Una volta generate le proposte dal sistema, la certezza che i materiali serviranno ci sarà non appena l'ordine sarà emesso. A gennaio del 2020 si ha già il 90% di ordini sicuri per i clienti. Le altre fabbriche di SKF, al contrario, hanno una visibilità di portafoglio ordini di solo due o tre mesi. Ad esempio, dal punto di vista degli anelli, l'approvvigionamento richiede a SKF un tempo più lungo della visibilità dell'orderbook, rendendo l'attività di studio e analisi del forecast di cruciale importanza. Questo rende l'attività di approvvigionamento dei materiali più difficile, comportando una inevitabile scommessa per quegli ordini che rientrano in un orizzonte temporale maggiore rispetto al portafoglio ordini che si ha a disposizione. Tutto questo si collega a quanto introdotto sulla previsione, in

cui si parla di “previsione di spedizione residua”, ovvero la parte restante ragionata basandosi sul forecast che non fa ancora parte dell’orderbook. Progressivamente il sistema diminuirà le proposte e la parte residua si ridurrà inevitabilmente, diventando certa.

Quindi si ha necessità di pianificare la produzione in base alle previsioni ed allo stock disponibile.

Pianificazione dei volumi: è un processo globale mensile atto a bilanciare domanda e offerta, portando tutti i piani operativi aziendali in un unico piano integrato. Tale pianificazione è resa possibile attraverso l’utilizzo di processi comuni a tutte le unità della catena:

- Processi di previsione delle vendite per prevedere la domanda del mercato al fine di guidare la catena della domanda di SKF.
- Processo di pianificazione dell'offerta di produzione (MSP, Manufacturing Supply Planning) per decidere i volumi di produzione al fine di soddisfare gli obiettivi futuri di domanda, scorte e servizi.
- Processo di pianificazione della capacità dei fornitori (SCP, Supply Chain Profile nel capitolo 3) per garantire la fornitura di materiale e componenti condividendo le informazioni sulla domanda con i fornitori. Questo permette ai fornitori strategici (forniscono non solo SKF, ma aziende di tutto il mondo) di avere una previsione della domanda futura per organizzarsi in tempo a fronte di eventuali oscillazioni del mercato (New Supplier Delivery Program del capitolo 3).

In Figura 9 sono rappresentati i flussi informativi necessari per la pianificazione dei volumi.

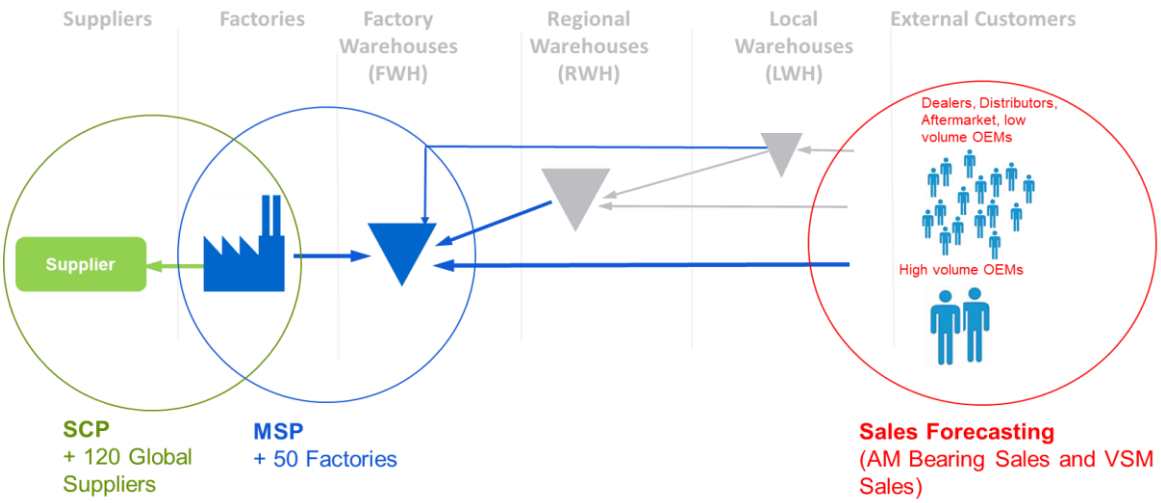


Figura 9: Flusso informativo. Dalla capacità dei fornitori (SCP), all'offerta di produzione degli stabilimenti (MSP), alla distribuzione dei prodotti nelle warehouse mondiali, alla distribuzione ai clienti.

Master scheduling: ha come obiettivo la creazione di un programma di produzione ottimizzato che rifletta la domanda del mercato e le restrizioni di produzione per ottenere la disponibilità richiesta dal mercato.

Risponde alle domande "cosa?", "quando?", "quanto?" ed è caratterizzato da molteplici aspetti alla quale si deve fare riferimento:

- Limitazioni della produzione (in ore, volumi o quantità).
- Domanda (orderbook e previsioni per ogni item).
- Gerarchia del prodotto.
- Assortimento e PCC (Product Classification Code, ovvero se sono item tenuti a stock oppure make to order). Bisogna considerare il valore con il quale la sales unit riesce a vendere il cuscinetto al cliente. Per margini elevati (ricavo meno costo) si tenderà a tenere gli item a stock; viceversa se hanno una piccola percentuale di sovraprezzo rispetto al costo di produzione si tenderà a classificarli come make to order.
- Stock di sicurezza per ogni item.
- Parametri di pianificazione (lead time, buffer time, security stock, numero di ripristini pianificati all'anno, tempo di azzeramento).

Esso è progettato sotto i vincoli dei processi di approvvigionamento e produzione, affinché supporti il processo di produzione, utilizzando la struttura gerarchica dei prodotti ed offrendo la massima flessibilità.

Gestione del portafoglio degli ordini (Orderbook Management):
Per quanto riguarda la gestione e l'uscita degli ordini:

- Gli ordini arriveranno al fornitore automaticamente a meno che non sia la risorsa umana a definire quantità e data di consegna tenendo in considerazione l'orizzonte temporale definito.
- Gli ordini, che non possono essere prenotati automaticamente dal sistema, devono essere confermati manualmente dal Channel Planner.
- First come, first served: gli ordini che sono già stati prenotati non saranno automaticamente posticipati per un altro ordine di un altro cliente (nessuna logica di priorità dei clienti nei sistemi di SKF)

Pianificazione dei fabbisogni di materiale (MRP): Material Requirements Planning (MRP) è un sistema di pianificazione della produzione, di programmazione e controllo dell'inventario utilizzato per gestire i processi di produzione [4].
Un sistema MRP è destinato a raggiungere contemporaneamente tre obiettivi:

- Garantire che i materiali siano disponibili per la produzione e che i prodotti siano disponibili per la consegna ai clienti.
- Mantenere i livelli più bassi possibili di materiale e prodotti in magazzino.
- Pianificare le attività di produzione, i programmi di consegna e le attività di acquisto.

Esecuzione: processo svolto attraverso la responsabilità e la collaborazione del reparto produzione e Supply Chain. Esso è pilotato dall'interfaccia diretta tra le due funzioni appena citate; ognuna delle quali ha il compito di svolgere attività che si collocano nelle fasi finali del ciclo del prodotto, comprendendo anche l'assemblaggio dei componenti che

compongono una TBU. La comunicazione diretta e giornaliera rende esplicite le varie informazioni in possesso di entrambi i reparti. Tali attività sono illustrate in figura 10.

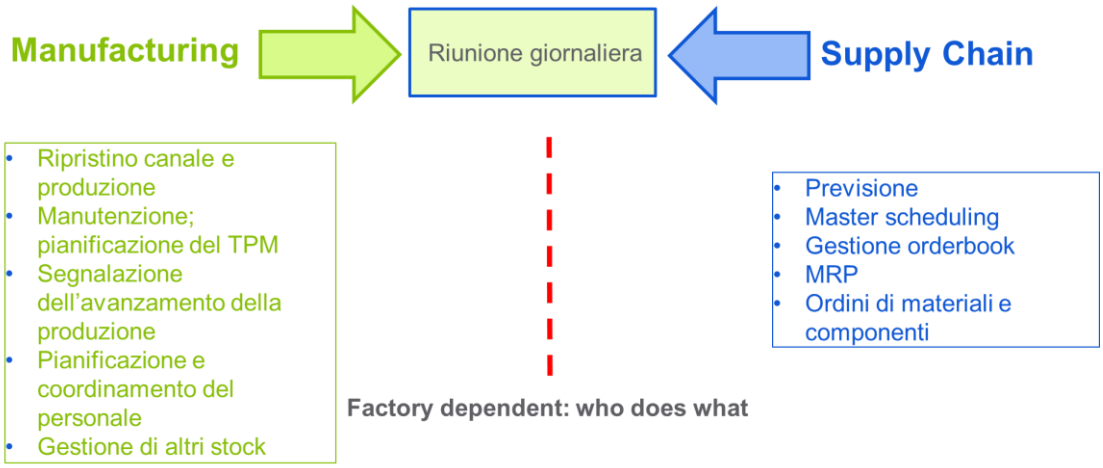


Figura 10: Esecuzione delle attività svolte in interfaccia tra i due reparti

3 Produzione e approvvigionamento

3.1 Caratteristiche del prodotto

Il prodotto che caratterizza il reparto di Villar Perosa è definito Taper Bearing Unit (TBU), particolare meccanico progettato per sopportare carichi radiali ed assiali ad azione simultanea. In particolare, i cuscinetti sono composti da anelli interni ed esterni, anelli distanziali, gabbie, rulli conici (inseriti all'interno delle gabbie) e dal grasso che ricopre le parti interne [a]. Lo scopo è quello di fornire una vera azione di rotolamento: i bassi momenti di attrito dipendono dall'angolo formato dalle linee di proiezione delle piste che si incontrano in un punto comune dell'asse del cuscinetto (punto A in figura 11).

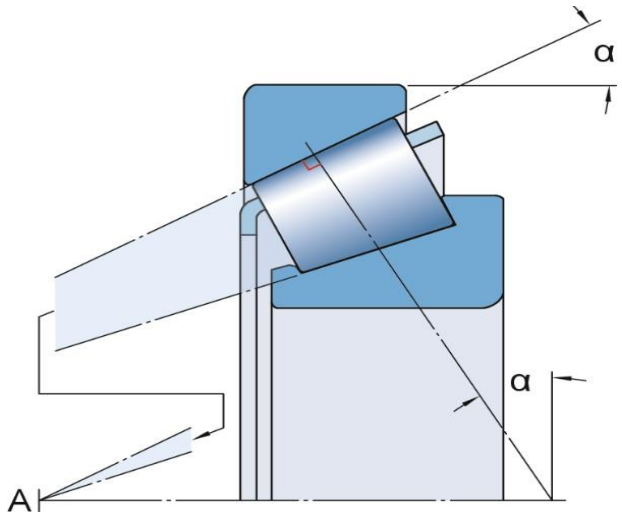


Figura 11: punto di intersezione delle proiezioni delle piste

Focalizzando l'attenzione sulle caratteristiche generali del cuscinetto, è possibile stilare la seguente lista:

- *Basso coefficiente di attrito:* grazie al design dell'estremità del rullo e del contatto con la flangia (figura 12), è favorita la formazione di pellicole di lubrificante con conseguente riduzione dell'attrito, del calore e dell'usura della flangia stessa. La capacità di carico assiale menzionata prima, aumenta all'aumentar dell'angolo di contatto α.

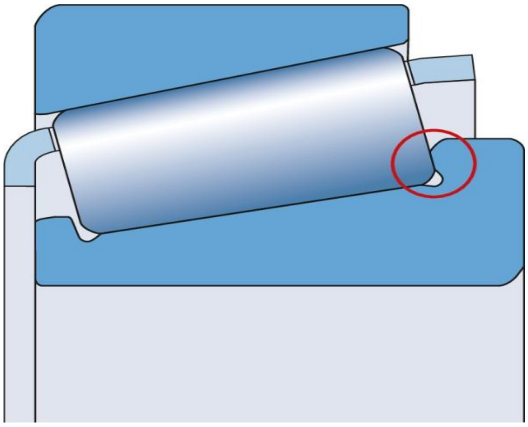


Figura 12: Punto di contatto tra il rullo e la flangia [a]

- *Lunga durata:* i profili coronati delle piste dei cuscinetti con design base ed i profili logaritmici delle piste dei cuscinetti SKF Explorer (cuscinetti a più elevata prestazione) ottimizzano la distribuzione del carico lungo le superfici di contatto, riducono i picchi di sollecitazione all'estremità dei rulli (figura 13) e diminuiscono la sensibilità al disallineamento ed alle deformazioni dell'albero, a differenza dei tradizionali profili dritti delle piste.

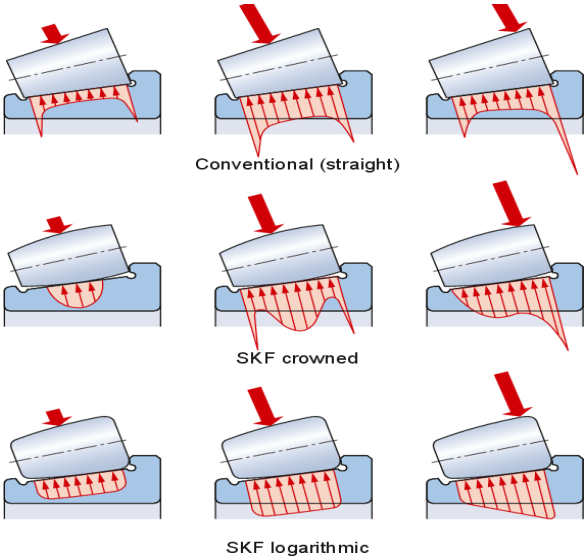


Figura 13: distribuzione del carico e riduzione delle sollecitazioni lungo le superfici di contatto [a].

- *Maggiore affidabilità operativa:* l'ottimizzazione della finitura superficiale sulle superfici di contatto dei rulli e delle piste, favorisce la formazione di un film lubrificante idrodinamico.
- *Coerenza dei profili e delle dimensioni dei rulli:* per una distribuzione ottimale del carico, e per ridurre il rumore e le vibrazioni, i rulli sono fabbricati con tolleranze dimensionali e geometriche così strette da essere praticamente identici.
- *Separabile ed intercambiabile:* in base al design, i cuscinetti a rulli conici sono separabili ed i componenti intercambiabili. Ad esempio, il roller set costituito dal complesso anello interno, rulli e gabbia è facilmente separabile dall'anello esterno, facilitando le procedure di ispezione e montaggio.
- *Periodi di rodaggio con picchi di temperatura ridotti:* durante il periodo di rodaggio, i cuscinetti sono sottoposti ad una continua forza d'attrito che può causare grave usura dovuta all'aumento della temperatura. Grazie alle tecniche di montaggio e a una corretta lubrificazione dei cuscinetti SKF, questo effetto negativo è notevolmente ridotto, come mostrato in figura 14.

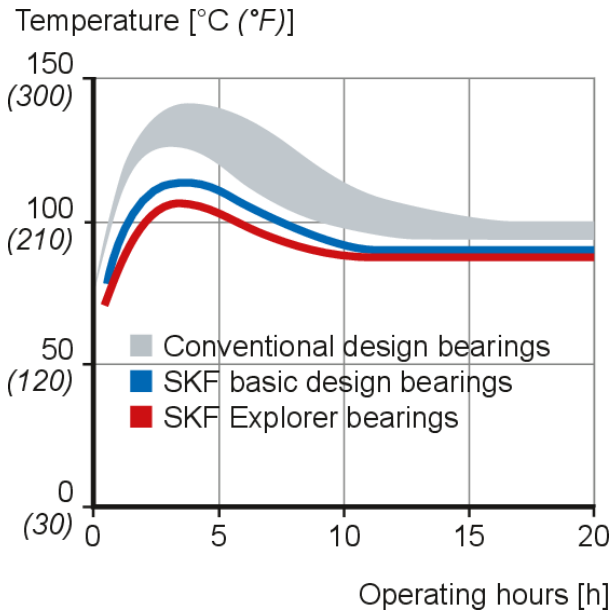


Figura 14: Andamento della temperatura durante le ore operative di rodaggio [a].

3.2 Processo di rettifica degli anelli esterni

A regolare il passaggio degli anelli attraverso la catena di fornitura, è la necessità di ottenerli entro la data promessa al cliente. Il pianificatore si atterrà a un file dove è inserita la scaletta degli anelli da rettificare, la loro quantità necessaria e la lista delle TBU che devono essere assemblate. I tempi di lavorazione dei vari anelli sono definiti attraverso un Gantt aggiornato giornalmente in base all'andamento della produzione. È compito del pianificatore, che ha seguito interamente il percorso fatto dagli anelli, definire le quantità e le tipologie da richiedere in OMG per tenere alimentata la produzione.
Prima di iniziare il processo di rettifica, il materiale è scaricato in un'apposita area del magazzino, dove è possibile controllare l'effettiva quantità a disposizione.

Diversi sono gli attori che partecipano alla realizzazione del ciclo produttivo all'interno dell'officina. Essi sono divisi in U.T.E., ovvero Unità Tecnologiche Elementari, ed ognuna di queste ha diversi compiti ed ampie responsabilità. Tra questi gli addetti alla manutenzione, alla produzione, alla pianificazione ed al controllo qualità. Il reparto richiede la tipologia di anello che deve essere rettificato. La figura 15, attraverso la rappresentazione del layout dell'officina, mostra il percorso degli anelli esterni. Il flusso in entrata nel processo di rettifica è rappresentato dalle frecce in rosso, mentre le frecce in giallo indicano il flusso nel processo di decapaggio e di fosfatazione. In verde l'ingresso in assemblaggio.

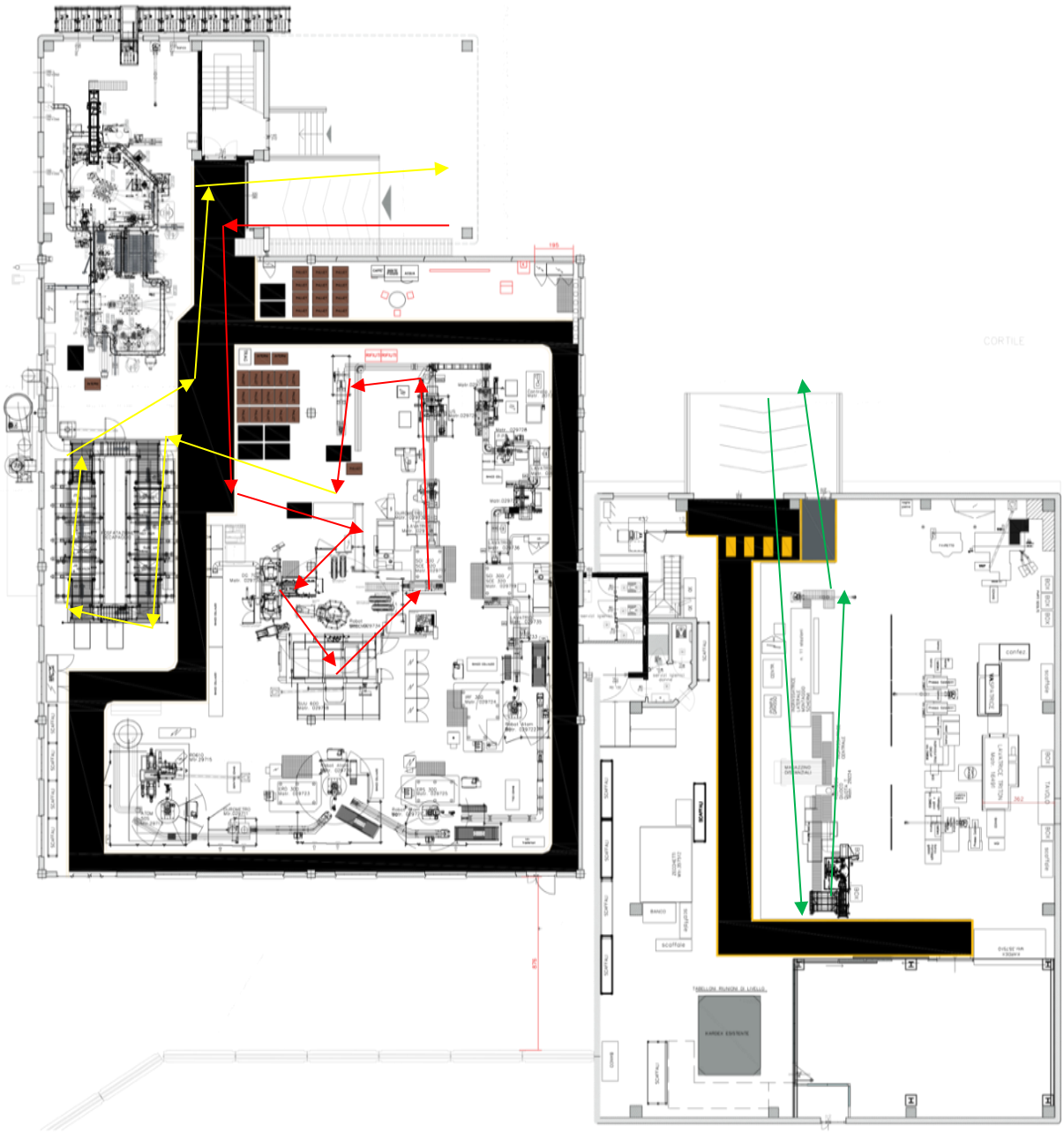


Figura 15: Layout dell'officina. Le frecce indicano il percorso fatto dagli anelli. In rosso la rettifica, in giallo decapaggio e fosfatazione, in verde l'assemblaggio

Gli anelli, entrati in officina, vengono sistemati in un'apposita area in prossimità della prima rulliera (o trasportatore) caricata da un operatore fino ad un massimo di 15 anelli (se di media grandezza) come mostrato nella seguente figura 16. Da qui inizia il ciclo di lavorazione.

Figura 16: Anelli caricati sul Trasportatore

Un robot inserisce l'anello agganciato in due macchine disposte in sequenza, rappresentate in figura 17. Da una parte la DG 700, che si occupa della sfacciatura delle superfici sia interne che esterne e dall'altra la macchina SUUC in cui avviene la rifinitura dei diametri degli anelli.

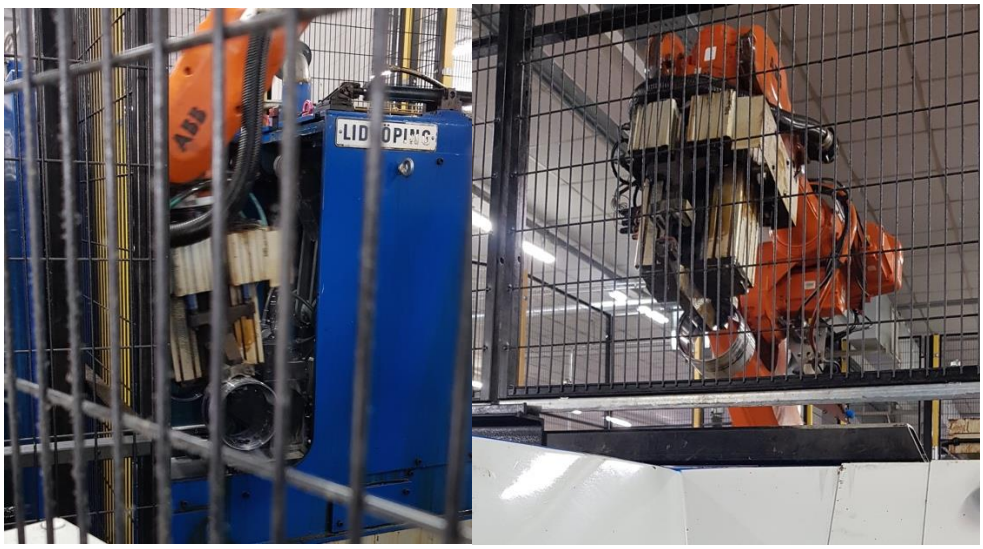


Figura 17: La DG 700 (a sinistra) che si occupa della lavorazione delle superfici e la SUUC (a destra) che si occupa dei diametri dell'anello

Nella figura 18 è rappresentato un nastro trasportatore che, grazie a uno smagnetizzatore inserito al di sotto, elimina il magnetismo residuo. Infatti, se in origine il pezzo è magnetizzato, è necessario smagnetizzarlo sia per il truciolo rimasto attaccato, sia per la futura applicazione. L'immagine mostra inoltre l'ingresso dell'anello nella fase successiva di lappatura.

Figura 18: Smagnetizzatore posto al di sotto del nastro trasportatore per permettere la caduta del truciolo

La figura 19 mostra la lappatrice, ovvero il macchinario che esegue la lappatura dell'anello. Tale procedimento consiste in un'operazione di finitura superficiale. Un disco di ghisa perlitica, di bronzo o di rame, chiamato lapidello, viene fatto strisciare sul pezzo da lavorare. Il tutto avviene ad una velocità bassissima (solitamente inferiore ai 20 metri al minuto) e ad una pressione altrettanto bassa, al di sotto dei due chilogrammi per centimetro quadrato. Il contatto con il lapidello permette la rottura delle creste ancora presenti sulla superficie del materiale consentendo la riduzione della rugosità superficiale [c]. Questo passaggio avverrà in due step chiamati di finitura e super finitura, dalla durata di 40 secondi circa.

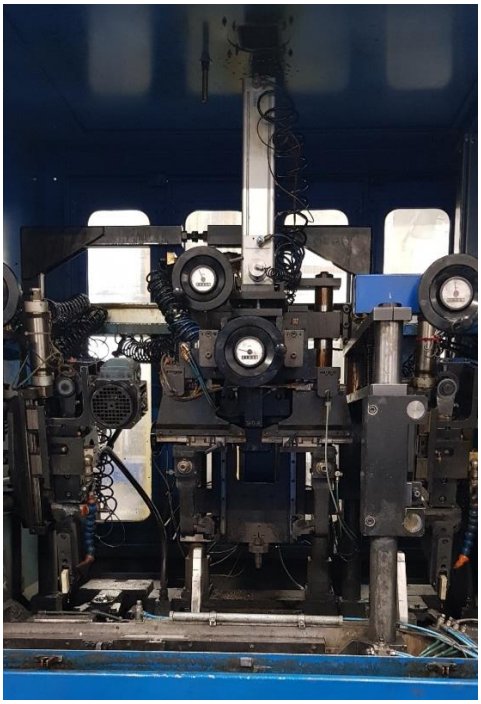


Figura 19: Lappatrice per operazioni di finitura superficiale attraverso un lapidello che viene fatto strisciare sul pezzo

Successivamente il materiale entra nella lavatrice, un piccolo macchinario dalla chiusura automatica in cui il pezzo viene lavato ed asciugato per eliminare i residui dei passaggi precedenti. Dopodiché, grazie ad un nastro trasportatore, l'anello giunge al durometro in figura 20, strumento destinato alla misurazione della durezza del materiale in cui una punta detta penetratore è spinta con una certa forza contro il materiale da testare [d]. La prova è fatta sul 100% dei lotti rettificati.

Figura 20: Durometro per la prova di resistenza dell'anello. È svolto sul totale dei lotti

In seguito, in figura 21, il post process per un controllo dimensionale di ogni anello. Una sonda posizionata in alto si muove lungo le facce del pezzo misurando il diametro interno, il diametro esterno, la cilindricità e la rotondità dell'anello [e].

Figura 21: Post process per una misura dei diametri attraverso una sonda che percorre la forma dell'anello

L'ultimo passaggio della rettifica è caratterizzato dagli ultrasuoni della figura 22. A fare da campione è un anello con un noto difetto. Su di esso è applicato un buco, dal fondo piatto, con diametro di 0.5 mm e profondità di 0.5 mm. In questo modo è possibile settare i parametri della macchina in modo che tutti i buchi più piccoli siano buoni e quelli più grandi siano considerati scarti. Gli ultrasuoni guardano dentro al pezzo e ciò che si cerca è proprio la presenza di non conformità della grandezza di quella nel pezzo preso come campione.

Figura 22: Ultrasuoni. Il bagno in cui sono immersi gli anelli identificano la presenza di eventuali difetti all'interno del materiale

Terminato il processo di rettifica, l'anello è pronto per essere portato al ciclo di lavorazione successivo. La figura 23 mostra la parte finale della rulliera che si occupa di far avanzare gli anelli attraverso le varie macchine.

Figura 23: Ultima parte della rulliera

A meno che il cliente non abbia richiesto un controllo totale dell'intero lotto, per il 10% degli anelli è svolto un ultimo passaggio prima della fosfatazione: il controllo al magnetoscopio. La figura 24 mostra il magnetoscopio, un attrezzo che, a differenza degli ultrasuoni che evidenziano i difetti interni, si occupa di quelli superficiali. Sull'anello, magnetizzato longitudinalmente e trasversalmente, è applicata una polvere magnetica fluorescente. Così, illuminando il prodotto con una lampada, sarà possibile individuare eventuali difetti presenti sulla superficie dell'anello. Il difetto, qualunque esso sia, verrà evidenziato dall'accumulo di polvere magnetica. A questo punto il pezzo sarà nuovamente smagnetizzato (figura 25).

Figura 24: Magnetoscopio, utile per la rilevazione dei difetti superficiali attraverso l'applicazione di una polvere magnetica fluorescente e l'illuminazione del pezzo

Figura 25: Smagnetizzatore, al fine di smagnetizzare gli anelli prima di decapaggio e fosfatazione

Quando l'ultimo pezzo di un determinato item libera la prima macchina del ciclo produttivo, l'addetto si recherà in magazzino per ricaricare l'item successivo che viene immediatamente portato in officina. Nel frattempo, con le prime macchine preparate al nuovo tipo che sta per essere alimentato e proseguendo con la produzione degli ultimi pezzi anche nelle postazioni successive si procederà con il setup. Quest'ultimo processo dipende dall'anello da rettificare e dalla macchina. Sarebbe proficuo ottenere lo stesso livello di produzione sia per gli anelli esterni, sia per quelli interni, cosicché le coppie pronte siano montate per chiudere il versamento delle TBU da spedire al cliente in quel mese. A causa di improvvisi fermi macchina, guasti e manutenzioni è molto difficile lavorare contemporaneamente gli anelli che montano una stessa famiglia. La produzione, con lo scopo di riallineare le due rettifiche, è quindi costretta a fare straordinari o a rallentare la produzione dell'anello in anticipo e a velocizzare l'anello in ritardo.
Se le rispettive coppie di anelli non dovessero essere pronte, non sarebbe possibile il montaggio delle TBU. I tempi improduttivi di produzione saranno presentati nei capitoli successivi.

3.3 Processo di decapaggio e fosfatazione

Concluso il processo di rettifica, gli anelli sono sistemati in un buffer posto vicino ai successivi step, rappresentati dal flusso delle frecce in giallo. Il decapaggio e la fosfatazione sono gli ultimi passaggi prima dell'assemblaggio.

In figura 26 è rappresentato lo schema della lavorazione.

Figura 26: Ciclo di decapaggio e fosfatazione. Le vasche sono numerate in ordine di passaggio degli anelli.

3.3.1 Decapaggio

In rulliera 1, gli anelli che hanno terminato la rettifica, sono posizionati all'interno di alcune ceste di metallo. La cesta avanza nelle varie postazioni grazie ad un braccio meccanico che scandisce il ritmo di produzione. Il percorso è formato da una serie di vasche (5 per l'esattezza) nelle quali le ceste sono immerse per un tempo minimo:

- Il primo bagno (4) consiste nella sgrassatura o sgrassaggio degli anelli, mirato ad eliminare ogni residuo di grasso.

  Per "eliminazione di ogni residuo di grasso" non si intende semplicemente un'accurata pulizia, quanto piuttosto la distruzione di ogni singola molecola

oleosa. Viene realizzato con l'ausilio di opportuni agenti sgrassanti, spesso disciolti in soluzioni contenute in queste vasche o bagni [f].

- Il secondo bagno (5) è un semplice risciacquo in acqua pulita.
- Il terzo bagno (6) consiste nell'immersione degli anelli in una soluzione di acido nitrico, che prepara il materiale alla successiva applicazione del rivestimento protettivo anticorrosivo. L'acido nitrico evidenzia le bruciature di rettifica, ovvero gli eventuali danni causati dall'aumento della temperatura (contatto prolungato tra l'anello ed il materiale che ne lavora le superfici) rendendo fragile il pezzo lavorato (figura 27). L'acido "mangia" il materiale rischiando di generare dei buchi se la cesta dovesse restare troppo tempo immersa all'interno della vasca. La temperatura del bagno è sicuramente un dato da prendere in considerazione.

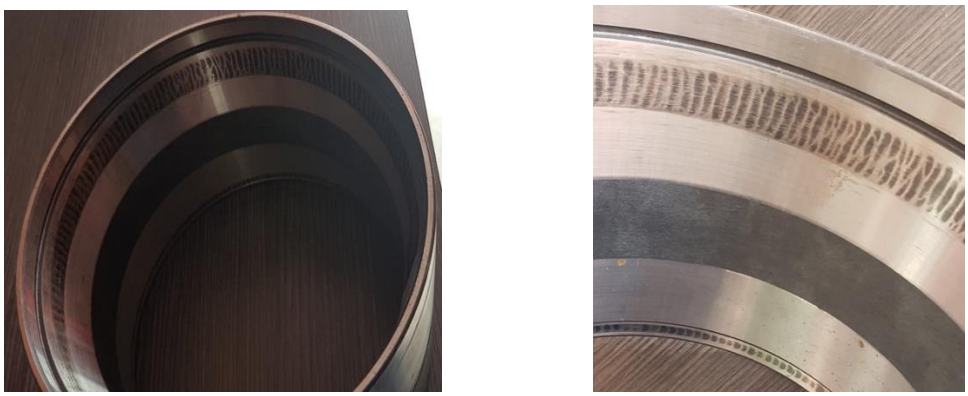


Figura 27: Bruciature di rettifica causate dal contatto prolungato dell'anello ed i materiali che ne lavorano le superfici

- Il quarto bagno (7) ha il compito di togliere l'acido dalle superfici del pezzo.
- Il quinto ed ultimo bagno del decapaggio (8) consiste nella neutralizzazione: il fango sulla superficie dei materiali si stacca sedimentandosi sul fondo della vasca. È un bagno basico che blocca il processo dell'acido ristabilendo il ph originale.

Non appena la cesta arriva all'ultima rulliera del decapaggio (9), sarà movimentata alle successive postazioni/buffer, nella quale gli anelli sono controllati da due operatori al fine di valutare la loro conformità.

3.3.2 Fosfatazione

A questo punto i pezzi sono pronti per l'ultima sequenza di lavorazione in fosfatazione. Come nel passaggio precedente, anche qui la cesta sarà immersa in diverse vasche; ognuna delle quali svolge una determinata funzione:

- l'attivazione (16) è un processo meccanico di deposizione superficiale di germi di cristallizzazione a base di zirconio. Tale passaggio garantisce l'azione continua di decapaggio in attesa della fase successiva. Qui i pori in superficie sono aperti per permettere alla fosfatazione di penetrare all'interno del materiale.
- La fosfatazione (17) è un processo chimico a base di zinco mediante il quale si altera la superficie di un materiale creando dei cristalli fosfatici legati chimicamente al substrato. L'obiettivo è aumentare la resistenza alla corrosione. L'effetto lubrificante di tale processo facilita lo scorrimento nel montaggio [g].
- Il risciacquo (19) è un semplice bagno in acqua pulita che serve a lavare il pezzo.
- Il protettivo (20) infine, è un olio che serve a proteggere il pezzo dagli agenti atmosferici e dalla corrosione.

Ora gli anelli, sistemati dagli operatori negli appositi contenitori, vengono trasportati in magazzino pronti per essere assemblati e spediti al cliente. La scaletta del montaggio TBU andrà di pari passo con la rettifica al fine di non caricare eccessivamente lo stock di prodotto finito presente in magazzino. L'assemblaggio e la spedizione dovranno rispettare la data promessa al cliente. Il processo di rettifica degli anelli interni segue lo stesso processo di lavorazione di quelli esterni.

Le figure sottostanti 28-29-30, mostrano lo stesso anello in tre fasi: prima del decapaggio, post decapaggio e quindi pre-fosfatazione, post fosfatazione e quindi pronto per il montaggio.

Figura 28: Anello pre-decapaggio

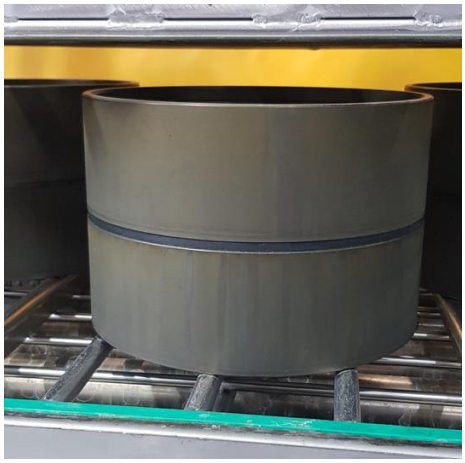


Figura 29: Anello post decapaggio (pre-fosfatazione)

Figura 30: Anello post fosfatazione

In figura 31, la stazione che si occupa dei processi appena presentati.

Figura 31: Stazione di decapaggio e fosfatazione

3.4 Assemblaggio

Nella prima stazione i rulli sono inseriti manualmente negli appositi spazi all'interno della gabbia. Successivamente l'anello interno è incastrato all'interno della gabbia composta precedentemente. Il tutto è detto roller set (figura 32). La gabbia subisce una temporanea deformazione.

Figura 32: Composizione del roller set. I rulli vengono inseriti all'interno degli appositi spazi della gabbia e successivamente è l'anello interno ad essere inserito

Due roller set sono abbinati con l'anello esterno prima di passare alla stazione del gioco assiale: qui il cuscinetto deve avere un minimo di movimento assiale, in quanto sia necessario permettere agli anelli interni di muoversi e concedere al treno di girare (figura 33).

Figura 33: Stazione gioco assiale dove si prova la mobilità degli anelli interni

Seguono le due fasi di ingrassaggio come mostrato in figura 34:

- prima nella zona centrale, per riempire di grasso la zona presente tra il distanziale centrale e l'anello esterno;
- in un secondo momento una campana verserà il grasso tra i rulli e l'anello interno (le così dette piste): in seguito sarà inserito uno schermo schiacciato da una pressa in entrambi i lati.

Figura 34: Stazione di ingrassaggio

Infine, la TBU è montata, imballata o eventualmente modificata secondo la richiesta del cliente (figura 35).

Figura 35: TBU assemblate

3.5 Produzione in ottica pull

Al fine di rendere possibile la gestione del flusso dei materiali nel canale di produzione, il master schedule, non solo deve stabilire l'output del canale, ma deve anche stabilire quali devono essere gli item da produrre nelle operazioni successive.

Come detto nel capitolo precedente, esso contiene le informazioni sulle famiglie di materiali includendo le quantità, la data di inizio produzione e quella di fine, senza creare alcuna sovrapposizione.
Come rappresentato in figura 36, prima di rilasciare gli ordini di produzione in officina, le quantità della famiglia di materiali nella pianificazione generale vengono suddivise a livello di variante, in base alla gerarchia del prodotto:

- MF (Material Family), ovvero tutti quei cuscinetti che utilizzano gli stessi materiali, è suddivisa in varianti principali.
- MV (Main Variant), o gruppo di cuscinetti che utilizzano lo stesso design di anelli, suddiviso in varianti finali.
- FV (Final Variant), o cuscinetti che hanno in comune la tipologia di anello (che sia esterno o interno), tipo di grasso e componenti utilizzati.
- PV (Pack Variant): gruppi di cuscinetti confezionati in differenti imballaggi.

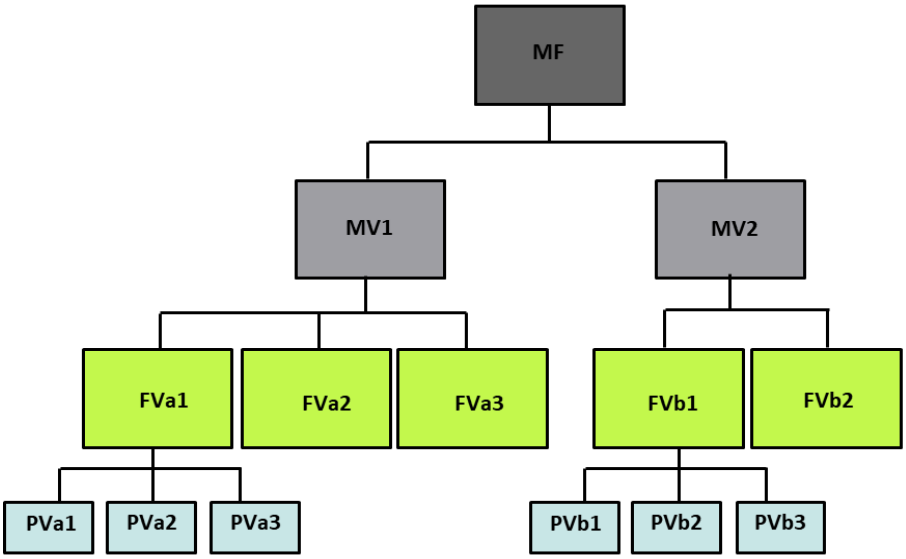


Figura 36: Suddivisione gerarchica degli item.

Alcuni parametri aiutano nella definizione dei piani di azione da intraprendere. Tra questi il Grado di Certezza, ovvero la possibilità di predefinire cosa produrre in termini di

specifiche di prodotto e quanto produrre (entità della domanda di ogni prodotto) prima del ricevimento degli ordini dei clienti.
Esso diminuisce all'aumentare del grado di personalizzazioni e del numero di varianti a meno di un elevato grado di standardizzazione dei componenti e di modularizzazione dei prodotti; viceversa aumenta se, a parità di volume della domanda, aumenta il numero dei clienti in modo da disperdere l'incertezza legata al singolo ordine nei confronti della domanda complessiva, riuscendo ad allineare efficacemente domanda e offerta.
Esso è correlato all'Indice di Programmazione (IP), derivato dal modello di Wortmann, che esprime la relazione esistente tra richieste del mercato e caratteristiche del sistema produttivo [13]. Suddetto indice può essere espresso dalla seguente formula:

$$IP = TC/LT \qquad (1)$$

Dove:

- TC = Tempo di consegna accettato dal mercato
- LT = Lead time o tempo di attraversamento del sistema produttivo, comprendente il tempo di progettazione, approvvigionamento, produzione e assemblaggio dei componenti, spedizione e consegna del prodotto.

Secondo tale modello, nel caso in cui l'Indice di programmazione fosse maggiore di uno, si produrrebbe su commessa singola, utilizzata da aziende che svolgono attività di progettazione e produzione su ordine del cliente.
Se il valore dell'indice fosse minore di uno, si potrebbe agire in diversi modi:

- Make to stock, in cui il tempo di consegna è maggiore del tempo di spedizione e si produce su previsione.
- Assembly to order, dove si assembla su ordine moduli e componenti prodotti in precedenza su base previsionale (prodotti personalizzati ottenuti tramite un elevato numero di configurazioni di prodotto finito derivante da un numero limitato di componenti /moduli predefiniti)

- Make to order, per la quale si attende l'ordine prima che vengano prodotti e riforniti i materiali su previsione. Si tratta generalmente di prodotti ad alto valore di cui, pur conoscendo le caratteristiche, è comunque necessario attendere l'ordine per apprendere la quantità da produrre.

In un sistema pull i materiali sono direttamente immessi in fabbrica dagli ordini presenti in portafoglio, a differenza del sistema push in cui è necessario anticipare l'ingresso dei materiali in fabbrica e degli ordini di lavorazione, in quanto il tempo di attraversamento è più lungo dell'orizzonte del portafoglio ordini. I sistemi puri pull sono molto rari, prevalgono quelli misti push-pull.

In un sistema push è emesso un programma di produzione per ogni reparto dello stabilimento in funzione dei consumi previsti, delle scorte esistenti, di quelle desiderate e dei tempi necessari per le lavorazioni. Elemento negativo di questo sistema è il rischio di non produrre ciò che serve e produrre ciò che non serve, poiché in caso di variazione del consumo devono essere modificati tutti i programmi di produzione; richiedendo molto tempo. Esso è utilizzato per produzioni con grandissima varietà di prodotti tra loro molto differenziati [13].

In un sistema pull invece, le stazioni finali prelevano da quelle a monte le parti necessarie per la lavorazione. I reparti a monte producono solo ciò che è prelevato dai reparti a valle affinché siano ripristinati i livelli di scorta predefiniti. Il materiale non avanza nel processo produttivo seguendo una logica di produzione, ma ogni volta che a valle è richiesto l'avanzamento da chi deve utilizzarlo. I ritmi delle varie fasi, compresa l'attività di approvvigionamento delle materie prime, sono regolati dai tempi dettati dall'ultima stazione, ovvero dall'assemblaggio e dalla confezionatura. In quest'ottica si tende ad eliminare tutto ciò che è superfluo e le informazioni relative ai fabbisogni si passano attraverso il kanban. Tale approccio è relativo a produzioni ripetitive e programmi relativamente stabili [13].

Inoltre, si deve fare attenzione al metodo lavorativo seguito. Si può fare distinzione tra: stile di produzione a lotti e stile di produzione a flusso [h].

1. La situazione a lotti, in genere, è tipica quando si ha a che fare con una varietà di prodotti limitata e fabbricati in grossi lotti. I lotti devono essere movimentati tra le stazioni di processo e devono restare "in attesa" prima di subire le lavorazioni a valle; il che genera WIP. L'attenzione si concentra sull'efficienza di ogni punto di processo. Si adotta un layout produttivo di tipo *job-shop,* in cui macchine simili sono raggruppate in determinate aree al fine di svolgere lavorazioni specifiche. La necessità di avere zone di stoccaggio per grandi lotti (WIP) richiede la presenza di ampi spazi.
2. Lo stile produttivo a flusso è, in genere, adatto in situazioni in cui si ha a che fare con una larga varietà di prodotti fabbricati in piccoli lotti. Nello stile a flusso, i punti di processo a valore aggiunto sono "vicini" ed in qualche modo inter-collegati l'uno all'altro. La movimentazione dei materiali è pressoché minima o nulla tra le varie stazioni di processo. I pezzi vengono immediatamente trasferiti al prossimo punto di processo uno alla volta, individualmente; quindi si ottiene un flusso lineare, regolare, continuo. L'attenzione si concentra sull'efficienza dell'intero processo produttivo. Si adotta un layout di tipo *flow-shop.* Macchine diverse sono posizionate secondo la sequenza di processo e gli unici punti di raccolta con numero WIP sono le zone di ingresso ed uscita del ciclo produttivo.

È ovvio come, dal processo analizzato precedentemente, lo stile produttivo in SKF sia di tipo *flow-shop*, come anche rappresentato dal layout dell'officina di figura 15.

3.6 Approvvigionamento – Ottica JIT

Il sito di Villar Perosa, produttore di TBU vendute in tutto il mondo per il trasporto passeggeri e merci, utilizza un'ottica Just in Time per l'approvvigionamento dei materiali che compongono il cuscinetto. Gli aspetti fondamentali che caratterizzano questo modello sono cinque [5]:

- Just-In-Time Production: produrre esattamente solo i quantitativi di ogni item richiesto nel breve periodo e non anche quelli che, secondo il forecast, si pensi possano essere venduti in futuro. Ogni prodotto finito deve essere assemblato "appena in tempo" per essere consegnato al cliente; ciascun componente ed ogni semilavorato va prodotto "appena in tempo" per essere utilizzato. Tutte le materie prime devono essere rese disponibili "appena in tempo" per essere consumate.
- Minimizzazione dello stock: obiettivo è evitare l'accumulo delle scorte, utilizzate non tanto per motivi economici come ad esempio il risparmio sui costi di trasporto, ma per coprire eventuali inefficienze derivanti da cause interne ed esterne. É grazie a questo livello minimo che si riesce ad intercettare quelle inefficienti che generano ritardi o blocchi improvvisi.
- Eliminare gli sprechi: tutto ciò che non si trasforma in valore aggiunto del prodotto finale, che siano attività o risorse, va eliminato; come eccesso di produzione e bassa qualità. Punto di partenza della produzione snella; logica applicabile ad ogni realtà produttiva esistente [6].
- Flusso di produzione: tendere verso una produzione nella quale si passa dalle materie prime al prodotto finito senza interruzioni.
- Pull system: il materiale non avanza nel processo produttivo in base ad un programma di produzione fissato a priori, ma ogni parte è richiamata direttamente da chi la usa, cioè dal reparto a valle, ed è messa a disposizione quando occorre. Il ritmo di ogni reparto è deciso da quello della lavorazione successiva e, in definitiva, è l'assemblaggio che fissa i ritmi di tutte le fasi precedenti, fino all'acquisto delle materie prime. In questo senso, sarà la rettifica la stazione a valle che richiederà una determinata quantità di item al reparto Supply Chain.

Grazie a questa tecnica è possibile adeguare la produzione alle variazioni della domanda. Non si produce più un unico prodotto in grandi quantità, ma dal reparto usciranno ogni giorno diverse tipologie di prodotto, in funzione della varietà della domanda dei clienti. Il risultato principale è la diminuzione delle scorte di magazzino e quindi una conseguente diminuzione dei costi. I componenti principali sono gli anelli, che seguono un flusso produttivo complesso.

3.7 NSDC – New Supplier Delivery Program

Obiettivo di SKF è mantenere la flessibilità nella produzione, mantenere/ridurre i tempi di consegna ed evitare di avere un livello alto di stock. Di conseguenza si cerca di fidelizzare il più possibile i fornitori, in modo da avere lo stesso scopo. Il New Supplier Delivery Program, nuovo programma di consegna dei fornitori, è stato programmato e sviluppato al fine di creare una fitta rete collaborativa di trasferimenti dei prodotti. Come anche specificato dalla logica JIT, per potersi approvvigionare dei materiali solo quando questi sono effettivamente necessari alla produzione, è necessario avere fornitori precisi ed affidabili, che assicurino brevi tempi di consegna ed elevati standard qualitativi. SKF comprende l'importanza dei fornitori, affinché sia possibile lo sviluppo futuro e la creazione di valore per il cliente. Grazie a una rete di fornitura integrata basata sulla domanda, SKF e i suoi partner, otterranno una crescita redditizia. Una parte importante della catena di domanda è la relazione che intercorre tra l'azienda ed i suoi fornitori e come possono realizzare insieme una collaborazione efficace e sostenibile per soddisfare la necessità di semplificare il processo, migliorare il flusso delle informazioni e dei prodotti.

In altre parole, il target del programma NSDC è permettere a SKF di rispondere il più velocemente possibile alla domanda dei clienti implementando il livello di servizio e ottimizzando il livello delle scorte, attraverso la completa catena di domanda.

Affinché questa collaborazione sia resa possibile, è utilizzato il SIM (Supply Integration Manager), un tool informatico che permette di utilizzare modelli di fornitura per materiali e componenti con la quale è possibile seguire il flusso di approvvigionamento di un prodotto specifico. Ci sono tre modelli di fornitura ed ognuno ha regole e principi per la disponibilità e la consegna del prodotto:

- Modello di fornitura A o B (figura 37), di cui fanno parte quegli item di cui i fornitori devono avere uno stock di servizio minimo in magazzino pronto per essere spedito in qualsiasi momento, con un lead time di consegna che va dai cinque ai dieci giorni. Si tratta di quei prodotti che hanno una frequenza alta e quindi richiesti spesso dal mercato. I fornitori vedono le proposte nel SIM, generate dal consumo medio degli ultimi tre mesi.

Figura 37: Modello A/B. Il fornitore alimenta un magazzino (SWH) in modo da evadere l'ordine ricevuto dal pianificatore di SKF.

- Modello di fornitura C (figura 38), con la quale gli item sono approvvigionati una volta che è stato emesso l'ordine da parte del Supply Chain Planner. Le proposte degli ordini, che si trasformano in ordini effettivi una volta emessi, non sono visibili ai fornitori nel SIM, ma hanno un lead time di consegna che va dai trenta ai quaranta giorni.

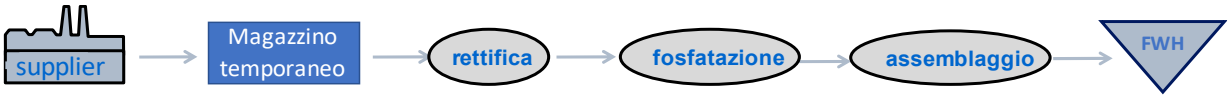


Figura 38: Modello C. Non è presente il magazzino intermedio con uno stock minimo. Dopo l'emissione dell'ordine il materiale passa dal fornitore al magazzino temporaneo utilizzato dall'officina, prima dell'inizio del ciclo di lavorazione.

- Modello di fornitura C con aggiunta di scorte di disaccoppiamento SKF (figura 39). Gli ordini sono inviati ai fornitori ed una volta consegnato il materiale è stoccato nei magazzini.

Figura 39: Modello C con l'aggiunta di un magazzino intermedio utilizzato da SKF come scorta di disaccoppiamento.

Gli anelli sono categorizzati grazie ad un algoritmo che analizza le proposte del sistema. I risultati, una volta estrapolati ed analizzati, attraverso un file, informeranno il fornitore dell'appartenenza dei diversi item alle tre tipologie di fornitura. Il file, il Supply Channel Profile Document, contiene una lista di item con i rispettivi livelli di stock ed i tempi necessari a riapprovvigionarsi affinché si stia al di sopra del minimo. Naturalmente la

gestione delle informazioni deve essere fatta periodicamente. Nel caso in cui, ad esempio, un prodotto subisce un decremento della domanda, restando in SM B costringerebbe inutilmente il fornitore a tenere la scorta di sicurezza. Tale scorta, non necessaria a SKF, sarà ugualmente ritirata a fine anno. Come da accordi è anche impostata la cosidetta "flexibility factory", che definisce l'obbligo del fornitore ad accrescere del 25% le sue scorte minime nel caso in cui si verificasse una crescita improvvisa della domanda.

3.7.1 Modello A

Il modello di fornitura A deve essere utilizzato quando è necessario consumare costantemente i prodotti del fornitore. Il fornitore ha la piena responsabilità di rendere il prodotto sempre disponibile in uno stock di riserva entro un livello minimo e massimo, come concordato nel profilo del canale di fornitura (SCP). Nessun ordine di acquisto sarà inviato al fornitore per rifornire il magazzino poiché il suo obbligo è di utilizzare lo strumento di visibilità SIM per mantenere livelli di inventario adeguati. Il massimo ed il minimo livello è la quantità al di sopra ed al di sotto del quale lo stock non può andare.
Nel caso in cui lo stock effettivo o pianificato sia al di sotto del livello minimo, nel sistema lo stato di quel materiale o componente sarebbe di "stock-out". Ma non è ammesso nessuno stock out. Verificatosi questo scenario, il fornitore deve compiere tutti gli sforzi possibili per riempire le scorte tampone al di sopra di un livello minimo. Per prevenirlo esiste un livello di allarme che indica quando una reazione di ricarica deve essere eseguita dal fornitore. I tre parametri appena evidenziati (massimo livello, minimo livello, livello di allarme) sono settati in collaborazione tra SKF e fornitori nella quale tutte le parti sono responsabili di processi e funzioni specifiche. Tale modello è anche conosciuto con la sigla VMI, ovvero Vendor Managed Inventory (inventario gestito dal fornitore). L'ubicazione fisica in cui il fornitore immagazzinerà i prodotti deve essere concordata con SKF e deve avvenire all'interno dei locali SKF o nelle vicinanze. Ciò include il monitoraggio dei livelli delle scorte ed il rispetto dei requisiti di tempo delle spedizioni e delle consegne.

3.7.2 Modello B

Il modello di fornitura B è utilizzato quando i prodotti dei fornitori sono consumati con frequenze medio-alte durante l'anno. Come nel SM A, le informazioni riguardanti la previsione della domanda ed il livello di stock sono inviati ai fornitori. Il periodo di tempo che intercorre tra l'emissione dell'ordine e l'effettiva consegna fisica dei materiali è di tre giorni.

3.7.3 Modello C

Il modello di fornitura C non prevede la creazione di uno stock ed è utilizzato per item che servono una tantum o utilizzati di volta in volta. Gli ordini di acquisto sono eseguiti ogni volta che il mercato ne richiede la produzione ed i tempi di consegna sono concordati e definiti da precisi lead time che il fornitore ha l'obbligo di rispettare.

3.8 Confronto rispetto al passato

Mantenere ridotte le scorte in magazzino non è sempre stato un obiettivo aziendale. Quando la grandezza dei depositi lo permetteva, a causa dell'assenza di controlli sullo stock, gli ordini di fabbisogno erano sempre nettamente superiori alla necessità reale. L'unico obiettivo finale era il versamento dei prodotti finiti. Non interessava il come, ma solo il montaggio ed il trasporto della quantità di prodotto finito promesso al mercato. Tutto questo significava dover rettificare lotti enormi di diversi tipi di anelli, creare magazzini di finiti enormi e capitali immobilizzati altrettanto grandi. Il tutto era svolto seguendo una scaletta di produzione precisa. L'unico obiettivo era la soddisfazione del cliente. Ci si concentrava sull'efficienza di produzione. Si rettificavano quantità superiori al necessario. In tal modo le macchine giravano veloci, non erano frequenti i cambi tipo e di conseguenza era possibile sfruttare al meglio il tempo a disposizione. Si produceva tanto ed i clienti stessi chiedevano elevate quantità, in modo da ottenere prodotti già pronti per essere utilizzati. La produzione di un unico item era talmente elevata, che per mesi non veniva più richiesto. Il mercato era differente da quello di oggi. Quando i lotti erano grandi, si alimentava il magazzino riempiendo le file disponibili, ognuna con i

componenti necessari ad una singola famiglia. Liberata la fila, questa si riempiva con i componenti della TBU successiva.
I clienti, con l'avvento della crisi, iniziarono a richiedere la produzione di piccoli lotti. La produzione vedeva passare uno stesso item più volte nel giro di pochi mesi. Negativo, anche se non determinante, è lo spreco dei componenti dovuto alla produzione di piccoli lotti. I materiali di consumo di supporto alla produzione, ad esempio, essendo utilizzati per piccole quantità, si consumano e non sono più utilizzati per diverso tempo. Nel momento in cui ritorneranno utili, non saranno ormai nella condizione di essere riutilizzati e verranno gettati.
Adesso il cliente non vuole più il cuscinetto in magazzino a meno che non gli serva realmente.

3.9 Reparto produzione e Supply Chain

Il management ambisce ad ottenere un filo diretto tra rettifica e montaggio. Il primo pezzo, rettificato, fosfatato e controllato, viene montato e spedito. E così via con gli altri pezzi, come se fosse una linea unica. È un obiettivo difficilmente perseguibile, ma si cerca di rispettare il più possibile tale logica.
In officina, si tenta di avere meno buffer possibile tra rettifica e montaggio, ovvero il minor numero possibile di pezzi fermi. La rettifica deve cercare di "correre" il più possibile, in quanto sottodimensionata rispetto alla capacità delle linee di montaggio.

Il montaggio è in grado di produrre circa 600 TBU giornaliere, mentre la rettifica realizza a turno 200 anelli esterni e 400 interni. È naturalmente rilevante la tipologia di anello da lavorare. Non si avrà mai tanto materiale fermo e pronto per essere assemblato, poiché non c'è lo spazio sufficiente e non è presente un buffer intermedio che permetta di accumulare anelli a fine ciclo di lavorazione. Il deposito presente a Villar Perosa è solo un magazzino di passaggio, dove gli anelli possono essere posati e ripresi quando la macchina, liberatasi, è pronta per la lavorazione successiva. Secondo la logica precedentemente scritta, teoricamente questo non dovrebbe accadere poiché il processo dovrebbe appunto seguire una linea continua senza interruzioni.
È importante considerare la quantità di materiale circolante nel deposito pronta per essere assemblata. In caso di fermi macchina improvvisi, l'insufficienza di semilavorato

disponibile comporterebbe un inevitabile blocco delle linee di montaggio con il conseguente ritardo nelle consegne, il mancato versamento dei prodotti finiti e le cosiddette broken promises, ovvero mancate consegne ai clienti finali.
Si verificherebbe, in tal caso, una contrapposizione delle due funzioni di produzione e Supply Chain. In poche parole, chi lavora guadagnando su ciò che deve essere versato, preferirebbe avere più magazzino possibile evitando così problemi sopraggiunti in rettifica estraendo i prodotti finiti pronti per essere assemblati. Al contrario la Supply Chain, responsabile dei magazzini, li mantiene al minimo con lo scopo di ridurre il costo di materiale immobilizzato.

4 Programmazione della produzione di cuscinetti

Come precedentemente accennato, è di prioritaria importanza studiare i metodi che permettano di raggiungere obiettivi di efficienza all'interno dei processi aziendali, pianificando e controllando per ottenere delle performance ottime. A causa della variabilità della domanda, spesso nasce quel mismatch tra la domanda stessa e l'offerta [7]. Il Mismatch è quantitativo quando le risorse sono sottodimensionate rispetto alla domanda, o temporale. In alcuni momenti il valore medio della domanda è troppo piccolo o troppo grande.

Una mancata corrispondenza tra le due parti del mercato è certamente causata, oltre che dalla variabilità della domanda, dalla non flessibilità della capacità. Sarebbe necessario svolgere un'attenta analisi che riesca a valutare l'utilizzo delle risorse a disposizione, ovvero la valutazione di eventuali inefficienze, e definire l'obbiettivo aziendale, tenendo conto di cosa sia necessario migliorare. È di fondamentale importanza capire l'esigenza di armonizzare le richieste del mercato, espresse (come spiegato in precedenza) da una previsione della domanda e consolidate in un portafoglio ordini tramite gli obbiettivi di budget, con le potenzialità del sistema produttivo. Tutto questo è reso possibile sia da un'attenta analisi del mercato, tenendo conto del mix produttivo richiesto, del ritmo della domanda e dei termini di consegna, sia dell'esigenza di saturare i macchinari, del contenimento dell'investimento in scorte e degli specifici rapporti di fornitura per quanto riguarda l'offerta. Affinché un sistema produttivo funzioni bene, è essenziale procurarsi i materiali che devono essere trasformati in prodotti finiti e collocarli sul mercato al fine di soddisfare le richieste dei clienti. All'interno della catena di fornitura, oltre al flusso fisico dei materiali che ha inizio con l'acquisto delle materie prime dai fornitori, è possibile individuare il flusso informativo. Quest'ultimo nasce dal mercato dei prodotti finiti o dai clienti dal quale si reperiscono tutte le informazioni necessarie per la determinazione della domanda. Tale domanda rappresenta l'input principale per la successiva fase di programmazione della produzione, un processo costituito da un insieme di attività mediante le quali si ottiene la trasformazione di un input principale costituito dalla domanda, espressa da previsioni o da ordini clienti, in una serie di output

quali ordini di produzione e ordini di approvvigionamento. Il suo scopo è assicurare la produzione del necessario al minor costo possibile.
Il processo produttivo degli anelli, lo si potrebbe immaginare come il reparto di chirurgia di un ospedale: l'anello è il paziente, gli operatori e le macchine sono le risorse che operano sul pezzo e la lavorazione svolta sull'item è l'attività. Il diagramma di Gantt rappresenta lo svolgimento nel tempo delle varie attività e la loro successione. Riportando mensilmente le attività sul diagramma, si ottiene una scaletta ordinata della rettifica degli anelli che saranno assemblati e spediti al cliente. Ipotizzando il susseguirsi di attività elementari, consideriamo i seguenti punti:

- Registrazione dell'ordine del cliente
- Trasmissione dell'ordine dal supply chain planner
- Approvvigionamento dell'anello a monte, pronto per percorrere l'intera catena di fornitura
- Arrivo dell'anello nel sito di Villar Perosa
- Ingresso dell'anello in officina ed inizio del suo ciclo di rettifica, decapaggio e fosfatazione
- L'anello subisce gli ultimi controlli
- Assemblaggio dell'anello con altri componenti
- Spedizione della TBU al cliente

Tutto questo avverrebbe correttamente se venissero rispettate le tempistiche. Ma la variabilità della domanda e della capacità produttiva (continuamente messa alla prova da guasti improvvisi, problemi nella qualità dei pezzi, errori umani etc.) causano tempi di attesa.
Nella lavorazione degli anelli, il mancato bilanciamento tra domanda e offerta, causa tempi di attesa che vedono l'alternarsi di momenti di ipoattività e momenti di iperattività. Per un sistema correttamente funzionante, si dovrebbero ottenere attese nulle e risorse con utilizzo bilanciato. L'analisi delle performance di un sistema produttivo parte dalla definizione di tre misure:

- FT o Flow Time, ovvero l'intervallo di tempo che intercorre tra l'arrivo dell'ordine di un prodotto e la consegna al cliente [tempo].

- WIP o work in progress, tutto ciò che sta tra lo stadio “materia prima” e quello di “prodotto finito” [unità].
- TH o throughput o flow rate, che misura l’efficienza del processo in relazione al numero di pezzi prodotti per unità di tempo [unità/tempo].

Queste tre grandezze non sono indipendenti tra loro. Esistono tre legami:

- FT alto, WIP alto
- FT alto, TH basso
- WIP alto, TH alto

ma una sola relazione, meglio nota come legge di Little:

$$WIP = TH \times FT \tag{2}$$

Prendendo come esempio un anello di grandezza media, per l’esattezza un anello OP BT2B 641162, ho calcolato i tempi di produzione per ogni stazione che compone il processo produttivo di rettifica. Per avere una descrizione grafica delle varie fasi, il diagramma di flusso in figura 40 mostra come il completamento di un'unità di flusso richieda di visitare tutte le risorse del processo. La capacità totale di processo è determinata dalla risorsa con la più piccola capacità. Tale risorsa è detta collo di bottiglia (punto più debole dell’intero processo).

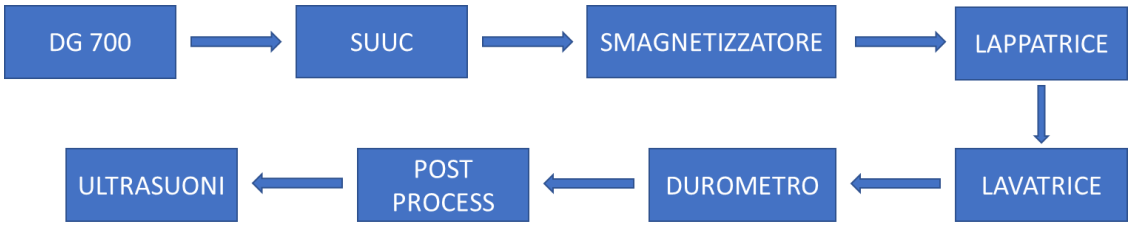


Figura 40: Fasi di produzione in cui l’item è lavorato da ogni macchina sequenzialmente

4.1 Analisi del processo di rettifica

La capacità del processo può essere calcolata come:

$$Cap = min[cap_1, cap_2, \ldots\ldots, cap_n] \quad (3)$$

con n = numero di risorse disponibili per il completamento del ciclo di lavorazione. Questo fattore non indicherà effettivamente la quantità prodotta, in quanto sono necessarie diverse considerazioni relative alla domanda del mercato. Nel caso in cui la domanda fosse maggiore rispetto alla capacità del processo, quest'ultimo sarebbe supply constrained: l'offerta non soddisferebbe interamente la domanda. Viceversa, se la domanda fosse minore, il processo sarebbe demand constrained; ovvero si produrrebbe esattamente ciò che è richiesto dal mercato, senza sfruttare al massimo l'effettiva capacità produttiva [14]. Misurando i tempi di attraversamento dell'anello su ogni macchina, mi è stato possibile misurare quanto, di quel determinato anello, il sistema fosse in grado di produrre. Le misurazioni sono state prese considerando come unità di misura i secondi. Nella seguente tabella 1 sono riportati i tempi cronometrati.

Tabella 1: Capacità oraria delle macchine

$STAZIONE\ DI\ LAVORO_i$	TEMPO DI PROCESSO TP_i [s/u]	$CAPACITA'_i$ [u/h]
DG 700	73 [s/u]	49 [u/h]
SUUC	96 [s/u]	37.5 [u/h]
SMAGNETIZZATORE	10 [s/u]	360 [u/h]
LAPPATRICE	77 [s/u]	46.75 [u/h]
LAVATRICE	43 [s/u]	83.7 [u/h]
DUROMETRO	26 [s/u]	138.5 [u/h]
POST PROCESS	85 [s/u]	43 [u/h]
ULTRASUONI	73 [s/u]	49 [u/h]

È possibile vedere quale risorsa scandisce il tempo di uscita dell'unità di flusso. La macchina SUUC impiega esattamente 96 secondi per ogni unità. Per capire qual è l'effettivo flow rate del sistema, calcoliamo il numero di unità prodotte ogni ora dalla risorsa collo di bottiglia (CDB). Se la risorsa SUUC impiega 96 secondi per lavorare un'unità, allora saranno circa 37.5 unità ogni ora ad uscire dal processo. Adesso consideriamo l'andamento medio della domanda. In media, mensilmente, sono richieste circa 10800 tbu. Da questo dato possiamo risalire a quante unità all'ora dovrebbero essere prodotte per soddisfare la domanda. In questo caso devono essere prodotte circa 18.75 unità ogni ora. Così è possibile calcolare il flow rate del processo di produzione come:

$$flow\ rate = \min[cap_{CDB}, domanda] = \min[37.5, 18.75] = 18.75$$

Il minimo corrisponde alla domanda. Questo rende il processo un demand constrained, ovvero si ha una domanda minore rispetto alla capacità del sistema che corrisponde al collo di bottiglia.

Grazie a questo dato è possibile paragonare ciò che potrebbe essere prodotto dal sistema (alla massima velocità di produzione), rispetto a ciò che viene realmente prodotto. L'utilizzo per ogni risorsa è espresso dall'equazione:

$$u = \frac{flowrate}{capacità_i} \qquad (4)$$

Il valore massimo è il 100%, ovvero massimo utilizzo della sua capacità produttiva. La risorsa utilizzata al 100% sarà presente solo nei processi supply constrained, ovvero quando l'offerta è minore della domanda.

Inserendo nella formula la capacità in unità all'ora (prodotta da ogni singola stazione), ed il flow rate ottenuto nella precedente espressione, otterremo l'utilizzo di tutte le risorse Così otteniamo i seguenti tassi di utilizzo in tabella 2:

Tabella 2: Utilizzo percentuale delle macchine in un processo demand constrained

$STAZIONE\ DI\ LAVORO_i$	CALCOLI	$UTILIZZO_I$
DG 700	18.75/49	38.3%
SUUC	18.75/37.5	50%
SMAGNETIZZATORE	18.75/360	5.2%
LAPPATRICE	18.75/46.75	40%
LAVATRICE	18.75/83.7	22.4%
DUROMETRO	18.75/138.5	13.5%
POST PROCESS	18.75/43	43.6%
ULTRASUONI	18.75/49	38.3%

Come è possibile vedere, il collo di bottiglia ha una percentuale di utilizzo maggiore tra tutte le risorse, ovvero del 50%.

Oltre all'utilizzo è anche possibile calcolare l'utilizzo implicito secondo la seguente equazione:

$$iu = \frac{domanda}{capacità_i} \tag{5}$$

Questo ci permette appunto di calcolare quel mismatch, in quanto rappresenta ciò che dovrebbe passare effettivamente nel sistema (domanda) rispetto a quello che potrebbe essere prodotto grazie alla capacità effettiva. Infatti, il suo valore massimo può essere maggiore del 100% e più è alto più la domanda eccede la capacità della risorsa. Nel caso di demand costrained, il calcolo dell'utilizzo implicito non ci dà alcuna informazione aggiuntiva, poiché risulterebbe l'utilizzo uguale all'utilizzo implicito. Nel caso in cui si volesse avere una rappresentazione visiva della durata e del passaggio di un singolo item tra le macchine del processo produttivo, si potrebbe creare un diagramma di Gantt. Grazie alla sua utilità è possibile determinare due informazioni che sono insite all'interno del processo produttivo ed in particolar modo nella percentuale di utilizzo delle macchine.

Dal diagramma di Gantt rappresentato in figura 41, è possibile continuare il ragionamento fatto precedentemente e verificare l'effettiva quantità di lavoro al quale sono sottoposte le diverse risorse presenti sulla linea di rettifica. Il blu, l'azzurro ed il grigio rappresentano il tempo di lavoro, il rosso l'idle time.
Per semplicità di rappresentazione i valori sono stati approssimati all'intero superiore.

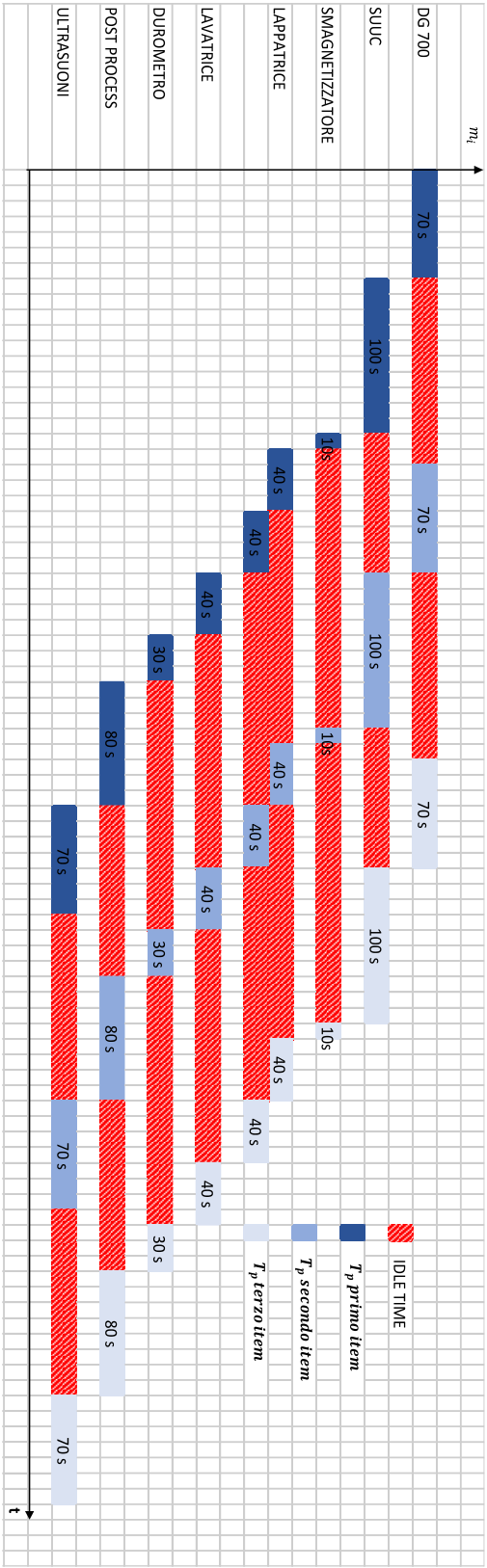


Figura 41: Diagramma di Gantt per le operazioni di rettifica. Le tre sfumature in blu rappresentano il ciclo di lavorazione di tre anelli in successione ed il loro ingresso nelle stazioni di lavoro. In rosso il tempo di attesa tra una macchina e l'altra e tra l'entrata di un item ed il successivo nel ciclo produttivo.

Nel nostro caso e con le considerazioni fatte, il numero di unità uscenti dal processo ogni ora dipende dalla domanda media mensile che corrisponde a circa 18.75 u/h.
Dal calcolo dei diversi utilizzi per ogni risorsa, è stato possibile notare il sovradimensionamento del sistema rispetto alla domanda, dove la risorsa collo di bottiglia ha un utilizzo (e quindi un utilizzo implicito) del solo 50% dal momento che si ha un processo demand constrained. Queste considerazioni ci permettono di capire quanto una risorsa sia utilizzata, facendo riferimento al lavoro necessario ed al tempo di inattività. Per questo è possibile ricavare due termini:

- Labor content (LC); ovvero il tempo attivo di lavorazione di tutte le macchine, senza includere i tempi morti. Si calcola attraverso la sommatoria dell'equazione :

$$LC = \sum_1^n tempo\ di\ processo_i [s] \qquad (6)$$

  Con n = numero macchine.
  La sommatoria ci porta ad un valore di $LC = 483\ s/u$.

- Idle time (ID), tempo di inutilizzo. Non è usato dalle macchine, poiché in questo caso dimensionate in base alla domanda. Il primo passaggio per ricavare l'idle time è il calcolo del cycle time (CT), ovvero il tempo ciclo o tempo di processo che intercorre tra l'uscita di una unità e la successiva. Si calcola con l'equazione:

$$CT = \frac{1}{flowrate} \qquad [s/u] \qquad (7)$$

  Nel nostro caso si ha:

$$CT = \frac{1}{\frac{18.75u}{h}} = 0{,}05333\frac{h}{u} = 192\frac{s}{u}$$

  e quindi un idle time per ogni macchina, calcolato tramite la seguente equazione:

$$IT_i = CT - TP_i \tag{8}$$

Con TP_i = tempo di processo della macchina i-esima.

I calcoli, eseguiti su ogni risorsa, sono presentati in tabella 3:

Tabella 3: Idle time delle macchine in un processo demand constrained

$STAZIONE\ DI\ LAVORO_i$	$IDLE\ TIME_i$ [s]
DG 700	192 – 73 = 119 s
SUUC	192 – 96 = 96 s
SMAGNETIZZATORE	192 – 10 = 182 s
LAPPATRICE	192– 40 = 152 s (80 s divisi in due postazioni)
LAVATRICE	192 – 43 = 149 s
DUROMETRO	192 – 26 = 166 s
POST PROCESS	192 – 85 = 107 s
ULTRASUONI	192 – 73 = 119 s

Grazie ai calcoli appena presentati è possibile trovare l'utilizzo medio del sistema con la seguente equazione:

$$\mu = \frac{LC}{LC+IT_{tot}} \tag{9}$$

In questo caso, con un $LC = 483\frac{s}{u}$ ed un $IT_{tot} = \sum_{i=1}^{8} IT_i = 1050\,s$, si ottiene un utilizzo medio pari a $\mu = \frac{483}{483+1050} = 31.5\%$.

Per accertarsi che i calcoli siano corretti, è possibile considerare gli utilizzi di tutte le singole macchine, calcolati nella precedente tabella 2, sommarli e dividere per il numero delle stesse, ottenendo: $\mu = \sum_{i=1}^{8} u_i/n = \frac{252}{8} = 31.5\%$. Nella seguente figura 42, è rappresentato il livello di utilizzo delle singole risorse e dell'intero processo.

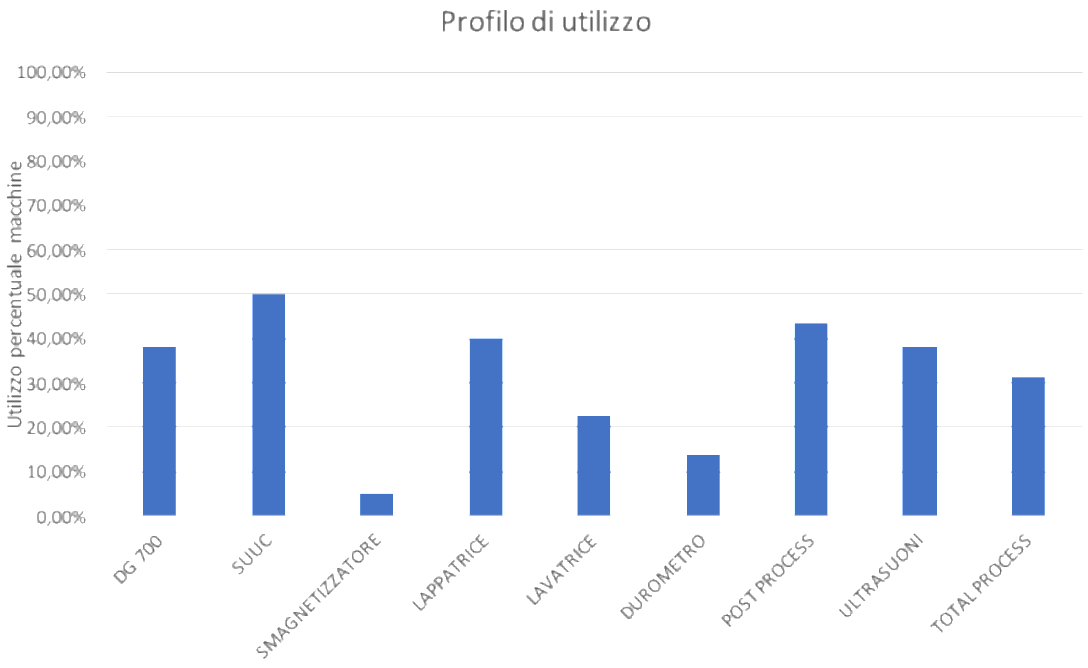


Figura 42: Rappresentazione del sottoutilizzo delle risorse

Adesso è possibile calcolare il tempo impiegato per produrre un determinato lotto, partendo dal sistema vuoto. Ad esempio, considerando una quantità da produrre come quella delle linee d'ordine di cui parleremo nel capitolo 6, attraverso le varie schermate del sistema, il tempo di rettifica per gli anelli sarà calcolato attraverso la seguente equazione:

$$T = T_0 + \frac{x-1}{flowrate} \qquad (10)$$

Con T_0 si definisce il tempo di produzione della prima unità che entra nel sistema anche detto raw process time. Con x si identifica il lotto da produrre.

Nel nostro esempio, con $T_0 = 483\ s = 0.1342$ h e $x = 626\ u$, si otterrà un tempo totale pari a:

$$T = 0.1342 + \frac{626-1}{18.75} = 33.47\ h$$

Lavorando su tre turni giornalieri da otto ore, saranno coperti poco più di quattro turni.

Tutte le considerazioni fatte fino ad ora considerano il processo produttivo come se fosse completamente lineare ed efficiente, senza nessun tipo di perdita. Questo è uno dei motivi principali del sovradimensionamento della capacità produttiva vista fino ad ora. In realtà sono diverse le perdite che verificano e che influenzano il flow rate di un sistema. Esso può essere perturbato da due fattori fondamentali [14]:

- Variabilità
- Fattori deterministici come manutenzione e setup

Il primo fattore indica la varietà "scelta", ovvero il numero di prodotti che l'azienda decide di produrre, o la variabilità naturale che deriva dalla domanda di mercato o dalla possibilità di guasti improvvisi delle macchine. È il tipo di variabilità che si deve cercare di eliminare poiché l'effetto negativo è il deterioramento del livello di servizio al cliente. In quest'ottica possiamo dividere i fermi macchina in due categorie:

- Preemptivi, ovvero i guasti che possono interrompere il processo anche se la risorsa sta lavorando
- Non preemptivi, ovvero i setup che sono eseguiti tra una lavorazione e l'altra, quando si deve passare al tipo di prodotto successivo.

Entrambi i fermi macchina aumentano la media del tempo di processo, determinando un tempo di processo effettivo sempre maggiore del tempo di processo naturale.

4.2 Interruzione del regolare flusso di processo – setup

I setup causano la discontinuità del flusso di produzione, e sono necessari quando è richiesta la lavorazione di una certa varietà di prodotti. È necessario cercare di diminuire il più possibile i tempi di cambio tipo ogni volta che si deve passare alla produzione dell'item successivo. Naturalmente maggiore è la varietà dei prodotti, maggiore sarà la possibilità di dover incorrere a continui setup tra una tipologia e l'altra, poiché indispensabile per poter produrre. Essendo un idle time per il sistema, più i lotti sono piccoli maggiore sarà la capacità persa. Per questo motivo converrebbe produrre a lotti

grandi in modo da riuscire a sfruttare al meglio la capacità produttiva delle macchine. Ma, come anticipato nei capitoli precedenti, produrre a lotti grandi implicherebbe un elevato incremento dei costi di magazzino, la necessità di avere ampi spazi di stoccaggio ed un totale distacco dalla logica just in time. Per questo si cerca di ridurre al minimo i tempi necessari a settare le macchine utilizzando la logica SMED (Single Minute Exchange of Die) al fine di comprimere tali perdite temporali e garantire tempi minimi di preparazione della linea produttiva [8]. La logica si basa sulla consapevolezza della necessità di semplificare il modus operandi, della standardizzazione delle sequenze di lavoro e della previa preparazione delle attrezzature utili. Il suo scopo principale è quello di identificare chiaramente quali sono le attività di setup che possono essere svolte con macchina ferma e quali con macchina in funzione. Le prime si definiscono IED (Inside Exchange of Die), mentre le seconde sono nominate OED (Outside Exchange of Die) [9]. È ovvio che le considerazioni fatte precedentemente non valgono più dal punto di vista del flow rate in uscita dal sistema. La velocità di uscita dei pezzi sarà scandita dalla risorsa collo di bottiglia definita dal calcolo dei tempi nella tabella 3 soprastante. In tale ottica la macchina collo di bottiglia SUUC determinerà la produzione oraria dell'intero processo di rettifica degli anelli esterni, ovvero: $flow\ rate = 37.5\frac{u}{h}$.

I nuovi utilizzi di ogni singola risorsa, sono riportati nella seguente tabella 4.

Tabella 4: Calcolo degli utilizzi considerati i tempi di setup

$STAZIONE\ DI\ LAVORO_i$	CALCOLI	$UTILIZZO_I$
DG 700	37.5/49	76.5%
SUUC	37.5/37.5	100%
SMAGNETIZZATORE	37.5/360	10.4%
LAPPATRICE	37.5/46.75	80.2%
LAVATRICE	37.5/83.7	44.8%
DUROMETRO	37.5/136.5	27.5%
POST PROCESS	37.5/43	87.2%
ULTRASUONI	37.5/49	76.5%

È facile notare che la risorsa CDB ha un utilizzo del 100%. Anche in questo caso è possibile rappresentare il processo produttivo attraverso il Gantt della seguente figura 43.

Il contenuto di lavoro è lo stesso del caso precedente ma ovviamente gli idle time si sono ridotti ed a questa riduzione corrisponde l'aumento percentuale degli utilizzi. La macchina che teoricamente non ha idle time è ovviamente la SUUC, lavorando a pieno regime. Anche in questo caso è possibile calcolare i dati ricavati precedentemente.

È importante sottolineare che dal processo effettivamente non usciranno 37.5 u/h poiché i calcoli svolti non tengono conto di tutte le perdite che possono influenzare la capacità del sistema. Al tempo stesso, non è scontato che la risorsa collo di bottiglia sia al 100% del suo utilizzo dal momento che in generale si tiene il sistema al 90% in modo da avere a disposizione ancora un incremento di capacità nel caso il mercato la richiedesse. Per semplicità, e per la presenza di diverse cause di perdita che saranno presentate nel capitolo successivo, è stato ipotizzato che la risorsa CDB producesse 37.5 u/h al pieno della sua capacità.

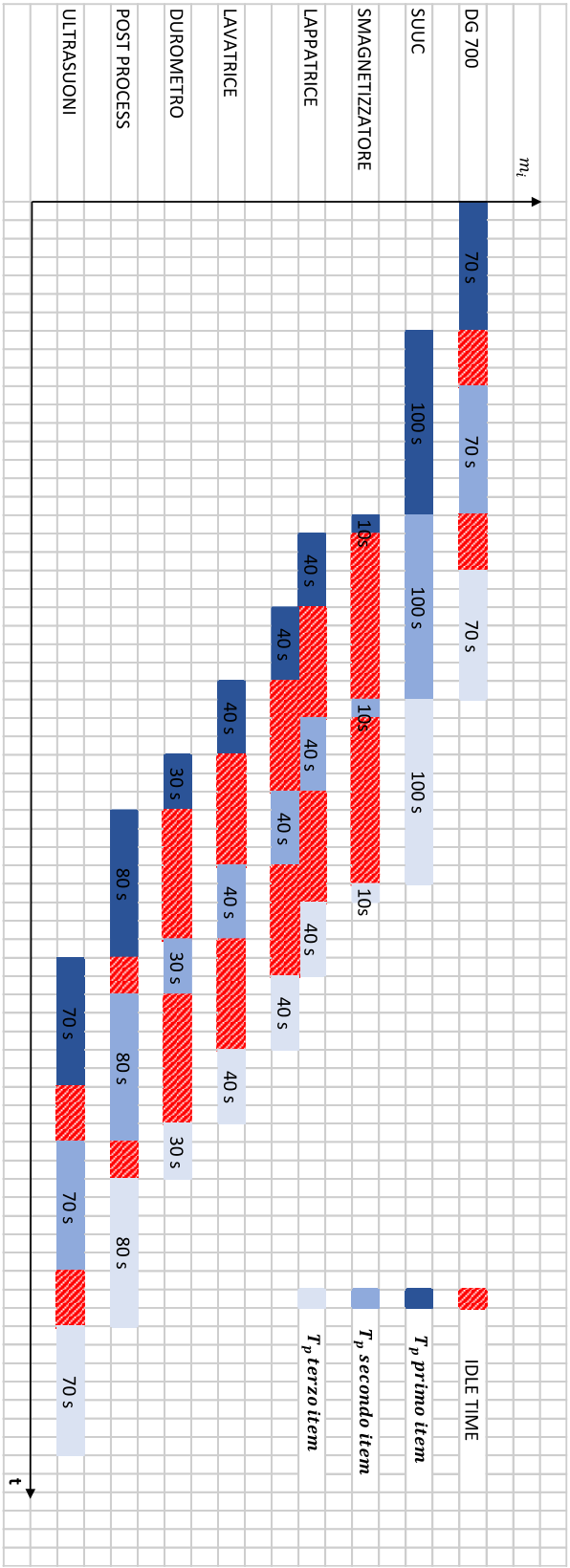


Figura 43: Gantt della rettifica considerando i tempi di setup. Come il diagramma precedente, rappresenta i tempi di produzione e attesa di tre item in sequenza.

Il labor content resta lo stesso di prima ovvero $LC = 483\ s/u$; ma gli idle time si sono ridotti poiché:

$$CT = \frac{1}{\frac{37.5u}{h}} = 0{,}02666\frac{h}{u} = 96\frac{s}{u}$$

che naturalmente corrisponde al tempo di lavorazione sulla risorsa SUUC. Gli idle time saranno presentati nella seguente tabella 5 (anche qui i tempi sono stati approssimati per facilitare la rappresentazione del Gantt).

Tabella 5: Calcolo degli idle time con CDB che lavora al 100%

$STAZIONE\ DI\ LAVORO_i$	$IDLE\ TIME_i$ [s]
DG 700	96 – 73 = 23 s
SUUC	96 – 96 = 0 s
SMAGNETIZZATORE	96 – 10 = 86 s
LAPPATRICE	96– 40 = 56 s (80 s divisi in due postazioni)
LAVATRICE	96 – 43 = 53 s
DUROMETRO	96 – 26 = 70 s
POST PROCESS	96 – 85 = 11 s
ULTRASUONI	96 – 73 = 23 s

Per tale risorsa, il tempo ciclo scandito dalla SUUC determina un idle time pari a zero. È ovvio che in presenza di un'ampia varietà di prodotti è necessario riattrezzare le macchine più volte al fine di soddisfare la domanda mensile. In questo senso, si potrebbe affrontare un problema di trade off tra il soddisfacimento totale della domanda di mercato e sfruttamento massimo della capacità del sistema. Nel caso delle TBU, le tipologie di anelli che devono essere rettificate mensilmente sono molte e questo causa un effetto negativo sulla capacità produttiva proprio per la presenza dei tempi improduttivi generati

dai setup e da altre perdite che riducono la capacità totale, generando una diminuzione delle ore effettive di lavoro (capitolo 6). Al fine di riuscire a sfruttare al meglio la capacità, si dovrebbe cercare una produzione che permetta di lavorare lotti di una certa dimensione. È ovvio che più si è in grado di lavorare lotti piccoli, più si riesce a soddisfare la domanda producendo esattamente ciò che è richiesto dal mercato e si riuscirebbe ad adattare la linea produttiva ad eventuali mutamenti.

Oltre ad aumentare la dimensione dei lotti di produzione, come accennato precedentemente, un altro modo per aumentare la capacità è ridurre al minimo il tempo di setup e di conseguenza avere la possibilità di produrre lotti più piccoli necessari al solo soddisfacimento dei fabbisogni determinati dalla domanda di mercato.

4.2.1 Rappresentazione visiva del tempo di setup – Patchwork

Diversi anni fa, nel caso del reparto TBU, i tempi di setup della linea produttiva richiedevano circa 12 ore, e il lavoro veniva eseguito da un unico operatore. I lotti di produzione erano grandi, ed alti erano i costi di stoccaggio dei prodotti finiti. Ponendo l'attenzione sulla riduzione dei costi di magazzino e sull'applicazione della logica JIT, è stato alto lo sforzo per la diminuzione dei tempi di riattrezzaggio macchina. Come accennato precedentemente (paragrafo 4.2), ci si basa sulla logica SMED. È di fondamentale importanza riuscire a standardizzare il processo di riattrezzaggio ed avere una scaletta ordinata delle attività da svolgere per rendere l'operazione veloce ed efficace. Se le attività di setup venissero organizzate in maniera ordinata, e fosse possibile suddividere correttamente le IED dalle OED si otterrebbe una riduzione del tempo di setup interno. In particolare, è stata stilata una lista di attività da svolgere per ridurre i tempi. Le attività svolte sono le seguenti:

1. Scelta ed addestramento degli addetti che lavoreranno in parallelo sul cambio tipo con il passaggio da uno a due addetti.
2. Lista della sequenza delle macchine sulla quale fare il cambio tipo.
3. Lista della sequenza dettagliata delle attività da svolgere per ogni macchina in modo da determinare un programma di riattrezzaggio.

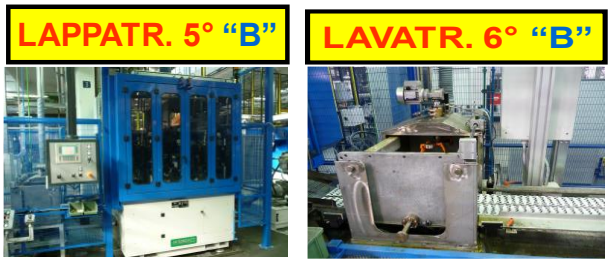
4. Elenco dei parametri che possono subire delle modifiche durante la lavorazione.
5. Gestione degli attrezzi attraverso la logica delle 5S [8]. La metodologia 5S attraverso cinque passaggi permette di ottimizzare gli standard di lavoro e le performance operative. L'obiettivo è quello di eliminare tutto ciò che non è strettamente funzionale all'attività svolta, indipendentemente dall'attività stessa. I cinque passi che caratterizzano la metodologia sono:
    - **S**eiri - *separare*: separare ciò che serve da ciò che non è utile allo svolgimento dell'attività creando disturbo e disordine, spreco di tempo o di risorse.
    - Seiton - riordinare: tutto ciò considerato utile deve essere posizionato al proprio posto.
    - Seiso - pulire: al fine di nascondere le inefficienze tenere tale ordine costante e pulire.
    - Seiketsu - sistematizzare o standardizzare: definire metodologie ripetitive e canonizzate da utilizzare per continuare queste attività di razionalizzazione delle risorse e degli spazi lavorativi;
    - Shitsuke - diffondere o sostenere: ampliare questo modo di agire a tutte le attività aziendali.
6. Identificazione dei luoghi in cui posizionare i carrelli con gli attrezzi necessari.
7. Formazione ed informazione delle sequenze standard e di tutte le attività standardizzate sull'utilizzo degli attrezzi.

Come descritto nei punti precedenti, ogni macchina ha nel dettaglio una propria sequenza di attività che devono essere svolte per permettere la produzione della tipologia successiva. Nella seguente sequenza di figure 44-45-46-47-48, sono rappresentate in ordine le macchina della linea di rettifica sulla quale svolgere il setup e le attività che devono essere svolte in sequenza. Sono gli operatori A e B a svolgere i passaggi. Le operazioni appaiono come veri e propri cicli di lavoro. Tali lavori sono stati stampati su fogli di carta ed appesi alle pareti in prossimità di ogni macchina.

OPERATORE B:

DG 700, ROBOT, SMAGNETIZZATORE	
	INIZIO CON ULTIMO PEZZO FUORI DA SMAGNETIZZATORE
1° B	SOSTITUIRE DITA ROBOT (SE NECESSARIO,TRB)
2° B	CARICARE PROGRAMMA TIPO DA FARE (E CONTROLLO PARAMETRI)
3° B	PORTARE IN POSIZIONE DI PARTENZA
4° B	CONTROLLO ROTAZIONE PEZZO
5° B	REGOLARE ALTEZZA SMAGNETIZZATORE

Figura 44: attività di setup della DG 700, del robot e dello smagnetizzatore



LAPPATRICE, LAVATRICE	
	SE NON PRESETTATE, LE PIETRE VANNO TAGLIATE PRIMA DELL'INIZIO SVUOTAMENTO
9° B	CAMBIARE PROGRAMMA TIPO DA FARE E CONTROLLO PARAMETRI
10° B	REGISTRO ALTEZZE PORTAPIETRE,RIBALTATORE (IN BASE ALLA SCHEDA) E PUNTALINO PORTAPIETRA
11° B	REGISTRARE CARICAMENTO E INGRESSO
12° B	REGISTRARE PRESSORE
13° B	REGOLARE INCLINAZIONE E PIETRA LOGORA STAZIONE 1
14° B	REGOLARE INCLINAZIONE E PIETRA LOGORA STAZIONE 3
15° B	REGOLO USCITA LAPPATRICE
16° B	REGOLO LAVATRICE

Figura 45: Attività nel setup di lappatrice e lavatrice

DUROM. 7° "B"

DUROMETRO	
17° B	CAMBIARE SCALA HRC (SE RICHIESTO)
18° B	VERIFICARE ALTEZZA DIAMANTE
19° B	REGOLO SPONDE INGRESSO E CARICAMENTO
20° B	REGOLARE SCARICO PEZZO
21° B	PROVO CON PEZZO

Figura 46: Attività di setup del durometro

ULTRASUONI 9° "B"

ULTRASUONI	
22° B	SVUOTO VASCA
23° B	CARICARE PROGRAMMA MACCHINA TIPO DA FARE
24° B	SMONTO DITA
25° B	SMONTO FONDELLO
26° B	SMONTO PIASTRA
27° B	SMONTO ASTA
28° B	RIMONTO PIASTRA
29° B	RIMONTO ASTA
30° B	RIMONTO FONDELLO
31° B	CENTRO PEZZO CON RULLI (SE NON PRESETTATO)
32° B	RIMONTO DITA
33° B	REGISTRO IL "V"
34° B	PROVO IL CARICAMENTO
35° B	REGISTRO SONDA PRESENZA PEZZO
36° B	REGISTRO DISTANZA SONDA US-PEZZO
37° B	RIEMPIO VASCA
39° B	REGISTRO CENTRAGGIO E INCLINAZIONE SONDE (PRIMA SONDA "9" POI "1")
40° B	CARICO PROGRAMMA US TIPO IN CORSO
41° B	CONTROLLO CORSA SONDE
42° B	OTTIMIZZARE SEGNALE SU DIFETTO
43° B	PROVARE CICLO CON CAMPIONE

Figura 47: Attività di setup degli ultrasuoni

OPERATORE A:

SUUC 600	
1° A	PRENDO DATI MOLE
2° A	MARPOSS A MISURA - SBLOCCO BECCUCCIO ID
3° A	SVITO RIPARO MOLA
4° A	GIRO TESTA PORTAPEZZO
5° A	CARICO PROGRAMMA
6° A	INSERISCO DATI MOLA OD
7° A	CAMBIO MOLA ID E BECCUCCIO REFRIGERANTE ID
8° A	INSERISCO DATI MOLA ID E FONDELLO
9° A	SMONTO FONDELLO E PATTINI
10° A	REGOLO PATTINI E POSIZIONE FONDELLO
11° A	MONTO FONDELLO E REGISTRO SONDA PRESENZA PEZZO
12° A	REGISTRO MARPOSS
13° A	GIRO TESTA PORTAPEZZO
14° A	VERIFICO POSIZIONE DIAMANTATURA E DIAMANTO
15° A	VERIFICO POSIZIONE RETTIFICA
16° A	TOLGO PEZZO
17° A	VERIFICO POSIZIONE RETTIFICA FONDELLO
18° A	RETTIFICO FONDELLO
19° A	AVVIO

Figura 48: Attività di setup della SUUC

Il processo di setup ha inizio quando l'ultimo pezzo esce dallo smagnetizzatore. Come sarà possibile vedere dalla rappresentazione grafica del Patchwork in cui sono segnati i tempi di setup di tutte le macchine, nell'intervallo di tempo in cui l'operatore A lavora sulla SUUC, l'operatore B inizia e termina i setup in tutte le altre macchine della linea di rettifica. Grazie a questi interventi è stato possibile diminuire i tempi di setup da 12 a 4 ore ed in particolare è stato utilizzato il Patchwork proprio per dare una rappresentazione visiva dei tempi di fermi macchina che riguardano la macchina ferma con riattrezzaggio in corso, senza riattrezzaggio o ancora macchina in funzione. In figura 49 si riporta un esempio in cui sono calcolati i tempi di setup della linea di produzione.

PATCHWORK				Intervallo >>>>>>	00:10		1	Normale funzionamento					2	Macchina ferma - ma senza cambio utensile													3	Cambio utensile				
Macchina	Tempo resetting macchina	inizio	fine	**Operatore**	**12:30**	**12:40**	**12:50**	**13:00**	**13:10**	**13:20**	**13:30**	**13:40**	**13:50**	**14:00**	**14:10**	**14:20**	**14:30**	**14:40**	**14:50**	**15:00**	**15:10**	**15:20**	**15:30**	**15:40**	**15:50**	**16:00**	**16:10**	**16:20**	**16:30**	**16:40**	**16:50**	**17:00**	**17:10**
TRASFERITORE	**3 min**			**B**	1	1	1	3	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	
DG 700	**15 min**	**13.00**	**13.04**	**B**	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	
ROBOT	**2 min**			**B**	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	
SUUC	**50 min**	**13.01**	**13.58**	**A**	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
SMAGNETIZZATORE	**2 min**	**14.02**	**14.04**	**B**	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	
LAPPATRICE	**42 min**	**13.27**	**14.04**	**B**	1	1	1	1	1	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	
LAVATRICE	**4 min**	**1 min**		**B**	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	
DUROMETRO	**10 min**	**14.04**	**14.11**	**B**	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
PP		**14.11**	**14.15**	**B**	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
ULTRASUONI	**60 min**	**14.22**	**15.12**	**B**	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	

Figura 49: Patchwork. I colori utilizzati aiutano nella visualizzazione dello stato della macchina durante il setup.

L'esempio rappresentato suddivide il setup dell'intera linea produttiva in intervalli di tempo della durata di 10 minuti ciascuno. Con una durata di soli 4 minuti, non appena l'ultimo item è in prossimità dello Smagnetizzatore, l'operatore B inizia e termina il setup delle prime tre macchine in sequenza. Successivamente l'operatore A inizia il cambio tipo sulla macchina CDB. Mentre gli ultimi pezzi escono dalle successive macchine, l'operatore B inizia il setup su quest'ultime. Una volta che il processo è riavviato, è possibile la non conformità dei primi pezzi, con conseguente necessità di correzioni. Sarà così possibile calcolare l'intervallo di tempo che intercorre tra l'avvio del sistema produttivo ed il momento in cui esso lavorerà a pieno regime. Considerazioni in merito saranno esplicitate nel seguente paragrafo.

4.2.2 Calcolo del tempo di setup

Il calcolo di tempo di setup corrisponde al tempo di produzione perso, ovvero al numero di pezzi che mancanti alla fine del canale, sono considerati come deviazione dall'output pianificato. L'arco temporale considera l'inizio del reset fino al normale tasso di produzione della tipologia in corso.

Consideriamo due prodotti ed evidenziamo i dati utili:

- *Tempo di setup del canale T_r [h]*
  È il passaggio di produzione dal prodotto A al prodotto B, cercando di minimizzare il tempo necessario.
- *Periodo di monitoraggio T_0 [h]*
  Include tutti i turni con produzione inferiore al normale tasso di produzione. In questo orizzonte temporale possono essere considerati i turni appena prima l'inizio del setup e subito dopo la sua fine.
  1. *Inizio monitoraggio:* iniziare a monitore T_0 all'inizio dell'ultimo turno in cui si sta producendo il prodotto 1, quando ancora si ha un elevato tasso di produzione (quantità prodotta n_1).
  2. *Fine monitoraggio:* terminare il monitoraggio di T_0 alla fine del turno in cui si raggiunge il massimo tasso di produzione della tipologia di prodotto per cui è stato fatto il setup (quantità prodotta n_2)

In entrambi i punti, nel caso in cui il T_r fosse di breve durata (<2h), il monitoraggio potrebbe iniziare e finire durante l'ultimo turno di produzione del prodotto 1 e durante il turno inziale del prodotto 2.

Quanto appena detto, può essere sintetizzato dalla seguente figura 50.

Per arrivare al calcolo del T_r, elenchiamo le seguenti variabili in gioco:

- Tr: tempo di setup del canale [h].
- N_1: quantità del prodotto 1 dall'inizio del tempo di monitoraggio T_0 fino alla fine del lotto da lavorare [u].
- N_2: quantità del prodotto 2 dall'avvio della produzione fino alla fine di T_0. Qui finisce il lotto di 2 che deve essere lavorato [u].
- n_1: teorico tasso di produzione del prodotto 1 [u/h].
- n_2: teorico tasso di produzione del prodotto 2 [u/h].
- CT_1: tempo ciclo del prodotto 1 sulla macchina collo di bottiglia.
- CT_2: tempo ciclo del prodotto 2 sulla macchina collo di bottiglia.
- T_1: tempo per esaurire il lotto del prodotto 1.
- T_2: tempo per produrre il lotto del prodotto 2.

Per calcolare i tempi di lavorazione dei lotti usiamo le seguenti equazioni:

$$T_1 = \frac{N_1}{0.9 \times n_1} \qquad (11)$$

$$T_2 = \frac{N_2}{0.9 \times n_2} \qquad (12)$$

con: $CT_1 = \frac{1}{n_1}$ e $CT_2 = \frac{1}{n_2}$.

Al denominatore è utilizzato 0.9 al fine di ridurre l'influenza distorta delle efficienze del canale. Eseguendo un'analisi dimensionale di suddetta equazione, dividiamo il numero di pezzi del lotto per il teorico tasso di produzione di questo specifico prodotto, ottenendo un valore che ha come unità di misura il tempo $(\frac{u}{\frac{u}{h}})$. Se non fosse utilizzato a

denominatore il termine 0.9, si otterrebbe un tempo di lavorazione minore rispetto a quello effettivamente necessario. Il suo utilizzo permette di inserire all'interno del calcolo eventuali inefficienze del canale di produzione.

Utilizzando T_0, T_1 e T_2, il tempo di setup del canale può essere calcolato con la seguente equazione:

$$T_r = T_0 - (T_1 + T_2) \tag{13}$$

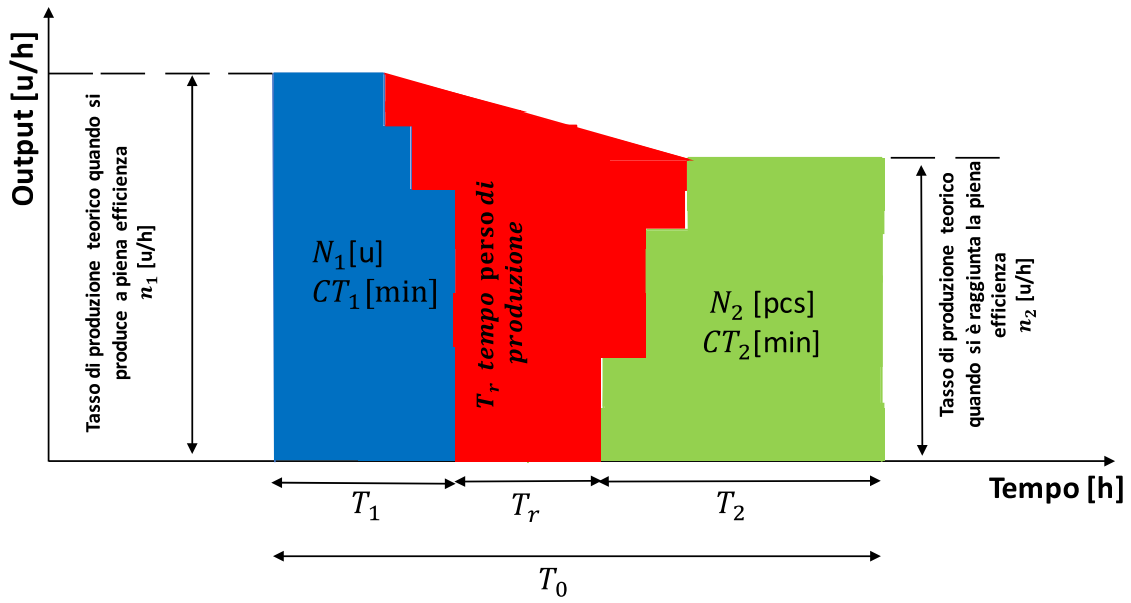


Figura 50: Rappresentazione visiva dell'arco temporale che include il tempo di setup

Ad esempio, considerando due tipologie di anelli di grandezza media e due lotti di grandezza $N_1 = 600\ u$ e $N_2 = 300\ u$, possiamo calcolare i tempi $T_1 = \frac{600}{0.9 \times 37.5} = 17.78\ h$ e $T_2 = \frac{300}{0.9 \times 37.5} = 8.89\ h$. Con $n_1 = n_2 = 37.5\ u/h$, corrispondente alla capacità della macchina collo di bottiglia (SUUC) definita precedentemente. Data la durata media di setup $T_r = 4\ h$, nel caso preso in esame l'orizzonte temporale riferito al periodo di monitoraggio è $T_0 = 30.67\ h$. Infatti:

$$T_r = T_0 - (T_1 + T_2) = 30.67 - (17.78 + 8.89) = 4\ \text{h}$$

5 Gestione del percorso degli anelli dei cuscinetti

5.1 Material code – differenti tipologie di anelli

Gli anelli sono la parte principale di una TBU; sia per quanto riguarda il volume, che per il valore aggiunto apportato. All'interno del programma MCSS sono inserite le differenti tipologie di anelli, definite attraverso un codice numerico ed uno alfa numerico. In base al tipo di lavorazione a cui sarà sottoposto l'anello, sono registrati i così detti material code. (Le lavorazioni saranno descritte nel capitolo successivo).
Di seguito la lista degli anelli con i rispettivi codici identificativi:

- Cod 209: anelli martensitici alla quale fanno parte 103 item.
- Cod 209 MI: anelli martensitici ma rettificati dal fornitore Mibex di cui fanno parte 5 item.
- Cod BAIN: anelli bainitici che vengono temprati in Svezia e Germania di cui fanno parte 27 item.
- Cod CEM: anelli cementati dai fornitori Tekfor e Soliveri in base al tipo di disegno tecnico, della quale fanno parte 47 item.
- Cod CEMMI: sono come le tipologie CEM ma sono rettificati in Mibex di cui fa parte un solo item.
- Cod HTR/TR: anelli al grezzo acquistati dal fornitore strategico Hot Roll di cui fanno parte 27 item.
- Cod HTR/TRB: come il tipo precedente ma gestiti con il SIM, di cui Hot Roll deve tenere uno stock minimo. Ne fanno parte 17 item.
- Cod MAS/TR: anelli acquistati dal fornitore strategico Massucco di cui fanno parte 58 item.
- Cod MAS/TRB: come la tipologia precedente ma gestiti attraverso il SIM. Massuco deve mantenere un determinato livello minimo di stock. Ne fanno parte 34 item.

Ogni anello è caratterizzato dai parametri che sono settati nel sistema. Tali parametri regolano il percorso necessario affinché il materiale giunga in officina pronto per il processo di rettifica.

5.2 Catena di fornitura

La figura 51 presenta il percorso necessario affinché agli anelli arrivino nello stabilimento di Villar Perosa pronti agli ultimi step prima della spedizione ai clienti finali. Accettati gli ordini dei clienti, il reparto vendite carica il fabbisogno di produzione, generando le proposte su MCSS (software utilizzato), come detto, per la gestione del flusso generale del materiale. Le proposte hanno l'intento di creare l'output necessario al soddisfacimento della domanda di mercato. Ogni proposta è specifica per ogni tipologia di anello. Nella schermata di MCSS si creeranno tutte le proposte caratterizzate dalle quantità e dalle date di consegna. Il pianificatore è tenuto a controllare giornalmente il file delle proposte, direttamente collegato al software. Il file riporta la tipologia di anello, la data in cui esso deve essere consegnato, la data entro la quale si deve emettere l'ordine ed il fornitore tenuto ad approvvigionare quella determinata tipologia. Quest'ultimi sono fornitori strategici, e si trovano a monte della catena di fornitura del reparto TBU di Villar Perosa. In particolare, Hot Roll e Massucco si occupano della forgiatura e della tornitura. La forgiatura è un processo di produzione industriale di trasformazione per deformazione plastica di pezzi metallici a sezione varia, solitamente portati ad alta temperatura e lavorati quindi con una pressa per forgiatura, che cambiano permanentemente la forma del pezzo, senza portarlo a rottura. Si tratta di lavorazioni di stampaggio a caldo dei metalli o leghe metalliche partendo da un semilavorato portato a condizioni di maggior plasticità. Segue la tornitura definita soft poiché il pezzo è fragile. Essa è ottenuta per asportazione di truciolo all'interno di un tornio, ed è definita da un moto rotatorio del pezzo ed un moto per lo più rettilineo dell'utensile. Il tagliente dell'utensile entra nel materiale del pezzo e ne stacca la parte in eccesso formando così un truciolo [10]. L'anello tornito, in base al material code assegnato, sarà spedito al secondo "livello" della catena, nella quale subirà le successive e necessarie lavorazioni.

Adesso si possono differenziare le varie tipologie di anelli analizzando la lavorazione eseguita dai diversi fornitori, una volta ricevuto l'ordine di conto lavoro da parte del pianificatore:

- Anelli martensitici Tekfor: ottenuti attraverso il trattamento di tempra. La tempra è una delle forme di trattamento termico di materiali metallici maggiormente utilizzate, con l'obiettivo di migliorare la resistenza meccanica mediante modifica della microstruttura. L'aumento di durezza, ottenuto con la tempra, è il motivo principale della maggiore resistenza contro l'usura, la trazione, la compressione e la curvatura. Per tempra si intende, in genere, il processo di trasformazione mediante austenizzazione del materiale nel quale gli acciai assumono una struttura austenitica; metastabile a temperatura ambiente. Per questo motivo, con successivo bagno di raffreddamento, tale struttura viene "congelata" [i]. Per ottenere una struttura martensitica, nel bagno di raffreddamento è necessario superare la velocità di raffreddamento critica del materiale in uso. Il bagno di raffreddamento avviene in diversi fluidi (acqua, aria, olio o gas). In seguito al bagno di raffreddamento, a seconda del tipo di impiego, il materiale rinviene: è possibile ottenere la tenacia desiderata e la riduzione della durezza [l].
- Anelli cementati Tekfor e Soliveri: aumentando il contenuto di carbonio fino a una determinata percentuale è possibile migliorare sensibilmente la durevolezza del materiale. Lo strato superficiale viene arricchito di carbonio e la parte cementata del materiale può quindi essere temprata.
- Anelli bainitici Svezia e Germania: usati per aumentare resistenza, solidità e deformazione ridotta. I pezzi vengono riscaldati alla temperatura di indurimento, quindi raffreddati in modo sufficientemente rapido e ad una temperatura superiore a quella di inizio martensite e mantenuta in temperatura per un tempo sufficiente ad ottenere la microstruttura di bainite desiderata [m]. (Il fornitore BSP esegue lo stesso tipo di trattamento ma solo per una tipologia di anello).

In seguito alle diverse lavorazioni appena descritte, gli anelli sono pronti per il passaggio successivo, nel terzo livello della catena di fornitura. Arrivati gli anelli, ed inviato l'ordine di conto lavoro, OMG può iniziare il processo di Hard turning. È un processo di

pre-rettifica, in cui le mole, rotanti ad alte velocità, rimuovono parte del materiale, formando una certa quantità di truciolo. Dopo OMG, gli anelli sono pronti per essere lavorati direttamente dall'officina TBU, attraverso i processi di rettifica, decapaggio e fosfatazione, con conseguente assemblaggio ed invio al cliente. Tutti gli anelli non assemblati sono depositati in un piccolo magazzino collocato accanto all'officina.

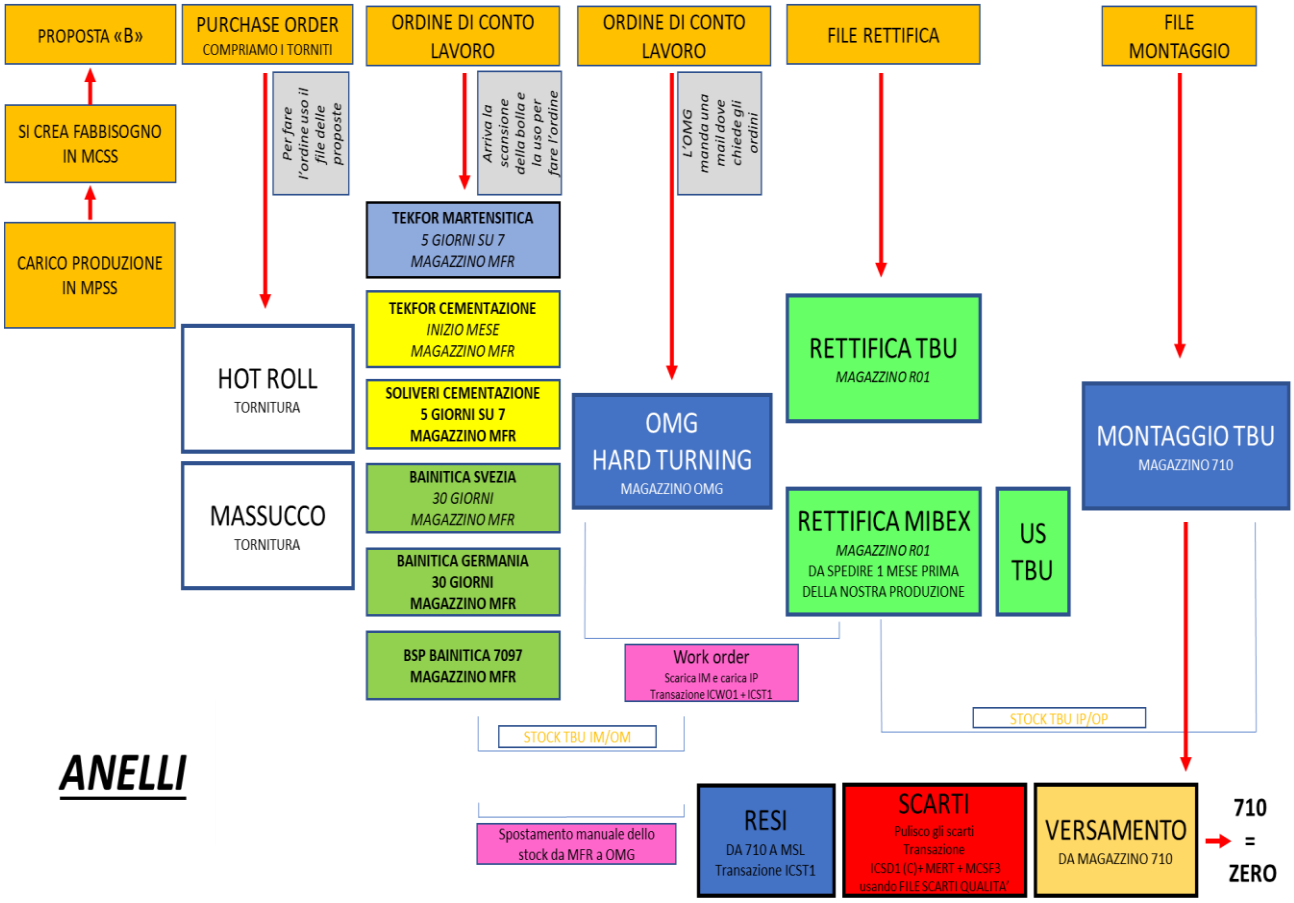


Figura 51: Ciclo produttivo degli anelli

5.3 Approvvigionamento e parametri settati nel sistema – la mansione del Supply Chain Planner

Come già anticipato, le informazioni utili riguardanti gli anelli sono memorizzate all'interno del programma MCSS. Attraverso l'utilizzo di varie funzioni di ricerca, è

possibile conoscere nel dettaglio le caratteristiche di ogni anello, come il peso precedente a determinate lavorazioni e successivo al momento in cui il materiale ha terminato il giro di lavorazione, il valore economico, i fornitori (che siano del primo o del secondo livello della catena), i parametri che sono inseriti per permettere il corretto approvvigionamento nei tempi e nelle quantità adatte ai fabbisogni. Le figure sottostanti mostrano i parametri utili alla gestione dell'approvvigionamento degli anelli. Le schermate che identificano la tipologia di anello, mostrano i parametri determinanti che definiscono i tempi con cui gli item saranno disponibili una volta emesso l'ordine. Come brevemente riportato dal paragrafo precedente, dal file delle proposte (in cui è visibile la lista delle proposte ordine che sono sul programma) è possibile, per ogni tipologia di anello corrispondente ad un determinato fabbisogno, controllare due informazioni indispensabili: la data entro il quale emettere l'ordine al fornitore strategico e la data di consegna al fornitore immediatamente a valle della catena di fornitura. Questo intervallo di tempo è determinato tramite il lead time inserito nel sistema. Tale dimensione temporale cambia in relazione al livello in cui si trova il materiale. Nella prima fase è identificabile il lead time "esterno" o lead time di fornitura, ovvero il tempo di percorrenza del canale di approvvigionamento e della distribuzione fino al secondo livello della catena (Tekfor). Per la seconda fase invece identifichiamo il lead time "interno" o lead time di produzione, che rappresenta il tempo di attraversamento dell'anello lungo il processo produttivo, in cui la data di consegna deve permettere l'inizio della rettifica in azienda. Un esempio di facile comprensione è rappresentato in figura 52, dove il lead time esterno è di 10 giorni e quello interno di 9 giorni. In aggiunta, possono essere considerati dei buffer time per prevenire la possibilità di ritardi.

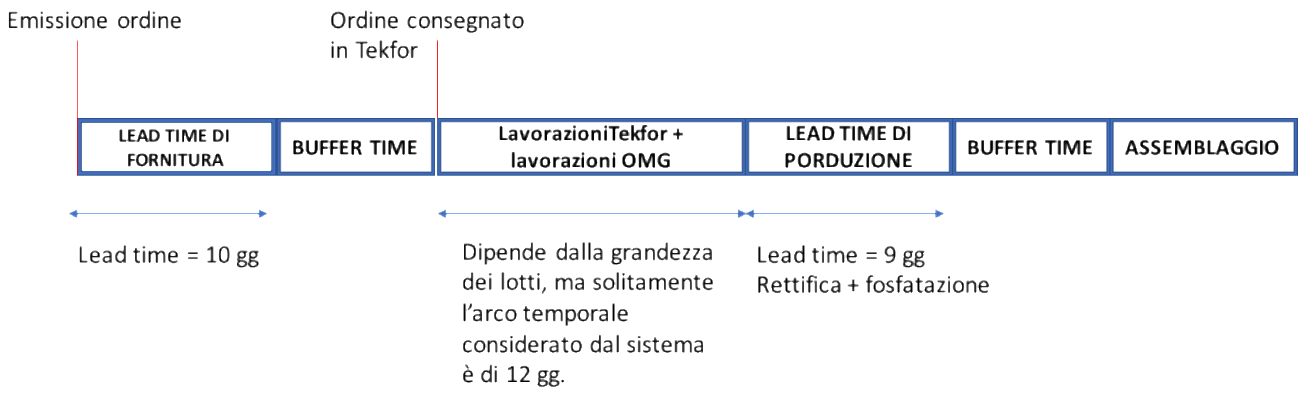


Figura 12: Mostra l'orizzonte temporale dall'emissione ordine al fornitore alla fine dell'assemblaggio dell'intero lotto.

È compito del Supply Chain planner riuscire ad avere il fabbisogno nei tempi opportuni.

Partendo da monte o da valle della catena, è possibile percorrere i vari passaggi per comprendere le tempistiche e l'organizzazione alla base dell'attività di approvvigionamento.

Per portare a termine l'analisi iniziamo dal primo vero attore della catena, ovvero il cliente. Al fine di comprendere il ragionamento alla base dell'approvvigionamento dei materiali, sono presentate le schermate indispensabili che permettono al pianificatore di inviare l'ordine al fornitore a monte della catena di fornitura in modo da avere la disponibilità fisica degli anelli nella data richiesta dal reparto Produzione. La figura 16 presenta gli ordini emessi e accettati della TBU con codice alfanumerico 1639162 B (funzione QU13) per un orizzonte temporale che ricopre i prossimi dieci mesi. In particolare, consideriamo l'ordine cliente richiesto per inizio gennaio. L'intero lotto è destinato al soddisfacimento di due linee d'ordine, per la consegna a due clienti differenti. Secondo la programmazione, per il primo cliente la quantità richiesta corrisponde a 500 unità, dove le TBU devono essere pronte da versare entro il 20/01/02, affinché sia possibile spedirle entro il 20/01/07 e arrivino al cliente nella data richiesta il 20/01/08. Stesso discorso vale per la seconda linea d'ordine per il secondo cliente con quantità richiesta di 126 unità. I clienti, in questo caso, sono collocati vicino allo stabilimento, e sarà quindi sufficiente un lead time di consegna breve (le date considerate indicano anno/mese/giorno). Quanto appena descritto è rappresentato in figura 53. Ogni schermata

sarà accompagnata dal relativo orizzonte temporale, fino alla ricostruzione dell'arco di tempo totale necessario al soddisfacimento di un ordine.

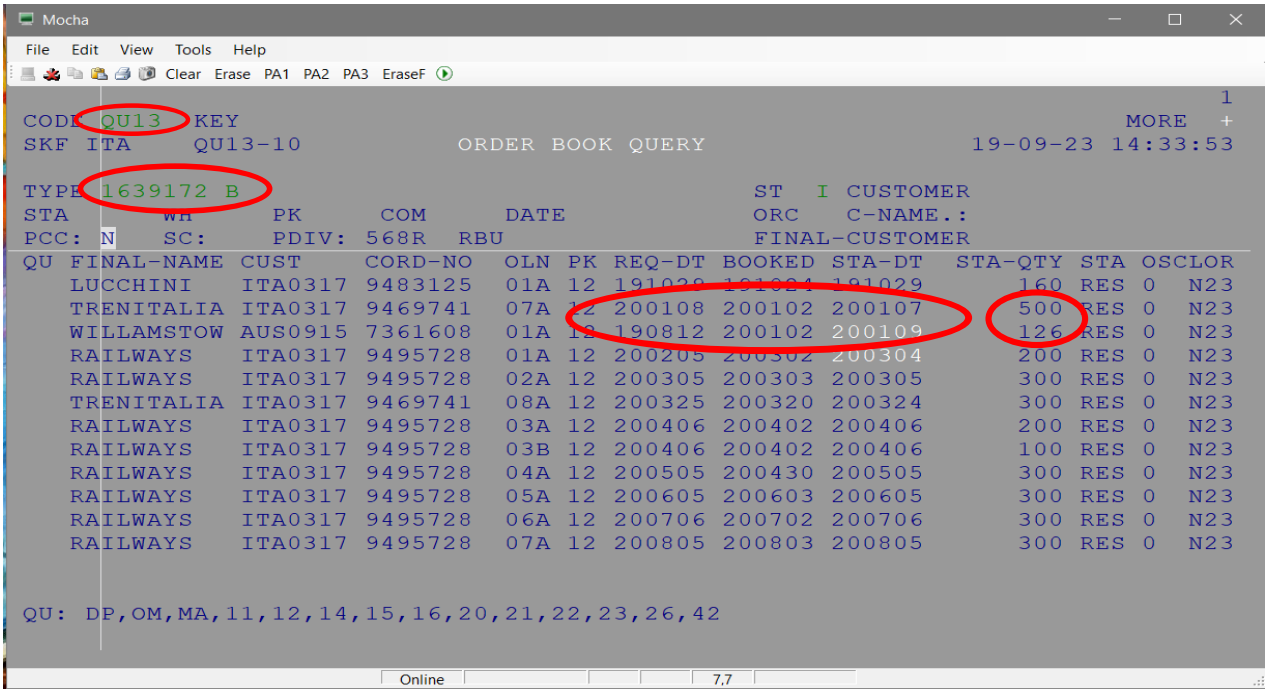


Figura 53: Schermata con funzione QU13 che mostra su ogni riga il nome del cliente, le date di versamento dal reparto TBU alla FWH, spedizione e consegna al cliente, quantità richiesta.

In figura 54, il relativo arco temporale.

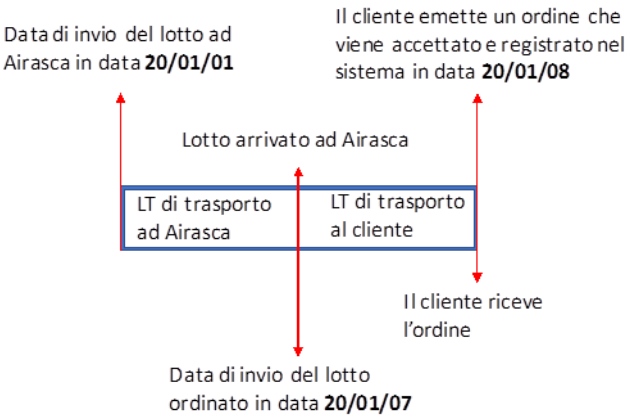


Figura54: Parte finale dell'intero orizzonte temporale. Dal trasporto al magazzino centrale di Airasca alla consegna al cliente

Per una maggiore comprensione dei processi che garantiscono un efficace ed efficiente passaggio degli anelli all'interno della catena di fornitura, occorre procedere a ritroso fino alla data di emissione ordine al primo fornitore strategico, posizionato a monte. In base alla funzione impostata nel sistema, sarà possibile disporre di diverse informazioni. In particolare, focalizzando l'attenzione su un'ulteriore funzione (QU15), come quella della seguente figura 55, si può visualizzare il fabbisogno di TBU necessario in un certo arco temporale. In particolare, dal 19/12/20 al 20/02/21, è necessario l'assemblaggio di 626 TBU, che corrispondono alla quantità totale delle linee d'ordine presentate precedentemente.

Figura 55: Schermata con funzione QU15 che mostra la quantità di TBU del tipo considerato da assemblare.

Successivamente focalizzeremo l'attenzione sulle informazioni relative alla tbu presa in considerazione.

Impostando la funzione (ECPS2) rappresentata dalla figura 56, è possibile avere la distinta base della TBU con una lista di tutti i componenti necessari, compresi gli anelli. Quest'ultimi sono descritti dal codice alfanumerico OP BT2B 641162 e IP BT1B 641162 C. Come ogni TBU (escluse due eccezioni), si monteranno due anelli interni ed un anello esterno.

```
TTPX
File  Edit  View  Tools  Help
Clear  Erase  PA1  PA2  PA3  EraseF
S00020- PF1 : PROSSIMA PAGINA        PF5 : PER RITORNARE MENU
ECPS2   MCSS    T1    SKF-INDUSTRIE   VILLAR P.-TBU              19/09/23 15:20:14
PAGE      1           PRODUCT STRUCTURE COPY/DELETE/INQUIRY
FUNCTION : I     (R=REPEAT D=DELETE I=INQUIRY)
ITEM NO.....: 1365600                DESCRIPTION: 1639172 B
ALT BOM.....: A                      CHANNEL....: 2-202          FROM ALT BOM:
AUTHORITY CD:              BF: 1     UOM: PC      MTRL CD: TBU     SRC: M   MRP: N
COPY ITEM NO:                        DESCRIPTION:
AS OF DATE..:           FROM CO:     UOM:         MTRL CD:         SRC:     MRP:

------------------------------ COMPONENTS -------------------------------------
    DESCRIPTION                          QTY PER DEL TO      EFFECT    EFFECT
    ITEM NO                SCRAP  OFF LT OBF UOM SRC U-F     DATE      NO
    HL-1637513-24                      2.0000000        IN  96/03/08
    1073307                                 PC  B    V  OUT
    OP-BT2B641162                      1.0000000        IN  98/02/04
    1081321                                 PC  M       OUT
    RD-BT2B641162                      1.0000000        IN  96/03/08
    1086033                                 PC  B       OUT
    RT-641136                         42.0000000        IN  96/03/08
    1086866                                 PC  B    V  OUT
    HM-1639172-13                      2.0000000        IN  96/03/08
    1168200                                 PC  B    V  OUT
C01683- 'X' A FIANCO DI UN COMPONENTE PER INQUIRY LIVELLO SUCCESSIVO
Online                                                    3,10
```

```
------------------------------ COMPONENTS -------------------------------------
    DESCRIPTION                          QTY PER DEL TO      EFFECT    EFFECT
    ITEM NO                SCRAP  OFF LT OBF UOM SRC U-F     DATE      NO
    IP-BT1B 641162 C                   2.0000000        IN  96/03/08
    1289191                                 PC  M       OUT
    HM-1639493 C-13                    2.0000000        IN  04/09/06
    1321104                                 PC  B       OUT
    SD-1639433 AC-25                   2.0000000        IN  98/02/04
    1393191                                 PC  B       OUT
    CJ-BT1B 641289 B                   2.0000000        IN  98/04/07
    1401942                                 PC  B    V  OUT
    63440.115130                       1.0000000        IN  04/10/18
    1409773                                 PC  B       OUT 19/04/15
C01683- 'X' A FIANCO DI UN COMPONENTE PER INQUIRY LIVELLO SUCCESSIVO
Online                                                    3,10
```

Figura 56: Schermata con funzione ECPS2 per la distinta base della TBU

Il prossimo passo è quello di porre l'interesse sulle schermate utilizzate dal pianificatore per disporre del necessario nei tempi stabiliti. Consideriamo la seguente funzione (ICSD1) della figura 57.

```
S00023- NON CI SONO ALTRE INFORMAZIONI
ICSD1   MCSS    T1    SKF-INDUSTRIE  VILLAR P.-TBU                19/09/23 15:09:24
PAGE      1           SUPPLY/DEMAND REVIEW
FUNCTION : I (I)
ITEM NO....: 1365600                DESCRIPTION: 1639172 B
LEAD TIME..:   5    SOURCE...: M    UOM......: PC                     POL QUANTITY
BUFFER TIME:   0    PART TYPE: F    MARGIN...:    0.0     ORDER.....: 7        20
INSPECT LT.:   0    PROCESS..: F    O/S CALC.: 2          SAFE STOCK: 1         0
SC.........:       191.152          APU......:          0 ITEM QTY..:           0
CHANNEL....:                       INCL COMPL: N (C/Y/N) BOOKED QTY:           0
GAUGE......:                       START DATE:           ON HAND...:           0
     ITEM NO                DESCRIPTION
S ORDER NO      CHANNEL OT ST   START    END        RATE    O/S QTY     PROJ INV
  8057424      *2-209   WO P  19/10/18 19/10/18    1936        160          160
  8060702      *2-209   WO P  19/12/17 19/12/18     530        626          786
  8066589      *2-209   WO P  20/02/18 20/02/19     530        500         1286
  8070855      *2-209   WO P  20/03/16 20/03/17    1107        600         1886
  8070854      *2-209   WO P  20/04/17 20/04/20     918        600         2486
  8074577      *2-209   WO P  20/06/15 20/06/16    1385        300         2786
  5391651501   *2-209   WO P  20/07/07 20/07/09     496        745         3531
  5392854501   *2-209   WO P  20/09/22 20/09/23     530        683         4214

DRAWING NO :
```

Figura 57: Schermata con funzione ICSD1 che mostra il codice relativo alla produzione considerata, le date di inizio assemblaggio e la quantità

In figura 58, il tempo necessario all'assemblaggio.

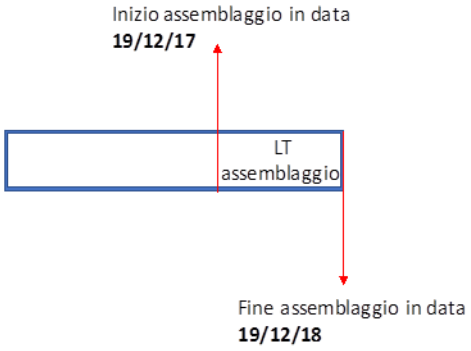


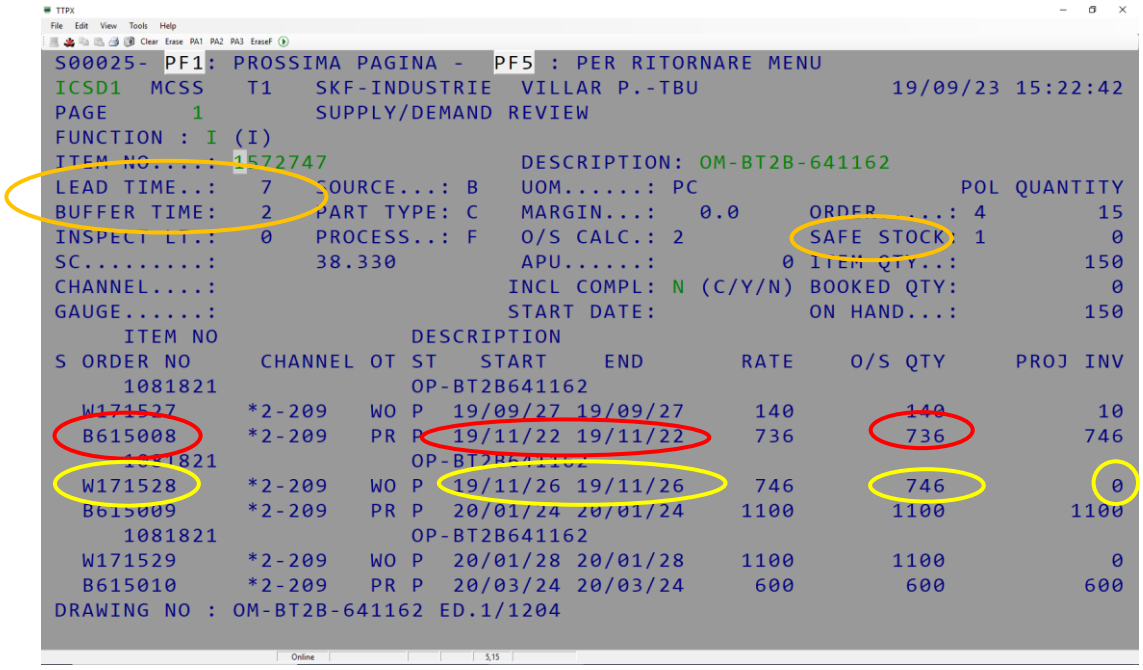
Figura 58: Intervallo di tempo che ricopre l'assemblaggio delle 626 TBU

Tra le informazioni utili consideriamo il codice numerico, che rappresenta la produzione di quella precisa TBU (8060702), la quantità corrispondente (626 unità, la stessa delle schermate precedenti), le date di inizio e di fine assemblaggio. In particolare, il pianificatore che si occupa dell'approvvigionamento degli anelli, deve accertarsi che tutte le lavorazioni necessarie, compresa rettifica e fosfatazione, siano portate a termine entro il 19/12/17. Tale obiettivo è perseguibile una volta apprese le tipologie di anelli e il

percorso che essi svolgeranno in base al tipo di trattamento a cui sono destinati. I fornitori sono tenuti a consegnare il materiale entro e non oltre la data di consegna utile.
Seguendo il ragionamento a ritroso, il pianificatore, venuto a conoscenza delle tipologie di anelli necessari al soddisfacimento dell'ordine (figura 56), utilizzerà la stessa funzione dell'ultima schermata, ma proiettata sull'anello. Per semplicità consideriamo l'anello esterno ed ogni ragionamento fatto varrà anche per l'interno.

5.4 Work order di produzione e proposta d'ordine

La figura 59, e la figura 61, mostrano le due videate di fondamentale importanza per il pianificatore, affinché possa calcolare i tempi necessari per disporre del materiale richiesto dalla produzione. Presi in considerazione il codice OM BT2B 641162 come l'anello al secondo livello di produzione, e il codice OP BT2B 641162 come l'anello in rettifica, le due videate appaiono collegate tra loro. Tenuto conto del codice in OM, inizia il ragionamento volto a comprendere il modo in cui portare in tempo gli anelli in assemblaggio. Nel nostro caso consideriamo il codice alfanumerico B615008, utile all'emissione dell'ordine al fornitore. Partendo dalle schermate precedenti, il suddetto codice B615008, rappresenta la richiesta di fabbisogno generata dal sistema. Una volta che la sales unit ha caricato la richiesta del cliente per una determinata data, genererà automaticamente la proposta d'ordine sull'item in OM. La quantità generata è al netto degli scarti dei vari fornitori. Compito del pianificatore è calcolare la quantità opportuna ed eventualmente modificarla. Per esperienza, è stata considerata una percentuale del 5% di maggiorazione: per lotti grandi la percentuale è facilmente applicabile, ma per lotti piccoli si devono fare maggiorazioni che permettano di avanzare in media una quarantina di anelli in più, senza applicare quella percentuale. In alternativa, e per velocizzare il lavoro del pianificatore, è possibile impostare per tutti gli anelli un safety stock, in modo che il sistema generi delle proposte con quantità sufficienti per sopportare il problema degli scarti.



```
S00025- PF1: PROSSIMA PAGINA -   PF5 : PER RITORNARE MENU
ICSD1  MCSS    T1    SKF-INDUSTRIE  VILLAR P.-TBU              19/09/23 15:22:42
PAGE       1         SUPPLY/DEMAND REVIEW
FUNCTION : I (I)
ITEM NO.....: 1572747              DESCRIPTION: OM-BT2B-641162
LEAD TIME..:   7    SOURCE...: B   UOM......: PC                    POL QUANTITY
BUFFER TIME:   2    PART TYPE: C   MARGIN...:   0.0     ORDER ....: 4        15
INSPECT LT.:   0    PROCESS..: F   O/S CALC.: 2         SAFE STOCK: 1         0
SC.........:        38.330         APU......:        0 ITEM QTY..:         150
CHANNEL....:                     INCL COMPL: N (C/Y/N) BOOKED QTY:           0
GAUGE......:                     START DATE:           ON HAND...:         150
     ITEM NO              DESCRIPTION
S ORDER NO     CHANNEL OT ST   START    END       RATE    O/S QTY     PROJ INV
     1081821              OP-BT2B641162
  W171527     *2-209   WO P  19/09/27 19/09/27     140        140          10
  B615008     *2-209   PR P  19/11/22 19/11/22     736        736         746
     1081821              OP-BT2B641162
  W171528     *2-209   WO P  19/11/26 19/11/26     746        746           0
  B615009     *2-209   PR P  20/01/24 20/01/24    1100       1100        1100
     1081821              OP-BT2B641162
  W171529     *2-209   WO P  20/01/28 20/01/28    1100       1100           0
  B615010     *2-209   PR P  20/03/24 20/03/24     600        600         600
DRAWING NO : OM-BT2B-641162 ED.1/1204
```

Figura 59: Schermata con i dati utili all'emissione dell'ordine tra cui: codice dell'ordine, data di consegna in Tekfor, quantità da ordinare, work order relativo all'inizio della lavorazione

In figura 60, il tempo che include l'emissione, la consegna dell'ordine e le lavorazioni in Tekfor ed OMG.

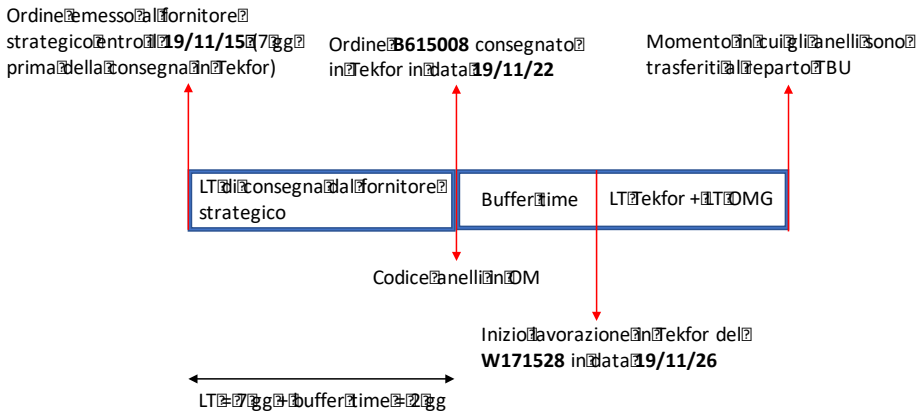


Figura 60: Intervallo di tempo calcolato dal sistema affinché l'ordine venga emesso e siano effettuate le lavorazioni di tempra e hard turning sugli anelli.

L'anello preso in considerazione è un anello temprato, consegnato e lavorato in Tekfor. Alla linea di proposta ordine considerata corrisponde la data di consegna del 19/11/22 ed

una quantità proposta di 736 unità (cerchiati in rosso). Da queste informazioni il pianificatore dovrà risalire alla quantità ed alla data utile per l'emissione dell'ordine. Consideriamo (cerchiato in giallo) il codice alfanumerico W171528, al quale sono associati una data di inizio teorica della tempra, una quantità lavorata di 746 unità ed una quantità avanzata al lordo degli scarti di 0 unità. Prima di tutto si devono conoscere i parametri che sono settati nel sistema. Le schermate mostrano i parametri da considerare (cerchiati in arancione):

- Lead time esterno di consegna: tempo che intercorre tra l'emissione dell'ordine al fornitore strategico e la consegna in Tekfor per la tempra.
- Buffer time: orizzonte temporale che prende in considerazione eventuali possibilità di ritardo nella consegna.
- Safety stock: scorta di sicurezza impostata direttamente nel sistema. Nel caso in esame, essendo impostato a zero, e sarà compito del pianificatore ordinare una quantità che al netto degli scarti permetta di avere tutto il fabbisogno a disposizione.

Quindi, avendo un lead time di 7 giorni più un buffer time di 2 giorni, il pianificatore dovrà emettere l'ordine al fornitore almeno 7 giorni prima della data di consegna al secondo livello (Tekfor nel nostro caso), entro e non oltre il 19/11/15. Se l'ordine venisse emesso prima di quella data, sarebbe possibile anticipare la consegna di quella differenza temporale. Sarà compito del fornitore accettare e confermare la consegna dell'ordine.

I tempi di lavorazione necessaria che intercorrono tra l'inizio del work order sul codice OM e l'inizio del work order sul codice in OP includono il passaggio degli anelli in tempra ed in hard turning. Sul codice in OP (figura 61), valgono le considerazioni fatte in precedenza, dove i parametri lead time e buffer time devono coprire l'orizzonte temporale che include rettifica, decapaggio, fosfatazione e assemblaggio in officina. Qui il work order ha una data di inizio impostata al 19/12/09, con la stessa quantità stabilita nella schermata con l'OM. Il periodo calcolato dal sistema, dal 19/11/22 al 19/12/09, permette di disporre del fabbisogno nei tempi necessari. Il tutto è reso più semplice dalla vicinanza di questi due fornitori al reparto tbu.

In verde è evidenziata la produzione (codice 8060702) inerente alla tipologia di TBU 1639172 B, per una quantità di 626 unità, utile a soddisfare gli ordini dei due clienti presi in considerazione. In figura 62, i tempi necessari al ciclo di lavorazione in officina.

```
S90020- PF1 : PROSSIMA PAGINA        PF5 : PER RITORNARE MENU
ICSD1  MCSS   T1   SKF-INDUSTRIE  VILLAR P.-TBU              19/09/23 15:24:59
PAGE     1         SUPPLY/DEMAND REVIEW
FUNCTION : I (I)
ITEM NO.....: 1081821              DESCRIPTION: OP-BT2B641162
LEAD TIME..:   9   SOURCE...: M    UOM......: PC                    POL QUANTITY
BUFFER TIME:   1   PART TYPE: C    MARGIN...:   0.0     ORDER.....: 4        20
INSPECT LT.:   0   PROCESS..: F    O/S CALC.: 2         SAFE STOCK: 1         0
SC.........:       46.003          APU......:         0 ITEM QTY..:          52
CHANNEL....:                      INCL COMPL: N (C/Y/N) BOOKED QTY:          0
GAUGE......:                      START DATE:           ON HAND...:          52
     ITEM NO              DESCRIPTION
S ORDER NO     CHANNEL OT ST   START    END       RATE    O/S QTY     PROJ INV
  W171527     *2-209   WO P  19/10/10 19/10/10    140        140          192
     1365600              1639172 B
  8057424     *2-209   WO P  19/10/11 19/10/11   1936        160           32
     1599281              1639569 C-01/VR5702
  8060334     *2-209   WO P  19/10/11 19/10/11   1936         24            8
     1514081              1639569 C/VR609
  8071575     *2-209   WO P  19/10/11 19/10/11   1986          8            0
  W171528     *2-209   WO P  19/12/09 19/12/09    746        746          746

DRAWING NO : OP-BT2B641162
```

```
S ORDER NO     CHANNEL OT ST   START    END       RATE    O/S QTY     PROJ INV
     1365600              1639172 B
  8060702     *2-209   WO P  19/12/10 19/12/11    530        626          120
     1598708              1639608 D-01
  8066592     *2-209   WO P  19/12/11 19/12/11    529        120            0
```

Figura 61: Schermata con i dati utili dalla tempra alla rettifica

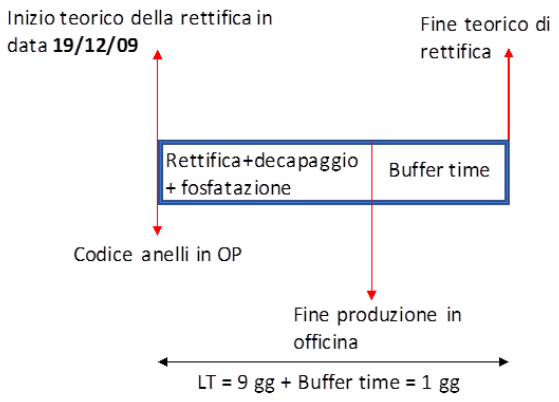


Figura 62: Intervallo di tempo necessario al completamento del ciclo produttivo in officina

Ricostruendo tutti i vari passaggi illustrati, in figura 63 è rappresentato l'orizzonte temporale totale necessario al soddisfacimento di un ordine di un cliente.

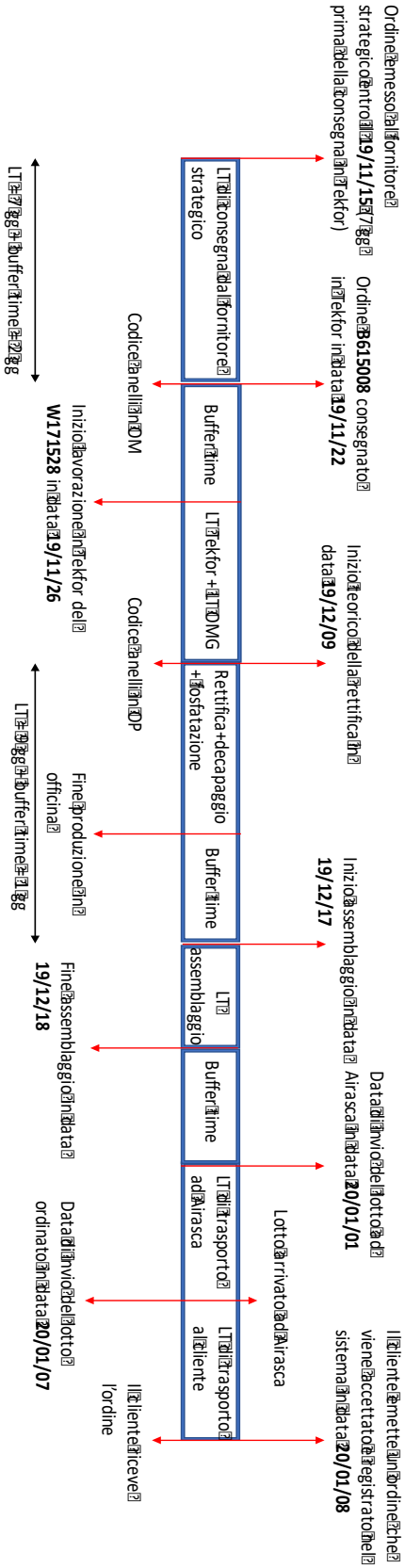


Figura 63: Orizzonte temporale di approvvigionamento lungo l'intera catena di fornitura. Dal primo fornitore fino al cliente finale.

6 Prestazioni del sistema di produzione

Focalizziamo l'attenzione sulle voci che meglio descrivono le prestazioni del sistema di produzione descritto nei capitoli precedenti.

6.1 I principali dati che descrivono l'andamento aziendale

Diversi file sono utili al controllo dell'andamento dello stabilimento. Ogni giorno è aggiornato un file excel riferito alle prestazioni produttive, che permette di tracciare l'andamento prestazionale del sistema di produzione e del reparto Supply Chain. Esse sono direttamente collegate tra loro ed a titolo informativo, in tabella 6 sono rappresentati i valori nel mese di settembre 2019.

Tabella 6: Risultati aziendali del mese di settembre. Le diverse voci indicano il valore creato dal reparto produzione giornalmente, numero di TBU prodotte, di componenti utilizzati e mancate promesse ai clienti.

		DELIVERIES					SHIPMENTS	RFP	BROKEN PROMISES		AVAILABILITY FAILURES	
PROG	DAYS	TBUs	Comp	TBU	Semifinished Rings	TOTAL						
DAYS	MONTH	PS	PS	Pcs	PS	PS	PS	PS	mese	YTD anno	mese	YTD anno
1	2	68.495	32.971	294	57.825	159.291	120.000	1.014.000	0,0%	3,3%	0,0%	4,5%
2	3	65.044	-	256	83.924	148.968	283.000	1.135.107	0,0%		0,0%	
3	4	197.074	2.561	739	-51.302	148.333	178.000	994.000	0,0%		0,0%	
4	5	192.567	14.424	791	13.629	220.620	30.000	1.141.000	0,0%		0,0%	
5	6	196.455	20.159	835	29.223	245.837	120.000	1.147.000	4,3%		0,0%	
6	9	208.426	7.879	888	-43.469	172.836	291.000	974.394	4,3%		0,0%	
7	10	191.589	12.564	716	-14.690	189.463	205.000	908.993	4,0%		0,0%	
8	11	186.202	6.303	618	31.428	223.933	132.000	980.344	4,0%		0,0%	
9	12	155.742	-	593	-56.524	99.218	383.000	NA	6,6%		0,0%	
10	13	154.160	13.050	563	-24.329	142.881	151.000	736.480	5,0%		3,2%	
11	16	210.972	22.134	1.006	-56.398	176.708	196.000	637.580	5,0%		3,2%	
12	17	243.102	14.345	827	-41.318	216.129	29.000	NA	4,3%	3,4%	2,2%	4,4%
13	18	169.859	1.986	668	-24.997	146.848	80.000	927.110	4,6%		1,1%	
14	19	184.943	5.112	600	-10.527	179.528	68.000	1.275.000	5,7%		1,1%	
15	20	125.189	16.670	420	39.424	181.283	441.000	1.027.698	5,7%		1,1%	
16	23	156.084	8.132	516	-15.985	148.231	216.000	1.006.515	6,6%		0,8%	
17	24	100.098	30.668	331	-35.270	95.496	251.000	915.000	5,7%		0,8%	
18	25	150.920	3.490	472	27.667	182.077	474.000	NA	5,7%		0,8%	
19	26	186.591	1.908	664	-31.731	156.768	204.000	572.071	5,8%		0,8%	
20	27	180.282	10.643	839	112.823	303.748	151.000	536.924	6,3%		0,8%	
21	30	69.359	6.576	291	-20.681	55.254	162.000	460.684	6,3%	3,6%	0,8%	4,1%
		3.393.153	231.575	12.927	-31.278	3.593.450	4.165.000					

I dati si riferiscono ai giorni lavorativi del mese e sono utilizzati al fine di tenere traccia delle performance della produzione e della effettiva capacità del dipartimento di servire la domanda di mercato.

Ogni colonna ha una sua utilità:

1. TBUs: valore del versato; ovvero di tutto quello che ogni mattina è caricato sul camion ed inviato al magazzino di Airasca come prodotto finito. Corrispondono al valore delle deliveries.
2. Comp: stesso discorso di prima ma riferito ai componenti ausiliari delle tbu.
3. TBU: numero delle tbu prodotte ed inviate quel giorno. Ad esempio, nel primo giorno del mese, il valore di 68495 euro corrisponde a 294 tbu e ne indica il costo totale.
4. Semifinished rings: valore totale degli anelli integrati nel valore finale delle tbu. Quando OMG consegna gli anelli pronti per la rettifica, crea un valore aggiunto positivo che viene consumato quando gli anelli sono montati nelle tbu. Il valore di ogni cella è il saldo dei due movimenti. Naturalmente quando il valore è negativo implica il fatto che sia stato montato un valore maggiore rispetto a ciò che è stato ricevuto dal fornitore.
5. TOTAL: tutto quello che è stato prodotto, che comprende sia ciò che è spedito sia ciò che è pronto per essere spedito successivamente.
6. Shipments: parte del valore stock ad Airasca spedito al cliente finale.
7. RFP (Ready for Packing): valore di ciò che è pronto alla spedizione e che verrà presto spedito.
8. Broken promises: quando è accettata una linea d'ordine (ordine confermato ed inserito a sistema, visibile con la funzione Q13 della figura presentata nel capitolo precedente) si promette di spedire entro una certa data. Se questo non avviene allora si fa una broken. La percentuale è calcolata sul totale di linee spedite. Ad esempio, se si prende la percentuale dell'ultimo giorno del mese, il 6.3% equivale a 21/335, ovvero su 335 linee da spedire in quel mese, 21 sono partite dopo la data che era stata promessa al cliente. A fianco è anche indicata la percentuale media dall'inizio dell'anno fino alla fine del mese preso in considerazione.
9. Availability: calcolate sugli item a stock. Una serie di item sono segnalati come item da tenere a stock. Se ad esempio un domani un cliente inserisse una linea

d'ordine da 50 pezzi, non disponibili per vari motivi, allora si fa un availability. Queste non sono mai caricate sul magazzino di Airasca poiché in quel magazzino ci sono gli item per la quale è stato concordato di tenere una certa quantità a stock. Ad esempio, esiste una TBU che nei sistemi non è settata come stock item ma come un make to order, mentre nel magazzino di Pune in India tale TBU è settata come stock item. Se qualcuno inserisse un ordine direttamente al reparto TBU di Villar Perosa, non sarà fatta availability, ma nel caso in cui l'ordine fosse emesso in India e in magazzino non ci fosse disponibilità, l'availability sarà registrata ugualmente al reparto TBU di Villar poiché è un item prodotto lì. Per evitare ciò, l'unica soluzione sarebbe ricevere in tempo da Pune l'ordine, in modo da riuscire a produrre in tempo il fabbisogno ed inviarlo in quel magazzino. Nel mese di settembre, lo 0.8% di availability corrisponde ad 1/132, ovvero una linea d'ordine mancata (India) su 132 linee.

I dati aggregati di ogni voce sono confrontati con quelli decisi nel forecast determinato nel business plan e con lo stesso mese dell'anno precedente. Per ogni mese dell'anno è deciso quanto si verserà di TBU, di parti sciolte (voce comp), quanti pezzi saranno fatti ogni mese e quanto shipment sarà eseguito; tutto in base all'orderbook ed ai lead time di consegna che si hanno.

In tabella 7 il *forecast* relativo al mese di settembre.

Tabella 7: In rosso la previsione di ciò che ci si prefigge di produrre in officina nel mese preso in considerazione (settembre 2019).

	DELIVERIES					SHIPMENTS
	TBUs	Comp	TBU	Semifinished Rings	TOTAL	
	PS	PS	Pcs	PS	PS	PS
risultati del mese	3.393.153	231.575	12.927	-31.278	3.593.450	4.165.000
FCST 2019	3.229.000	180.000	11.950		3.409.000	3.870.000
Settembre 2018 PS19	3.143.939	177.213	10.161	28.848	3.350.000	3.366.000

È evidente come il valore di ciò che è stato effettivamente versato sia maggiore di ciò che era stato stabilito nel forecast (4.165.000 > 3.870.000). Stesso discorso per le altre voci. Tale fattore indica l'andamento crescente della domanda media mensile (il suo andamento degli ultimi tre anni sarà mostrato successivamente). Per quanto riguarda l'andamento dello stock e del portafoglio ordini, prendiamo in considerazione i dati in tabella 8. Anche qui il mese è suddiviso nei 21 giorni lavorativi ed i dati si riferiscono al valore complessivo di ogni singolo giorno. Le altre colonne si riferiscono a:

1. Orderbook: ottenuto da un sistema online che riferisce quanti ordini siano inseriti sulla fabbrica. Notiamo che a fine settembre si aveva un valore di 39.282.000 € di ordini già inseriti dalle sales unit; ovvero si prende il valore di ogni tbu ordinata e si esegue una somma.
2. Stock finished: valore di tutto ciò che è a stock ad Airasca. Il valore dello shipment (ciò che sta partendo) e dell'RFP (ciò che è pronto per essere spedito, è sottratto da quel valore di stock).
3. Manuf: tutti i componenti che si hanno a stock ad Airasca. Solitamente è un valore che sale fino a metà mese poiché si tratta degli ordini ai fornitori arrivati in magazzino, ma scenderà con l'avanzamento dell'assemblaggio delle TBU. Quindi salirà lo stock del finito e scenderà quello dei componenti.
4. Others: sono gli stock dei componenti indiretti di supplemento alla produzione.
5. Total stock: è il valore totale e si ottiene con la somma delle precedenti voci.

Tabella 8: Andamento dell'orderbook e dello stock di settembre. Il primo permette di tracciare l'andamento del portafoglio ordini, il secondo invece, l'andamento del reparto Supply Chain.

PROG DAYS	DAYS MONTH	Orderbook PS (K€)	Stock Finished PS (K€)	Manuf SC (K€)	Others SC (K€)	Total Stock K€
fmp		38.828	3.646	3.839	261	7.746
1	2	38.930	3.655	3.608	260	7.523
2	3	38.999	3.438	3.782	262	7.482
3	4	38.866	3.446	3.683	261	7.390
4	5	39.190	3.622	3.816	259	7.697
5	6	40.667	3.719	3.822	261	7.802
6	9	40.421	3.635	3.750	273	7.658
7	10	40.205	3.635	3.905	274	7.814
8	11	40.170	3.695	3.842	273	7.810
9	12	39.789	3.467	3.785	272	7.524
10	13	39.677	3.466	3.758	269	7.493
11	16	39.801	3.506	3.997	272	7.775
12	17	40.177	3.731	3.902	272	7.905
13	18	40.111	3.818	3.803	272	7.893
14	19	40.050	3.949	3.756	264	7.969
15	20	39.811	3.650	3.773	264	7.687
16	23	39.722	3.590	3.741	264	7.595
17	24	39.797	3.469	3.708	268	7.445
18	25	39.543	3.129	3.635	269	7.033
19	26	39.503	3.150	3.565	268	6.983
20	27	39.432	3.188	3.603	269	7.060
21	30	39.282	3.102	3.601	277	6.980

Anche in questo caso si possono confrontare i dati con il forecast del business plan e con il mese dell'anno precedente (tabella 9).

Tabella 9: Previsione dello stock (in rosso) a confronto con l'effettivo del mese di settembre 2019.

	Orderbook PS (K€)	Stock Finished PS (K€)	Manuf SC (K€)	Others SC (K€)	Total Stock K€
risultati del mese	39.282	3.192	3.601	277	7.070
FCST 2019		3.185	3.720	261	7.166
Settembre 2018 PS19	29.272	2.388	3.659	278	6.325

Come mostrato era stato preventivato uno stock totale di 7.166.000 € ma il valore effettivo è minore. Naturalmente è importante stare vicini al valore del forecast, anche se è sempre meglio ottenere valori leggermente al di sotto. Rispetto a settembre dell'anno precedente il valore è molto maggiore. Questo è causato dall'aumento continuo della domanda e dall'incremento inevitabile del lead time di consegna. Infatti si ha una differenza sostanziale nel valore dell'orderbook che da 29.272.000 € è arrivato fino a 39.282.000 €.

6.2 Studio della domanda negli ultimi tre anni

Come anticipato, l'andamento crescente della domanda negli ultimi anni ha generato un aumento del lead time di consegna da quando l'ordine è emesso a quando è inviato al cliente. Questo aumento è visibile nelle seguenti paragrafi, dove sono presentati i valori in aggregato del numero di TBU prodotte ogni mese per ogni anno. Prendiamo un orizzonte temporale che ricopre gli anni 2017, 2018, fino a settembre del 2019. L'analisi sui differenti anni può essere svolta su più fronti che riguardano il valore totale delle parti prodotte, il numero di TBU prodotte ed il valore di orderbook di ogni mese.

6.2.1 Costo delle parti prodotte

Dalla seguente tabella 10, è possibile vedere l'andamento dei costi di produzione delle tbu e quindi del loro valore una volta che il prodotto è assemblato e spedito al magazzino centrale di Airasca.

Tabella 10: Valore delle parti prodotte per ogni mese

	DELIVERY TOTALI 2019	DELIVERY TOTALI 2018	DELIVERY TOTALI 2017
MESE	PS	PS	PS
Gennaio	3.553.088	3.456.000	3.028.000
Febbraio	3.408.584	3.270.000	3.007.000
Marzo	3.306.331	3.549.000	3.349.000
Aprile	3.257.215	3.170.000	2.784.000
Maggio	3.499.415	3.587.000	3.409.000
Giugno	3.035.337	3.305.000	3.199.000
Luglio	3.626.118	3.521.000	3.208.000
Agosto	1.741.339	1.500.000	1.620.000
Settembre	3.593.450	3.350.000	3.199.000
Ottobre		3.620.000	3.356.000
Novembre		3.406.000	3.255.000
Dicembre		2.782.000	2.411.000

Il valore di tutte le parti prodotte è il totale dei prodotti preparati e spediti. Esso comprende il valore delle TBU, delle parti sciolte e del valore aggiunto degli anelli. L'andamento delle delivery è facilmente comprensibile grazie alla seguente figura 64.

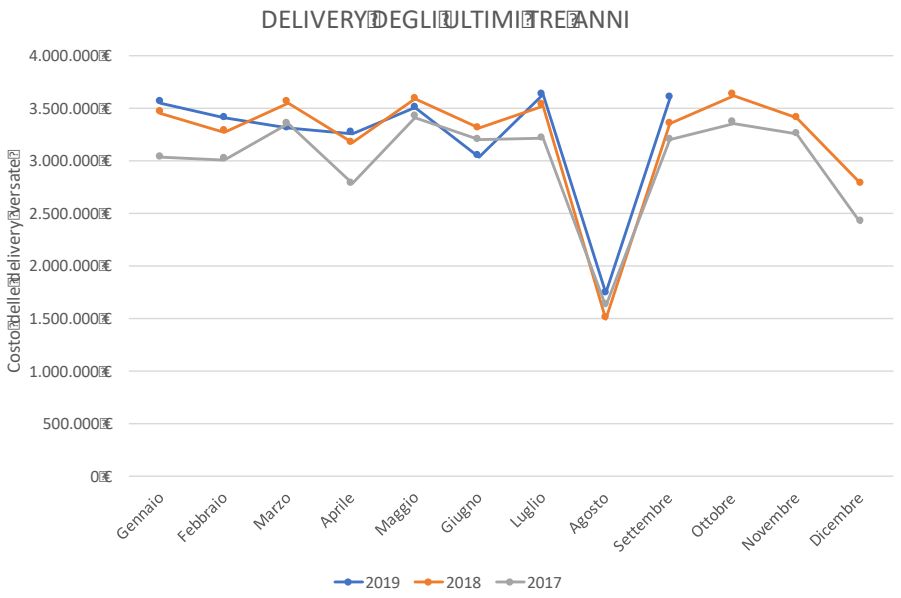


Figura 64: Andamento delle delivery. I punti di minimo coincidono con il mese di Agosto, in cui lo stabilimento chiude.

È possibile vedere come dal punto di vista del valore creato, nel 2019 si sia ottenuta, fino al mese di settembre rispetto al 2018, una crescita del solo 1.1% e rispetto al 2017 un aumento di poco più dell'8%. Naturalmente questi dati sono molto influenzabili dalle possibili problematiche riscontrate che possono essere riscontrate ogni mese; come ad esempio a giugno 2019 in cui il punto di minimo rispetto agli altri anni è stato causato da un guasto nella linea di rettifica che ha bloccato la produzione per diversi giorni.

6.2.2 Numero di TBU prodotte

Dal punto di vista delle TBU prodotte ogni mese, vediamo i valori in tabella 11 (considerando sempre i dati fino a settembre).

Tabella 11: Numero di TBU prodotte ogni mese

	DELIVERY TBU 2019	DELIVERY TBU 2018	DELIVERY TBU 2017
MESI	pcs	pcs	pcs
Gennaio	11.488	10.979	10.117
Febbraio	11.347	10.595	9.915
Marzo	11.298	12.395	10.717
Aprile	11.472	10.403	9.267
Maggio	11.707	10.594	10.608
Giugno	9.562	11.302	10.178
Luglio	11.245	11.631	10.162
Agosto	5.383	4.305	5.382
Settembre	12.927	10.161	10.379
Ottobre		12.182	11.145
Novembre		9.814	10.461
Dicembre		8.368	7.348

Anche in questo caso è facile vedere la crescita produttiva in numero di TBU assemblate mensilmente. A parte il minimo di giugno causato dal guasto, nel 2019 si è ottenuta una crescita mensile che si aggira tra il 4% ed il 27% rispetto al 2018, mentre tra il 10% ed il 25 % rispetto al 2017. L'andamento è reso più chiaro dalla figura 65.

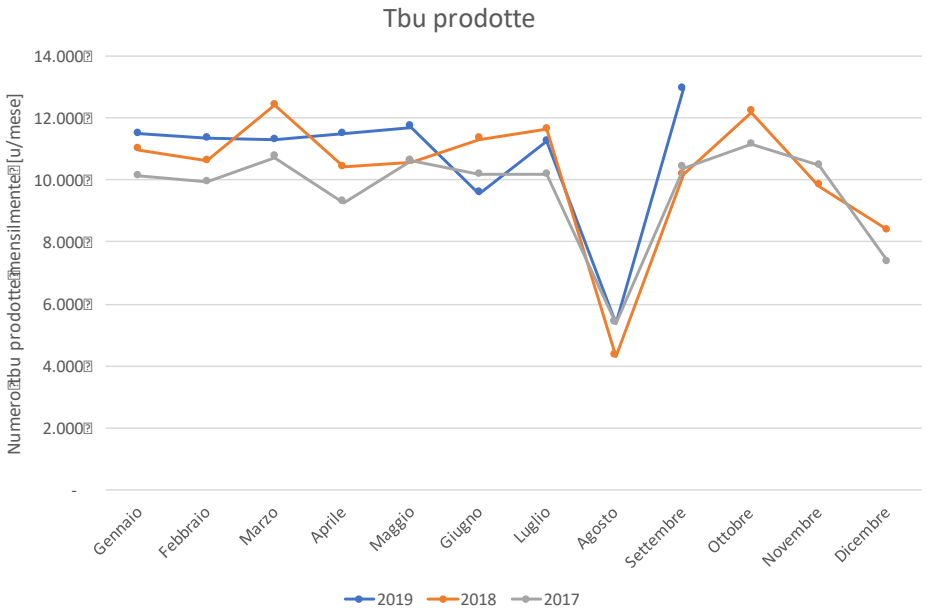


Figura 65: Andamento del numero di TBU prodotte raffigurante la crescita nel 2019 del numero di TBU completate ogni mese dal canale di produzione.

6.2.3 Valore dell'orderbook

Terminiamo l'analisi della crescita della domanda attraverso i dati riguardanti l'orderbook negli stessi anni. I valori sono presentati in tabella 12.

Tabella 12: Valore dell'orderbook per ogni mese

	Orderbook 2019	Orderbook 2018	Orderbook 2017
MESE	**PS (K€)**	**PS (K€)**	**PS (K€)**
Gennaio	28.735	27.261	27.264
Febbraio	29.084	27.585	27.393
Marzo	29.860	24.920	26.272
Aprile	30.784	25.549	25.021
Maggio	32.394	26.666	24.753
Giugno	34.350	26.086	28.633
Luglio	37.299	27.454	27.459
Agosto	38.828	29.172	29.652
Settembre	39.282	29.272	29.946
Ottobre		30.010	29.582
Novembre		29.883	29.708
Dicembre		28.968	27.909

Confrontando i valori di ogni mese, è evidente l'incremento progressivo del valore degli ordini caricati dalle sales unit. Rispetto al 2018 ed al 2017 si è registrata una crescita che va dal 5.13% del mese di gennaio al 25.5% del mese di settembre, con una differenza di ben 10000 K€. Anche in questo caso l'andamento è rappresentato in figura 66.

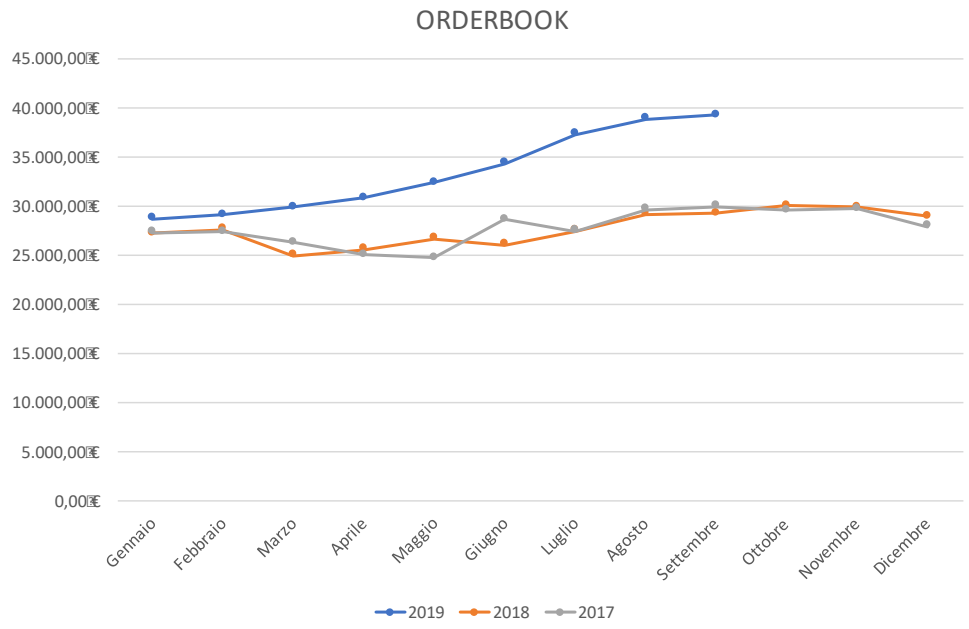


Figura 66: Andamento dell'orderbook

Dalle figure appena presentate è possibile capire il perché i lead time di consegna si siano allungati, grazie all'andamento crescente della domanda di mercato. L'aumento annuale della domanda satura la capacità produttiva del canale costringendo l'accettazione dei nuovi ordini su un orizzonte temporale sempre maggiore.

6.3 Indicatore di prestazione nella produzione di cuscinetti – OEE

Le misurazioni di performance aziendali permettono di definire possibili alternative e adottare differenti criteri decisionali [11]. L'OEE (Overall Equipment Effectiveness) letteralmente "efficienza generale dell'impianto", è un indicatore globale di efficienza delle risorse produttive. È un indicatore percentuale che rappresenta il rendimento globale di una risorsa produttiva o di un insieme di risorse, siano esse umane o tecniche, durante il tempo nel quale queste sono disponibili a produrre. L'OEE permette di individuare le inefficienze che causano minore produttività: dalla mancanza di materiali alla cattiva pianificazione, dai setup ai tempi morti, dalle micro-fermate ai guasti, dalle rilavorazioni alle non conformità. L'utilizzo di tale indicatore permette di concentrarsi sull'effettivo

andamento del sistema produttivo concentrando il focus sulle perdite che causano inefficienza.
L'OEE è il prodotto di tre indicatori percentuali che rappresentano le tre componenti principali dell'indicatore ed è calcolato mensilmente. Esso è descritto dalla seguente equazione [n]:

$$OEE = A \times P \times Q \tag{14}$$

I tre valori descritti nell'equazione sono:

- A = availability (disponibilità): rappresenta la percentuale di ore pianificate nelle quali le operazioni sono disponibili al funzionamento.
- P = performance (prestazione o rendimento): è la prestazione delle macchine alla massima velocità (corrisponde alla velocità effettiva rispetto alla velocità nominale).
- Q = quality: percentuale di parti conformi rispetto al totale delle parti prodotte.

L'OEE è quindi un numero percentuale che tiene conto delle tre principali categorie di perdite produttive:

- Guasti, setup e attrezzaggi;
- Riduzione di velocità e micro-fermate;
- Scarti, rilavorazioni e perdite di resa all'avviamento.

Alcuni dati forniti mensilmente permettono una visione d'insieme sull'andamento aziendale dal punto di vista della produzione. L'analisi parte confrontando le ore effettive di lavoro con le ore totali a disposizione. In particolare, è possibile tracciare i seguenti orizzonti temporali:

- Ore da calendario: tutte le ore disponibili in un anno.
- Ore pianificate/schedulate: le ore da calendario senza considerare le ferie legali concordate e le pause pranzo.

- Ore di disponibilità: comprendono le ore schedulate escludendo le perdite di disponibilità come ad esempio arresti non pianificati, guasti e materiale mancante.
- Ore performate: ore totali di disponibilità del sistema produttivo escluse le perdite di prestazione come ad esempio le perdite di velocità ed arresti di breve tempo.
- Ore effettive: ore performate escluse le perdite di qualità come scarti e rilavorazioni.

In figura 67 sono presentati tutti i dati disponibili mensilmente.

Numero di TBU	
Valore a PS della Prod. (T€)	
Valore a PS TBU (T€)	
Valore a PS Spare Parts (T€)	
Ps medio a TBU (€)	
Daily Production Pcs	
Daily equivalent Production Pcs	
Number of equiv. W days	
Working days	
PLANNED HOURS	
SCHEDULED HOURS - ACT.	
DOWNTIME - ACT.	perdite disponibilità
RESETTING HOUR - ACT.	
TOOLING LOSSES - ACT.	
MISSING RESOURCES - ACT.	
PROCESS ADJUST (Quality, Others) - ACT. CPM	
DATA CONSISTENCY CHECH (on effective Hours)	
PROCESS ADJUST (Quality, Others) - ACT.	
SPEED LOSSES AND MINOR STOPS - ACT.	ORE CALCOLATE NEI 5 ORIZZONTI TEMPORALI
SCRAP & REWORK Hrs - ACT.	
EFFECTIVE HOURS - ACT.	
Nr. OF RESETS	
Nr. OF PRODUCTION CHANNELS	
A P Q HOURS	
CALENDAR HOURS	
INSTALLED HOURS	
AVAILABILITY HOURS	
PERFORMANCE HOURS	
EFFECTIVE HOURS	
EFFECTIVENESS RATIOS	
AVAILABILITY RATE - ACT.	DATI % PER IL CALCOLO DELL'OEE
PERFORMANCE RATE - ACT.	
QUALITY RATE - ACT.	
OEE - ACT.	
LOADING EFFECTIVINESS	
CAPACITY UTILIZATION (TEEP) - ACT.	
LOSSES in %	
DOWN TIME LOSSES - ACT	% DELLE 7 CATEGORIE SI PERDITE
RESETTING LOSSES - ACT	
TOOLING LOSSES - ACT.	
MISSING RESOURCES LOSSES - ACT	
PROCESS ADJUST (Quality, Others) LOSSES - ACT	
SPEED LOSSES AND MINOR STOPS LOSSES - ACT	
SCRAP & REWORK LOSSES - ACT	

Figura 67: Lista delle voci che descrivono le prestazioni del canale produttivo. Qui sono riportate i dati riguardanti le perdite del canale di produzione in ore, riportate anche in termini percentuali.

Graficamente le cinque categorie possono essere rappresentate dalla figura 68. Attraverso la suddivisione del tempo da calendario, consideriamo la differenza tra le ore totali e le ore pianificate come una perdita che influisce negativamente sul rendimento produttivo. Il rapporto tra le ore pianificate e le ore del calendario fornisce un'indicazione di quanto bene è stato caricato il canale, descrivendo quanto efficacemente si utilizza la capacità per soddisfare la domanda dei clienti.

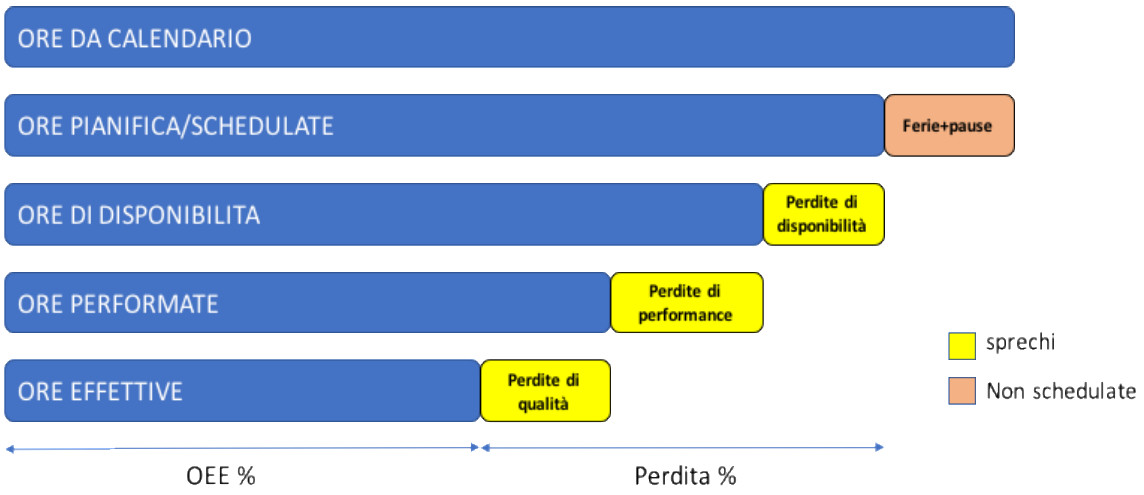


Figura 68: Le cinque categorie

1. *Ore da calendario:*

   Necessarie per il calcolo dell'utilizzo della capacità produttiva attraverso la seguente equazione:

$$utilizzo\ cap = \frac{ore\ effettive}{ore\ calendario} \qquad (15)$$

   Esse considerano il numero totale di ore in un determinato periodo. In questo caso si riferisce all'intero anno. Si calcola con l'equazione:

$$ore\ calendario = \sum ore\ lavorative\ in\ un\ anno\ \ [h] \qquad (16)$$

2. *Ore schedulate:*

   Sono tutte le ore in cui il canale deve essere funzionante al fine di soddisfare gli ordini dei clienti. In particolare, rappresentano le ore che il canale deve eseguire in conformità con l'ultimo piano di produzione stabilito, espresso in ore. Di fondamentale importanza è il tempo ciclo del canale per il calcolo delle ore necessarie. Il reparto Produzione e Supply Chain si occupano di concordare le ore necessarie al soddisfacimento della domanda dei clienti e nel caso in cui si dovessero avere a disposizione delle ore libere che non servono alla produzione, si dovrebbero sfruttare per apportare eventuali miglioramenti e quindi utilizzare quel tempo in modo proficuo senza che abbiano un impatto negativo sull'OEE. Nel nostro caso sono uguali alle ore pianificate, anche se quest'ultime sono semplicemente le ore da calendario al netto dei periodi di ferie e festività. Questi sono gli unici periodi in cui le macchine sono spente e la produzione ferma.

3. *Ore effettive:*

   È necessario al calcolo dell'OEE ed indica il tempo utile per avere una certa quantità di prodotti pronti per essere spediti al cliente finale. Sono due i modi per calcolarle:

   - la prima è il rapporto tra il numero di pezzi buoni ed il numero totale di pezzi prodotti, moltiplicato per le ore performate secondo l'equazione:

$$ore\ effettive = \frac{pezzi\ approvati}{pezzi\ totali} \times ore\ performate\ [h] \qquad (17)$$

   - il secondo modo è moltiplicare il numero di pezzi approvati per il tempo ciclo della macchina collo di bottiglia, con equazione:

$$ore\ effettive = pezzi\ approvati \times tempo\ ciclo\ [h] \qquad (18)$$

   Il numero di pezzi è contato all'uscita del canale, prima che siano inviati al cliente.

6.3.1 Perdite nel canale di produzione

Per rendere possibile il calcolo dell'indicatore, racchiudiamo le perdite in 7 grandi categorie (ultime sette voci rappresentate in figura 55) [12]:

1. Down time losses: tempo di interruzione del flusso di produzione a causa di un guasto o di un'attività di manutenzione a breve termine su qualsiasi apparecchiatura presente nel ciclo produttivo.
2. Resetting losses: tempo perso dovuto al ripristino della famiglia di materiali in base alla tipologia successiva stabilita nella scaletta di rettifica. Parte della perdita include l'ispezione prima dell'inizio della lavorazione ed il tempo di attesa una volta che le macchine sono riavviate.
3. Tooling losses: perdita che influisce sulla disponibilità dell'attrezzatura e sull'arresto del flusso a causa di:

    - Cambio degli utensili a causa della fine della loro vita utile.
    - Qualità degli utensili.

4. Missing resources losses: l'impatto sull'output del flusso dovuto alla mancanza di risorse come materiale o persone. Considera anche l'attesa del supporto; ad esempio in attesa di un'ispezione o in attesa di istruzioni.
5. Process adjust losses: ridotto rendimento del flusso a causa di un funzionamento non ottimale del processo che porta all'arresto delle macchine. Molto spesso gli eventi registrati in questa perdita sono dovuti a perdite degli utensili, ad esempio quando dopo un paio di riaggiustamenti l'operatore scopre che una parte meccanica non è in buone condizioni ed è obbligato al cambio dell'utensile. Consideriamo quindi queste perdite di adeguamento come una perdita di prestazione, poiché si era in condizioni di prestazione inferiori rispetto a quelle in cui il sistema dovrebbe lavorare.
6. Speed losses and minor stops losses: perdite causate da deviazioni nella velocità di produzione. Spesso sono problemi che non sono classificabili con nessuna delle altre categorie.

7. Scrap and rework losses: perdita dovuta a scarti e rilavorazioni che possono presentarsi su qualsiasi punto del flusso produttivo.

Le perdite percentuali si trovano con il rapporto tra le ore perse e le ore schedulate.
Questo per ognuna delle sette categorie.

6.3.2 Calcolo di A, P, Q

Calcolando correttamente le voci descritte precedentemente, è possibile trovare l'effettivo rendimento del canale di produzione. Per quanto riguarda i valori percentuali delle perdite delle sette categorie, basta dividere il valore in ore di ogni categoria per il totale delle ore pianificate/schedulate. Per i termini utili al calcolo dell'indicatore, si calcolano i tassi di disponibilità A, performance P, qualità Q. Questo è possibile considerando i dati presenti nel secondo blocco di figura 61, dove si identificano le ore dei cinque orizzonti temporali descritti.

Per quanto riguarda i tassi A, P, Q, si possono ricavare nel seguente modo:

1. *Availability rate:*
   Indica la porzione di ore schedulate in cui il canale è attivo. Si ricava dalla seguente equazione:

$$A = \frac{ore\ di\ disponibilità}{ore\ schedulate} = \frac{ore\ schedulate - perdite\ disponibilità}{ore\ schedulate} \qquad (19)$$

   con:

$$perdite\ disponibilità = downtime + resetting\ h + tooling\ losses + missing\ resources \qquad (20)$$

2. *Performance rate:*

   Indica le performance delle macchine in relazione al tempo ciclo del collo di bottiglia. Ha equazione:

$$P = \frac{ore\ performate}{ore\ di\ disponibilità} \tag{21}$$

   con:

$$ore\ performate = ore\ di\ disponibilità - process\ adjust - speed\ losses\ and\ minor\ stops \tag{22}$$

3. *Quality rate:*

   Indica il numero di pezzi accettati sul numero totale di pezzi prodotti dal canale. L'equazione è:

$$Q = \frac{ore\ effettive}{ore\ performate} = \frac{n°\ pezzi\ approvati}{n°\ totale\ pezzi} \tag{23}$$

con le ore effettive che possono anche essere trovate come:

$$ore\ effettive = ore\ perfomate - scrap\&rework \tag{24}$$

Quando si hanno a disposizione i tassi appena presentati, è possibile calcolare il valore dell'OEE corrispondente attraverso l'equazione presentata precedentemente. È possibile, inoltre, calcolare tale indicatore utilizzando due equazioni che produrrebbero ovviamente lo stesso risultato dell'equazione soprastante:

$$OEE = \frac{ore\ effettive}{ore\ schedulate} \tag{25}$$

e l'equazione:

$$OEE = \frac{(n°pezzi\ buoni)\times CT}{ore\ schedulate} \tag{26}$$

Nel calcolare tale indicatore, si deve fare attenzione alle informazioni che si hanno a disposizione. La criticità a cui si va incontro è quella di mascherare dettagli che possono essere fondamentali per capire le cause di inefficienze e problemi. Quando si ottiene un determinato valore di OEE, si deve fare attenzione alle ragioni che lo hanno influenzato ed ai metodi da adottare al fine di incrementarne il valore. Se, ad esempio, si analizzasse il caso in cui il termine più piccolo della relazione fosse la produttività P (velocità dell'impianto), si potrebbe cercare di aumentare la velocità di produzione producendo più pezzi. Questo potrebbe portare un effetto negativo sulla conformità dei pezzi e quindi un numero maggiore di scarti. Per questa ragione l'OEE è anche usato per misurare gli effetti che eventuali azioni correttive possono causare al processo.

6.4 Andamento A, P, Q degli ultimi tre anni

Attraverso le figure che seguiranno sarà possibile avere una breve descrizione dell'andamento dell'efficienza del canale di produzione dello stabilimento SKF di Villar Perosa. Prima di tutto, vediamo anno per anno e mese per mese, i valori assunti dalle tre variabili A, P, Q.

6.4.1 Andamento Availability rate 2017-2018-2019

I valori sono rappresentati nella seguente tabella 13:

Tabella 13: Valori Availability Rate nei tre anni. Evidente come il valore medio sia aumentato nel 2019.

	AVAILABILITY RATE		
	2019	2018	2017
gen	71,8%	77,19%	80,3%
feb	77,0%	74,06%	82,0%
mar	76,5%	79,47%	69,2%
apr	79,98%	71,17%	75,53%
mag	78,1%	77,75%	76,5%
giu	77,20%	76,09%	74,78%
lug	77,81%	77,37%	79,40%
ago	80,89%	54,87%	72,78%
set	74,41%	72,70%	78,56%
ott		75,33%	74,42%
nov		78,71%	74,82%
dic		84,06%	77,27%

Calcolando i valori medi per ogni anno, da gennaio a settembre, si ottiene una media del tasso di disponibilità del 77% nel 2019, 73,4% nel 2018 e del 76,6% nel 2017. L'andamento è rappresentato in figura 69. In percentuale i valori non si discostano molto e questo è dovuto dal rapporto tra ore di disponibilità ed ore schedulate pressoché uguali.

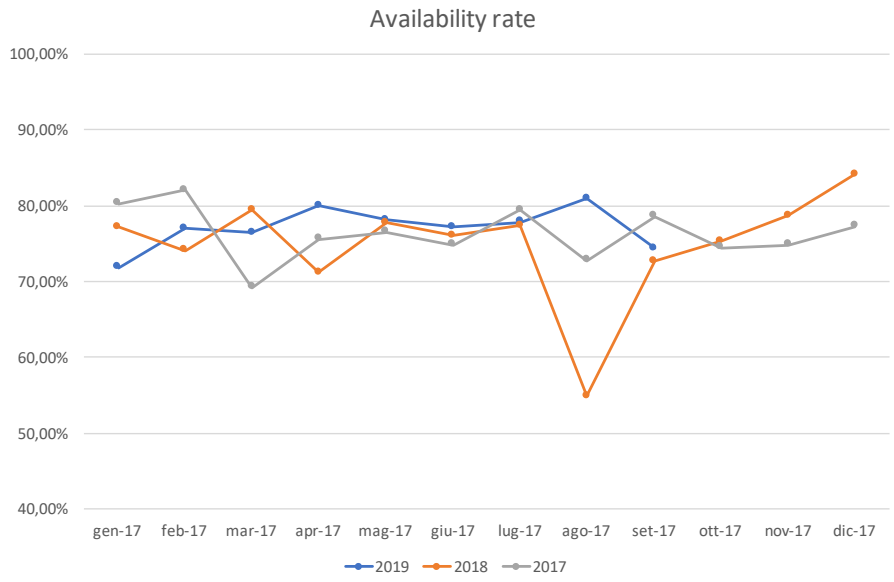


Figura 69: Andamento dell'Availability rate

6.4.2 Andamento Performance rate 2017-2018-2019

In tabella 14 i valori degli ultimi tre anni:

Tabella 14: Valori Performance rate nei tre anni.

	PERFORMANCE RATE		
	2019	2018	2017
gen	86,0%	85,9%	75,3%
feb	84,1%	83,7%	74,2%
mar	88,0%	84,8%	77,0%
apr	88,49%	82,88%	81,56%
mag	88,9%	83,2%	82,5%
giu	85,89%	81,30%	77,66%
lug	85,50%	82,97%	82,43%
ago	86,83%	77,72%	84,34%
set	88,49%	87,24%	83,68%
ott		83,40%	84,14%
nov		81,04%	86,74%
dic		84,58%	80,92%

Anche qui è possibile calcolare il valore medio assunto dal tasso di performance. Nel 2019 si ha un tasso medio dell'86,9%, nel 2018 del 83,7% e nel 2017 del 81,5%. L'andamento è meglio descritto dalla seguente figura 70.

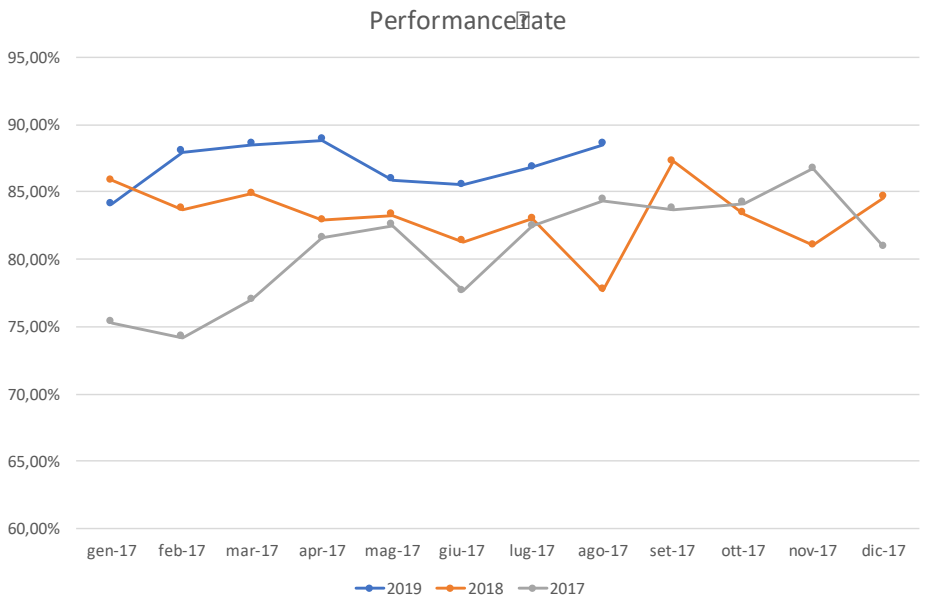


Figura 70: Andamento del Performance rate. Nel 2019 si ha un andamento costantemente al di sopra degli anni precedenti

È possibile notare come le performance del 2019 siano costantemente al di sopra degli anni precedenti: le ore performate hanno valore maggiore delle ore di disponibilità. Nel dettaglio, vediamo in tabella 15 le ore performate ogni mese ed in tabella 16 le ore di disponibilità. In media, fino a settembre, le ore di performance effettive sono 339,1 ore nel 2019, 326,6 ore nel 2018 e 305,6 ore nel 2017. Questo basterebbe a dimostrare un maggiore tasso di performance del 2019, ma dalla seconda tabella si possono vedere le ore di disponibilità (termine al denominatore dell'equazione). Il valore minore ottenuto del 2017 è dovuto ad un basso valore di ore performate rispetto alle ore disponibili. Negli anni successivi, ed in particolare nel 2019, i due termini aumentano, grazie alla crescente porzione di ore performate rispetto a quelle disponibili. I valori medi delle ore di disponibilità sono: 390,1 ore nel 2019, 389,9 ore nel 2018 e 375 ore nel 2017.

Tabella 15: Valori delle ore performate nei tre anni

	ORE PERFORMATE		
	2019	2018	2017
gen	349,0	360,0	331,1
feb	335,9	331,3	304,4
mar	369,9	383,5	338,9
apr	355,3	308,7	295,7
mag	393,3	377,6	337,4
giu	331,0	340,0	308,4
lug	367,8	367,4	331,9
ago	193,9	113,0	158,3
set	355,8	357,8	344,6
ott		382,5	361,7
nov		352,2	340,5
dic		280,6	224,1

Tabella 16: Valori delle ore di disponibilità nei tre anni

	ORE DI DISPONIBILITA		
	2019	2018	2017
gen	406,0	419,4	413,0
feb	399,5	395,7	410,3
mar	420,5	452,0	406,3
apr	401,5	372,5	337,8
mag	442,7	453,6	409,0
giu	385,4	418,2	397,1
lug	430,2	442,8	402,6
ago	223,3	145,4	187,7
set	402,1	410,1	411,8
ott		458,7	429,9
nov		434,6	392,6
dic		331,8	276,9

Così si ottengono i valori percentuali precedenti:

$$P_{2019} = \frac{339,1}{390,1} = 86,9\% \qquad P_{2018} = \frac{326,6}{389,9} = 83,7\% \qquad P_{2017} = \frac{305,6}{375} = 81,5\%$$

6.4.3 Andamento Quality rate 2017-2018-2019

Infine, uno sguardo ai valori del tasso di qualità con la seguente tabella 17.

Tabella 17: Valori del tasso di qualità nei tre anni..

	QUALITY RATE		
	2019	2018	2017
gen	99,8%	98,6%	99,1%
feb	98,0%	98,9%	98,7%
mar	99,3%	96,4%	98,3%
apr	98,62%	95,60%	99,43%
mag	99,5%	97,9%	98,1%
giu	99,60%	100,00%	99,22%
lug	99,40%	97,82%	99,50%
ago	97,63%	97,35%	99,50%
set	98,45%	99,18%	99,77%
ott		98,22%	99,77%
nov		98,92%	99,32%
dic		98,57%	99,05%

L'andamento descritto dalla figura 71 evidenzia l'elevato standard qualitativo del canale di produzione.

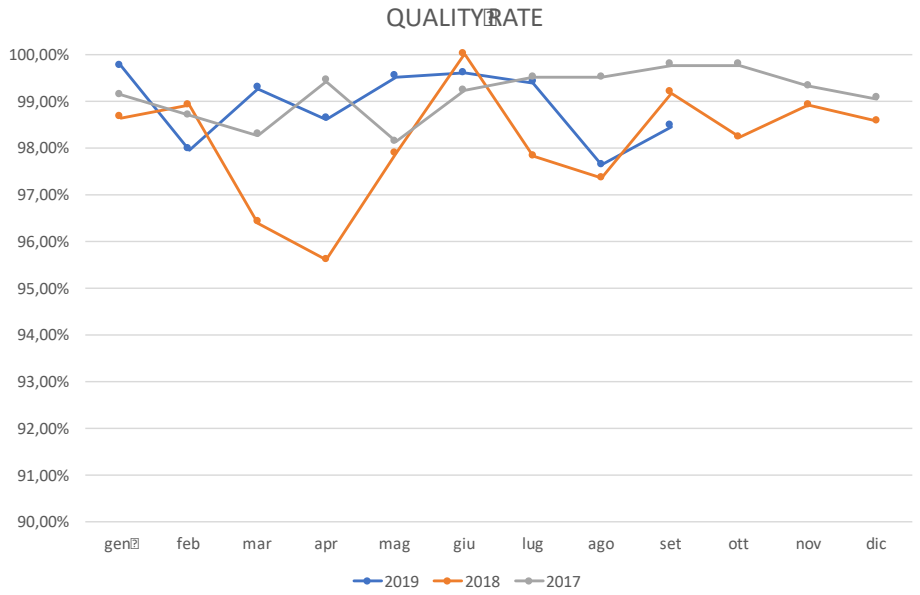


Figura 71: Andamento del Quality rate

Riuscire a tenere alto il valore percentuale del tasso di qualità significa produrre un numero di pezzi conformi che si avvicini il più possibile al numero totale di pezzi prodotti. Inoltre, se le ore effettive di produzione si avvicinano al totale delle ore performate, vi sarebbe un numero basso di scarti e pezzi da rilavorare.

6.5 Andamento OEE 2017-2018-2019

Avendo a disposizione i dati appena presentati, è possibile avere una visione d'insieme rispetto all'andamento del canale di produzione attraverso l'indicatore OEE. Esso è senza dubbio uno dei principali indicatori che sono tenuti sott'occhio dalle alte cariche aziendali e che rappresentano motivo di attenzione assoluta al raggiungimento di un più alto tasso possibile. È ovvio che il suo valore non potrà mai eccedere il 100% poiché rappresenterebbe un caso irreale, e il suo valore è minore rispetto alle tre variabili (che ne determinano il valore), essendo il prodotto di queste. Mostrando il suo andamento come fatto con A, P e Q, vediamo in tabella 18 i valori assunti negli ultimi tre anni.

Tabella 18: Valori OEE. I valori decisamente maggiori nel 2019, dimostrano un aumento significativo delle performance del canele produttivo.

	OEE		
	2019	2018	2017
gen	61,6%	65,4%	59,9%
feb	63,4%	61,3%	60,0%
mar	66,8%	65,0%	52,3%
apr	69,8%	56,4%	61,25%
mag	69,1%	63,4%	62,0%
giu	66,0%	61,9%	57,63%
lug	66,1%	62,8%	65,13%
ago	68,6%	41,5%	61,08%
set	64,8%	62,9%	65,59%
ott		61,7%	62,46%
nov		63,1%	64,46%
dic		70,1%	61,94%

Considerando i dati fino al mese di settembre, in media è possibile vedere come l'andamento del canale sia superiore nel 2019 rispetto al passato. In media si ha un valore pari al 66,2%, contro il 60,1% del 2018 ed il 60,5% del 2017. L'andamento è descritto nella seguente figura 72.

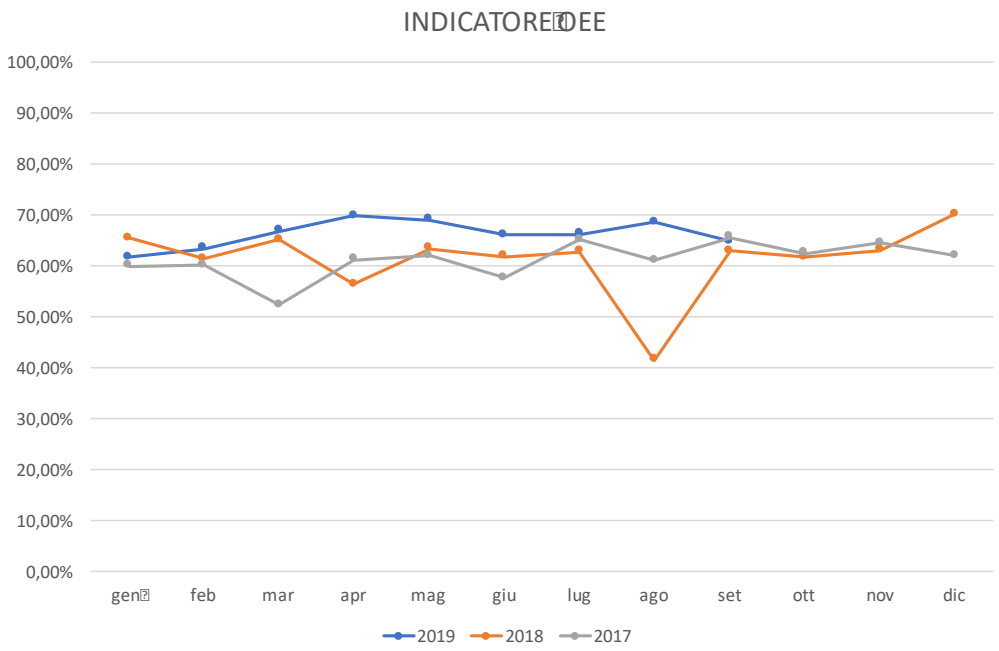


Figura 72: Andamento dell'OEE costantemente al di sopra degli anni precedenti.

7 CONCLUSIONI

7.1 Considerazioni e proposte

Seguendo l'ottica Just In Time, il problema principale della Supply Chain, è la fidelizzazione dei fornitori, fattore che viene a mancare per il mancato allineamento degli obiettivi tra le fabbriche. Il fornitore ha l'obbligo di consegnare i lotti nei tempi e nelle quantità concordate, ad una qualità elevata. Altro fattore importante è il passaggio delle informazioni necessarie ad una efficiente collaborazione. Capita spesso che i pezzi vengano consegnati con diversi giorni di ritardo o che il lotto non sia consegnato interamente a causa di scarti eccessivi e non comunicati in tempo al pianificatore. Da questo derivano i passaggi spiegati nel paragrafo 5.3, in riferimento all'emissione dell'ordine da parte del pianificatore della Supply Chain. Non essendoci scorte di magazzino, la qualità dei lotti consegnati deve essere certa poiché non vi sarebbe il tempo necessario per applicare eventuali azioni correttive. Emesso l'ordine dal pianificatore, uno dei problemi è proprio la trasmissione delle informazioni riguardanti le fasi di approvvigionamento del lotto da parte del fornitore. Tali informazioni, per la maggior parte dei casi, arrivano in ritardo. Secondo il principio dello zero stock, un qualsiasi incremento o scorta di materie prime, semilavorati o prodotti finiti sarebbe sintomo di un cattivo funzionamento del sistema. In riferimento allo zero stock, è importante considerare la gestione delle scorte. Nel caso del reparto TBU, dalla descrizione fatta nel capitolo 3 riguardante il New Supplier Delivery Program, il fatto che ci siano item tenuti con una scorta minima da parte dei fornitori (Modello A, B), è semplicemente un trasferimento dei costi di magazzino ad un livello a monte della catena di fornitura. I fornitori che non riescono a produrre con un puro Just In Time continueranno a produrre con logica Make to Order o Make to Stock, ma spediranno con logica JIT. Per questo motivo potrebbe essere un Just In Time solo in apparenza.

Dalle attività svolte dalle risorse in Supply Chain, nasce l'interfaccia con il reparto Produzione dello stabilimento. Precedentemente è stato analizzato il processo di rettifica

prendendo in considerazione un anello di dimensioni medie, in modo da presentare i tempi di produzione ed eventuali macchine che fanno da collo di bottiglia del ciclo di lavorazione. Partendo dalla domanda media mensile, e una volta calcolati i dati utili da inserire nelle equazioni utilizzate, sono state calcolate le percentuali di utilizzo delle macchine. Questi calcoli sono stati effettuati nei seguenti due casi:

- Flusso di produzione considerato lineare e senza interruzioni di nessun genere.
- Flusso di produzione considerando i tempi persi a causa dei setup delle macchine.

Nel primo caso le macchine hanno ovviamente una bassa percentuale di utilizzo dettata da un'offerta maggiore rispetto alla domanda di mercato. Nel secondo caso, invece, a causa della necessità di riattrezzaggio tra una tipologia e l'altra, i tempi di inattività delle macchine influenzano negativamente la loro capacità. Sommando questi tempi e le perdite descritte nel capitolo 6, il tempo di lavoro effettivo delle macchine si riduce generando una perdita di potenziale capacità produttiva. I grafici dimostrano la crescita della domanda dei cuscinetti nell'ultimo anno, con un portafoglio ordini che ricopre diversi mesi. Sarebbe certamente proficuo trovare il modo di incrementare la capacità produttiva del reparto in modo da ridurre il lead time di consegna degli ordini ai clienti e quindi riuscire a coprire l'orderbook più efficacemente. Se l'andamento dovesse mantenere questo trend di crescita, i tempi di servizio aumenterebbero e nascerebbe la necessità di intervento sull'output effettivo del processo. Sono diverse le azioni correttive che potrebbero essere apportate.

In primo luogo, la riduzione al minimo dei tempi di setup faciliterebbe l'adattamento dell'azienda agli ordini dei clienti ed alle variazioni della domanda. Oltre alle metodologie già descritte (cercare di trasformare gli interventi di setup da interni ad esterni), si potrebbe pensare a metodi di annullamento di questi tempi. Una soluzione potrebbe essere quella di unificare maggiormente le tipologie di anelli, ma le richieste e le necessità dei clienti sono differenti. Un'altra possibilità sarebbe quella di standardizzare sempre più le operazioni o ancora aumentare il numero di addetti al setup su ogni macchina, a patto che l'operaio aggiunto non causi intralcio. Dal punto di vista dei costi, lotti grandi permetterebbero di spalmare i costi di setup e tempi morti su più unità,

generando però un'inevitabile aumento dei costi di magazzino. Tracciando le curve dei costi in figura 73, vediamo l'andamento di questi al variare del lotto di produzione. Essi possono essere suddivisi in fissi e variabili: i primi sono costi che non cambiano al variare della produzione, i secondi sono influenzati dalla quantità prodotta. Nel nostro caso, si dovrebbe cercare di diminuire quei costi che sono influenzabili dalla grandezza dei lotti prodotti, come ad esempio i costi variabili di magazzino e di setup o fermi macchina imprevisti. I primi crescono proporzionalmente alla crescita delle unità prodotte, i secondi invece sono inversamente proporzionali poiché sarebbero spalmati su più unità. Si crea così un trade off, in cui il management deve decidere il giusto mix produttivo al fine di ridurre i lotti di produzione, produrre solo ciò che viene chiesto dal mercato e tenere i costi bassi. Graficamente, diminuendo i tempi di setup, la curva verrebbe traslata verso sinistra e così anche la curva dei costi totali.

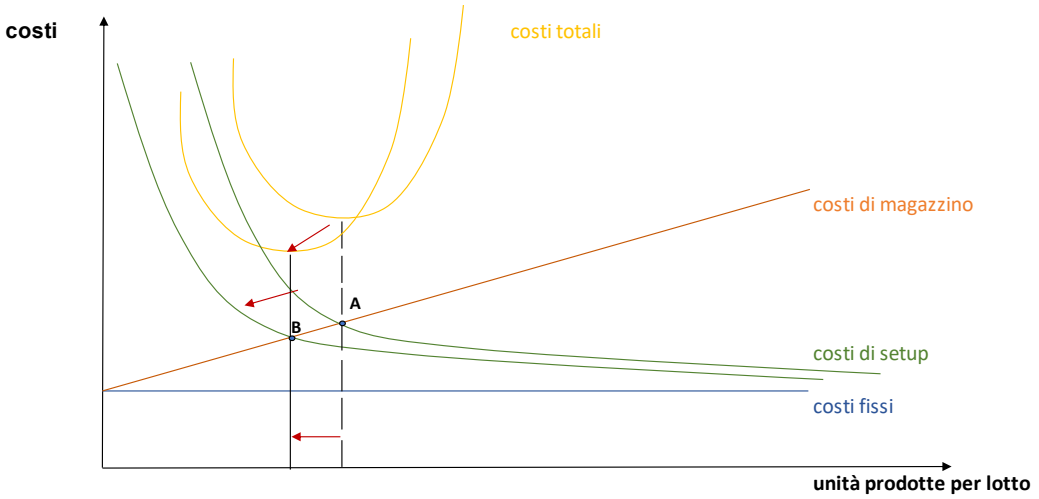


Figura 73: Curve dei costi fissi e variabili. Diminuendo il tempo di setup, la sua curva traslerebbe verso sinistra, intersecando la curva dei costi di magazzino in un punto a minore quantità prodotta (dal punto A al punto B). In questo modo la curva dei costi totali trasla verso sinistra identificando un nuovo punto a minore unità di produzione e minor costo.

Un altro modo per aumentare la capacità del processo sarebbe l'aggiunta di una seconda linea di rettifica. Questa permetterebbe di aumentare la quantità prodotta, di avere in corso di lavorazione tipologie differenti, o ancora a non incorrere in eventuali blocchi della produzione a causa di problemi/guasti sorti improvvisamente. È certo che, una linea aggiuntiva richiederebbe un investimento rilevante sia per l'acquisto dei macchinari che per la ricerca dello spazio nel quale posizionarli. Tale possibilità è da considerarsi valida

in vista del continuo aumento della domanda. Nel caso in cui si verificasse un decremento, si otterrebbe una linea di rettifica aggiuntiva non utilizzata: ragioniamo considerando una sovrapproduzione fonte di sprechi, che si rivelerebbe peggiore di un basso indice di utilizzo. La nuova linea richiederebbe, inoltre, altra forza lavoro: nel caso di diminuzione della domanda, il personale sarà pagato inutilmente. Effetto negativo anche per la ricerca, la selezione e l'addestramento dei nuovi addetti. Infine, è necessario considerare la possibilità che le stazioni di decapaggio e fosfatazione non riescano a coprire il ritmo della rettifica.

Dal mio punto di vista, la produzione pull non è perfettamente applicabile al processo analizzato. Innanzitutto, non ci si avvale del sistema Kanban che regola inevitabilmente il passaggio del materiale da una stazione all'altra, da monte a valle. La macchina a valle preleva il necessario dalla macchina a monte, e la quantità prelevata è segnalata da un cartellino. Questa quantità corrisponde al numero di pezzi che la macchina a monte è tenuta a produrre. Il processo di rettifica, nonostante il grande flusso di materiale, consiste in un lavoro continuo in cui il materiale viene sottoposto all'azione continuativa e sequenziale delle macchine. Così il processo è assimilabile ad una singola macchina. La criticità nel sistema pull dell'officina sta proprio nella relazione tra stazione a monte e stazione a valle. Nel nostro caso le linee di montaggio costituiscono l'ultima stazione che richiede il fabbisogno di semilavorato. La presenza di una sola linea di rettifica, che produce meno di quello che effettivamente potrebbe essere assemblato, fa sì che il ritmo dell'avanzamento del flusso degli anelli sia dettato proprio dalla stazione a monte e non da quella a valle come richiesto dalla logica pull.
Per incrementare l'output di produzione, sarebbe opportuno cambiare l'organizzazione della forza lavoro, aumentando i turni, o le ore di attività ed aumentando le ore effettivamente lavorate dalle macchine.
Infine, ricorrendo a decisioni di make or buy si otterrebbe il supporto di aziende esterne.
Soltanto Mibex supporta il processo di rettifica di cinque tipologie di anelli.

Ovviamente i fermi macchina dettati dai setup non sono gli unici ad influenzare l'output di produzione. Il peggiore nemico delle prestazioni dell'impianto si identifica con le fermate impreviste. Esse sono uno dei principali responsabili di un indicatore OEE

sfavorevole, poiché porta via una buona parte della produttività prevista in un impianto. È anche uno degli aspetti più difficili da tenere sotto controllo. È importante capire le attività svolte al fine di raccogliere i dati necessari all'analisi delle problematiche ed alla loro risoluzione. A causa della registrazione manuale utilizzata dall'azienda, si fa affidamento esclusivamente all'esperienza degli operatori, specialmente a quelli di linea. Metodo che se organizzato in maniera efficace può davvero aiutare nell'individuazione e nella risoluzione dei problemi, ma con un orizzonte temporale troppo lungo. Importante è anche riuscire a definire quali sono le cause principali di questi fermi macchina. All'interno di un processo produttivo sono diverse le figure professionali che possono influenzare le fermate delle macchine. Tra queste: gli operatori di linea che lavorano direttamente con le macchine, i tecnici di manutenzione ed il supervisore di produzione. Il loro compito è quello di riuscire ad individuare eventuali problemi delle macchine ancora prima che questi si manifestino. Spesso questo non accade per semplice negligenza o per insufficiente formazione del personale. Oltre ai fermi macchina registrati, possono essere frequenti i fermi non registrabili, causati da piccoli problemi che possono fermare la linea senza che nessuno se ne accorga. Al fine di risolvere i problemi sulla gestione dei fermi macchina imprevisti si potrebbe intervenire attraverso l'innovazione in ambito digitale. Partendo dall'idea di Smart Factory, l'utilizzo di software in grado di individuare, registrare, analizzare e risolvere le criticità riscontrate lungo la catena di produzione sarebbe di notevole aiuto alla crescita dell'OEE. Il software dovrebbe connettere tutte le macchine della linea produttiva, raccogliere le informazioni e comunicarle in tempo reale: monitoraggio performance, avanzamento della produzione, controlli qualità, manutenzione. Possibile sarebbe anche l'utilizzo di dispositivi digitali interconnessi che permettano di controllare gli eventi che avvengono alle macchine utensili. Tra questi troviamo ad esempio: *smart watch* per monitorare gli errori durante la produzione, *dashboard* collegate ad ogni centro di lavoro per monitorare lo stato di avanzamento della produzione e *smart glasses* che permettono di controllare la manutenzione delle macchine. Tale software dovrebbe:

- supportare il processo decisionale, mostrando dove operare, come operare e controllando l'impatto dei piani d'azione attuati.

- controllare l'impatto dei piani strategici, in modo da poter apportare modifiche per garantire il raggiungimento degli obiettivi a lungo termine. La misurazione delle prestazioni è necessaria per obiettivi interni e per soddisfare i requisiti di diverse parti interessate esterne.
- emettere un allarme prima del calo delle prestazioni aziendali, grazie alle sue proprietà analitiche. La misurazione delle prestazioni è parte del processo di miglioramento costante. La valutazione delle prestazioni è importante per il confronto e per identificare le aperture delle prestazioni.

Le misurazioni delle prestazioni, riferite alla Supply Chain ed alla Produzione, forniscono una base per valutare alternative e identificare il criterio decisionale che deve essere intrapreso dai reparti descritti. Inoltre, aiutano l'azienda a prendere decisioni per garantire il continuo miglioramento del servizio al cliente a la conseguente espansione nel mercato. Decisioni che potrebbero essere rese possibili grazie ai sistemi software di supporto come i DSS (*Decision Support System),* che permettono di aumentare l'efficacia dell'analisi. Il loro valore aggiunto è la capacità di raccogliere, memorizzare ed interpretare le informazioni di processo utili al fine di attuare eventuali azioni correttive.

BIBLIOGRAFIA

[1] Beamon, M. B., (1998). *Supply Chain design and analysis: Models and methods*. Cincinnati: S. Minner

[2] Ayers B. J., (2006). *Handbook of Supply Chain Management*. Boca Raton: Auerbach Publications

[3] Qukula T., (2000). *Analysis of the Efficiency of the Transport Logistics Supply Chain with Specific Reference to Liner Shipping in South Africa*. University of Stellenbosch

[4] Degarmo E. P, Black J. T., Kohser R. A., (2011). *Materials and Processes in Manufacturing*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[5] Stevenson W. J., (2012). *Operations Management.* New York: MaGraw-Hill

[6] Womack J. P., Jones D. T., Ross D., (1991). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. New York: Free Press

[7] Cachon G., Terwiesch C, (2013). *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*. New York: McGraw-Hill

[8] Gapp R. P., Fisher R. J., Kobayashi K. (2008). *Implementing 5S within a Japanese Context: An Integrated Management System*. Bingley: Emerald Group Publishing

[9] Shingo S., (1989). *A study of the Toyota Production System*. Cambridge: Productivity Press

[10] Zompì A., Levi R., (2003). *Tecnologia meccanica - lavorazioni ad asportazione di truciolo*. Torino: UTET

[11] Abu-Suleiman A., Boardman B., Priest W. J., (2004). *A framework for an integrated Supply Chain Performance Management System.* University of Texas at Arlington

[12] Hansen R. C., (2001). *Overall Equipment Effectiveness: A powerful production/maintenance tool for increased Profits*. New York: Industrial Press, Inc.

SITOGRAFIA

[a] https://www.skf.com/it/index.html

[b]https://www.youtube.com/watch?v=q53SFp5mIfo&list=PLhW8pTQeEOo6RuF0Zk5U6OV_eHRFfxqUL

[c] https://www.compravendita-macchinari-usati.it/che-cose-la-lappatura-o-lapidatura/

[d] https://en.wikipedia.org/wiki/Shore_durometer

[e] https://www.aeroel.it/images/pdf/articoli/grindline-ita.pdf

[f] https://www.bama-technologies.com/sgrassaggio-metalli/

[g] http://www.nicasil-zep.com/assets/files/fosfatazione.pdf

[h] https://www.scodanibbio.com/i_site/access/homeaccess/56.html

[i] https://it.wikipedia.org/wiki/Tempra

[l] https://www.nabertherm.com/produkte/thermprozesstechnik/2-aufkohlen/2-aufkohlen_italienisch.pdf

[m] https://www.bodycote.com/it/servizi/trattamento-termico/bonifica/tempra-bainitica/

[n] https://www.organizzazioneaziendale.net/oee-significato-definizione-calcolo/2671

MATERIALE DIDATTICO

[13] Ferraresi, Corso di Gestione dell'Informazione Aziendale, Anno accademico 2004/2005

[14] Alfieri A., Cantamessa M., (2015). *Programmazione e Controllo della Produzione*. McGraw Hill