



**Politecnico  
di Torino**

## **Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

# **Ottimizzazione dei processi logistico-produttivi collegati alla pianificazione della produzione**

Relatrice:

Anna Corinna Cagliano

Candidato:

Leggio Matteo

Correlatrice:

Lombardini Giorgia Maria

Anno Accademico 2023/2024

## Sommario

<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Il magazzino e la programmazione della produzione in un'azienda manifatturiera .....</b>	<b>2</b>
1.1 Supply Chain e Logistica .....	2
1.2 Il magazzino .....	4
1.3 La programmazione della produzione .....	5
<b>2. Presentazione del caso di studio: Mitsubishi Electric .....</b>	<b>7</b>
2.1 Storia dell'azienda .....	7
2.2 Panoramica sulla climatizzazione .....	8
2.3 I prodotti e il loro funzionamento .....	10
2.4 Fornitori e clienti .....	15
2.5 Plant produttivo .....	16
<b>3. Analisi del processo di programmazione della produzione .....</b>	<b>20</b>
3.1 Flusso degli ordini di vendita nel sistema gestionale SAP .....	20
3.2 Flusso pianificazione della produzione.....	23
3.3 Limiti/problemi pianificazione della produzione as-is.....	27
3.4 Strumento in Excel a supporto della programmazione.....	28
3.4.1 Il diagramma Yamazumi .....	28
3.4.2 Il diagramma Yamazumi applicato al caso di studio Mitsubishi Electric .....	33
3.4.3 Automazione dello strumento .....	35
3.4.4 Analisi del carico produttivo mensile .....	39
3.4.5 Risultati ottenuti.....	41

<b>4. Analisi dei flussi di lavoro .....</b>	<b>44</b>
4.1 Magazzino materie prime .....	44
4.2 Linee produttive .....	46
4.3 Migliorie apportate dallo strumento di monitoraggio del carico produttivo.....	48
<b>5. Conclusioni .....</b>	<b>52</b>
5.1 Benefici del lavoro di tesi .....	52
5.2 Limitazioni del lavoro di tesi.....	53
5.3 Passi futuri.....	53
<b>Bibliografia .....</b>	<b>54</b>
<b>Sitografia .....</b>	<b>55</b>

## **Introduzione**

La presente tesi di laurea propone un'analisi dell'evoluzione del processo di pianificazione della produzione e delle rispettive migliorie ottenute negli ambiti logistico-produttivi in uno stabilimento di Mitsubishi Electric, azienda tra i leader mondiali nel settore della climatizzazione. In particolare, la tesi si è focalizzata sullo sviluppo di uno strumento in Excel, basato sul concetto di Yamazumi, che supportasse l'attività di pianificazione della produzione incrociando il carico lavorativo inerente alle unità da produrre in ciascuna linea produttiva con le ore-uomo disponibili, tenendo conto di variabili misurate nel tempo quali l'assenteismo e l'efficienza media degli operatori di linea. L'obiettivo è quindi di migliorare l'attuale processo di pianificazione del lavoro in produzione e tutto ciò che ne consegue: da una possibile riduzione delle scorte in magazzino al fornire un tool per migliorare la gestione delle risorse in produzione individuando linee e fasi di lavoro critiche.

La tesi è articolata in cinque capitoli: nel primo si introducono i concetti teorici applicati poi nella tesi, partendo dalla supply chain e la logistica fino ad arrivare al magazzino e la programmazione della produzione in un'azienda manifatturiera. Nel secondo capitolo si introduce il caso di studio Mitsubishi Electric, parlando della storia dell'azienda, il layout dello stabilimento produttivo, i prodotti e il principio base del loro funzionamento. Il terzo capitolo si concentra ad analizzare il processo di pianificazione della produzione as-is, individuandone i limiti da provare a superare con lo sviluppo del tool in Excel che incroci il carico di lavoro quantificato in termini di ore con le ore-uomo disponibili per ciascuna linea produttiva. Nel quarto capitolo si discutono invece i flussi di lavoro del magazzino materie prime e delle linee produttive in relazione alle migliorie apportate dallo strumento sviluppato in Excel per bilanciare il carico lavorativo con la capacità disponibile. Infine, nel quinto capitolo, si procede a commentare i risultati ottenuti dal lavoro di tesi, se ne osservano i limiti e si suggeriscono eventuali azioni future che l'azienda potrà compiere.

Si è quindi ottenuto uno strumento in grado di perfezionare il processo di pianificazione della produzione, capace di bilanciare il carico di lavoro associato alle unità da produrre con la capacità produttiva disponibile, stimata sulla base del numero di operatori in forza, la loro efficienza e l'assenteismo medio registrati nei mesi precedenti. Lo strumento permette inoltre di intercettare in anticipo eventuali picchi di lavoro e la miglior distribuzione possibile delle risorse nelle diverse fasi produttive delle diverse linee di montaggio.

# 1. Il magazzino e la programmazione della produzione in un'azienda manifatturiera

In questo capitolo si introducono i concetti teorici e gli strumenti utilizzati per raggiungere l'obiettivo della tesi. Si parte dalla Supply Chain e Logistica per poi introdurre argomenti quali il magazzino e la programmazione della produzione in un'azienda manifatturiera.

## 1.1 Supply Chain e Logistica

Nel parlare comune, può capitare di sentire parlare di Supply Chain e Logistica come se fossero sinonimi, tuttavia questo è evidentemente un errore. Per Supply Chain (Fig.1.1), o catena di approvvigionamento, si intende tutto ciò che comprende il personale, le attività, le organizzazioni e le tecnologie coinvolte nel processo di realizzazione di un prodotto o servizio, dall'acquisto dei materiali dal fornitore, fino alla consegna dello stesso alla clientela finale (Massaroni, D'Ascenzo e Cozzolino, 2016).

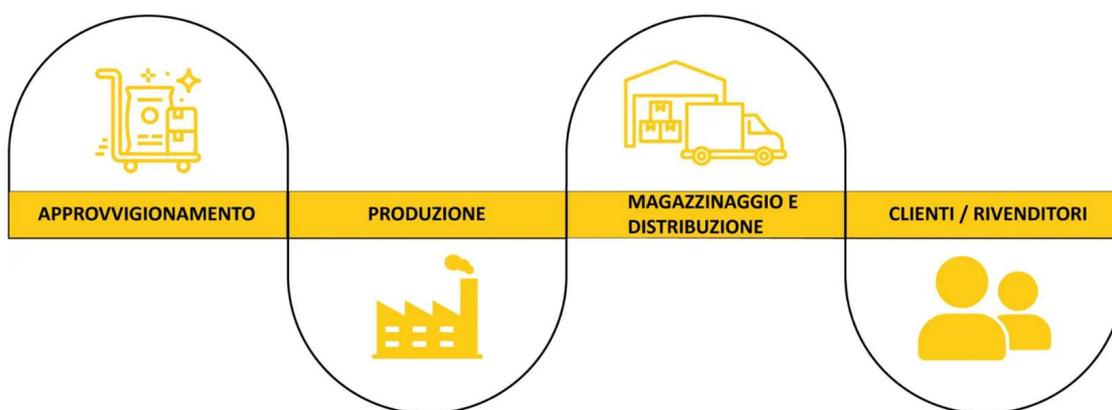


Fig. 1.1 Schema delle attività coinvolte nella Supply Chain [1]

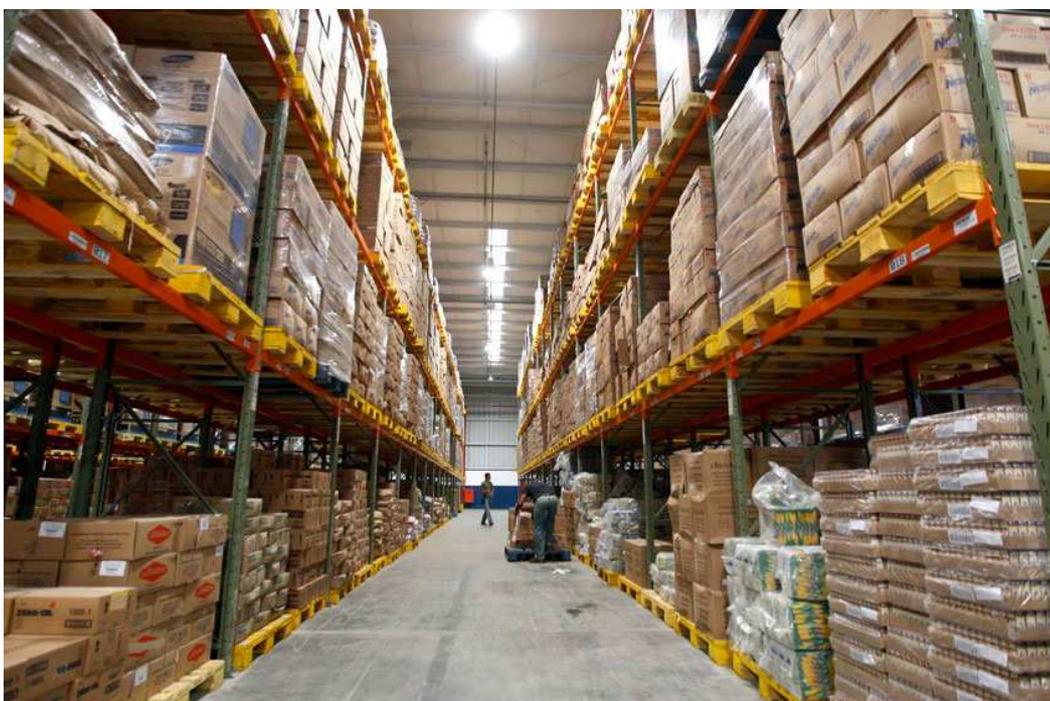
Nella Supply Chain si trovano quindi quattro processi principali:

- *Approvvigionamento*: comprende tutti i processi che consentono di far arrivare nello stabilimento produttivo le materie prime necessarie alla realizzazione del prodotto. Questa fase ovviamente non ha un impatto solo sulla produzione ma anche sul magazzino, una corretta gestione degli ordini e delle scorte consente infatti di ridurre gli spazi utilizzati. In ottica Lean si parla di Just in Time, ovvero di far arrivare il materiale esattamente quando serve in produzione, abbattendo i costi legati allo stoccaggio e riducendo il rischio di obsolescenza della materia prima (es. componenti elettronici o con una scadenza) [2].
- *Produzione*: l'attività di fabbricazione vera e propria mediante l'utilizzo di materie prime e operatori o macchine.
- *Magazzinaggio e distribuzione*: comprende tutte le operazioni che vanno dall'imballaggio del prodotto finito e relativo stoccaggio, fino alla consegna al cliente finale.
- *Clienti e rivenditori*: coloro che comprano il prodotto finito. Come si vedrà meglio più avanti (capitolo 2.4, "Fornitori e clienti"), nel caso di Mitsubishi Electric spesso i clienti sono filiali italiane o estere che acquistano i prodotti per poi rivenderli successivamente al cliente finale.

Quando invece si parla di Logistica, ci riferisce solo ad una parte di questo processo, gestisce infatti il flusso dei materiali, il loro stoccaggio e la distribuzione dei prodotti finiti. Si può poi fare una distinzione tra logistica inbound e outbound. Nella prima categoria rientrano tutti quei processi relativi al trasporto dei materiali allo stabilimento produttivo, la gestione delle giacenze e delle quantità in entrata, il loro stoccaggio e la movimentazione interna garantendo l'asservimento alle linee di assemblaggio [3]. La logistica outbound invece, si occupa dell'imballaggio dei prodotti finiti, il loro stoccaggio nel magazzino prodotti finiti e la spedizione o trasporto verso il cliente.

## 1.2 Il magazzino

Il magazzino (Fig. 1.2) è una struttura logistica adibita a ricevere, stoccare e movimentare le merci. In ogni azienda manifatturiera svolge un ruolo centrale nella supply chain, ha infatti una funzione regolatrice per quanto riguarda la gestione dei flussi e dei lead time lungo la catena produttiva e di distribuzione del prodotto finito. Generalmente all'interno di un'azienda si possono individuare due tipologie di magazzino: quello impiegato per la ricezione e lo stoccaggio delle materie prime e quello adibito a conservare il prodotto finito in attesa che venga spedito o ritirato dal cliente (Balestri, 2019).



*Fig. 1.2 Esempio di un magazzino adibito allo stoccaggio di materie prime [4]*

Nell'azienda manifatturiera il compito del magazzino non è solo quello di ricevere e stoccare i materiali nel modo più efficiente possibile ma è anche quello di asservire le linee produttive con i materiali necessari. Nel caso di Mitsubishi Electric, che vedremo più avanti (capitolo 2, "Presentazione del caso di studio: Mitsubishi Electric"), il materiale viene spostato dal magazzino alla produzione mediante dei carrelli, questi vengono preparati dai magazzinieri sulla base di un piano di produzione.

### **1.3 La programmazione della produzione**

La programmazione della produzione è un processo il cui obiettivo è quello di organizzare il lavoro della produzione e tutti gli enti direttamente coinvolti, affinché sia coerente con le aspettative del cliente e la capacità aziendale (Caridi, 1997). Nelle aziende manifatturiere si occupa quindi di definire i piani produttivi indicando quanto, quando e chi, deve produrre un determinato prodotto. È un aspetto complicato che coinvolge ed impatta il lavoro di diverse funzioni aziendali: dall'approvvigionatore che schedula gli ordini di acquisto sulla base del piano produttivo, al magazziniere che deve preparare i carrelli giornalieri con il materiale necessario alle linee produttive, fino, naturalmente, alla produzione che organizza il lavoro giornaliero delle proprie risorse. Una pianificazione accurata permette di ottenere diversi benefici, tra cui:

- Mantenere al minimo le scorte e giacenze di materie prime, permettendo agli approvvigionatori, ovvero coloro che ordinano i materiali, di far arrivare le materie prime a ridosso di quando servono in produzione riducendo il loro tempo di stoccaggio in magazzino.
- Stabilire con largo anticipo date di consegna attendibili da comunicare ai clienti.
- Evitare, o quantomeno limitare, colli di bottiglia in produzione.
- Organizzare in modo efficace ed efficiente il lavoro dei magazzinieri adibiti all'asservimento delle linee e degli operatori produttivi.
- Gestire eventuali imprevisti con coordinamento degli enti coinvolti in caso di problematiche in linea o mancate consegne all'ultimo da parte dei fornitori per evitare fermi in linea.
- Mantenere al minimo le scorte e giacenze di prodotto finito, facendo cadere la data di fine produzione in prossimità di quella di ritiro del cliente.

La programmazione della produzione può poi essere suddivisa in due periodi temporali: quella di lungo periodo, nel quale si stabiliscono date di consegna e una prima suddivisione del carico lavorativo sulle linee produttive, e quella di breve periodo in cui si analizza nel

dettaglio, con precisione e affidabilità come deve essere organizzato il lavoro in produzione.

Il rischio principale in cui si può incorrere durante la pianificazione della produzione è quello di utilizzare strumenti o metodi non adeguati, che non tengono conto di dati oggettivi in costante aggiornamento e altre informazioni che impattano direttamente il lavoro in produzione quali l'assenteismo e l'efficienza di ciascun reparto produttivo.

## 2. Presentazione del caso di studio: Mitsubishi Electric

In questo capitolo si introduce il caso di studio Mitsubishi Electric dando informazioni relative al plant produttivo, i prodotti realizzati e il loro funzionamento.

### 2.1 Storia dell'azienda

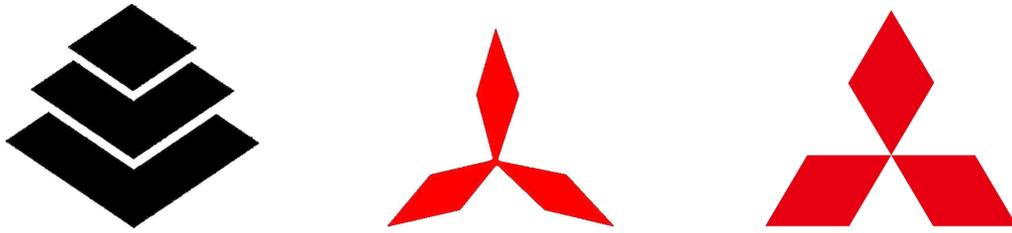
Lo stabilimento produttivo presso cui si è svolto il progetto di tesi, nasce come “RC Group” nel 1963 a Valle Salimbene (PV), con l’obiettivo di diventare leader nella progettazione e realizzazione di condizionatori di precisione (Fig. 2.1). Durante i primi anni, fu importante la realizzazione di un impianto di condizionamento per un centro di calcolo della Banca San Paolo di Torino, che contribuì alla crescita e alla diffusione del Gruppo RC [5]. Negli anni '90 il Gruppo amplia la gamma di prodotti offerti con l’apertura di una seconda sede produttiva a Zeccone (PV), mirata alla produzione di gruppi refrigeratori ad acqua. Nel 2006 RC Group viene acquisita da De’Longhi S.p.A, per poi essere scorporata nel 2012 con la nascita del gruppo DeLclima, infine ceduta nel 2015 alla società giapponese Mitsubishi Electric Corporation [6].



*Fig. 2.1 Stabilimento produttivo di Valle Salimbene (PV)*

Fondata da Yataro Iwasaki nel 1870, Mitsubishi nasce con il nome di “Tsukumo Shokai” e si occupa di spedizioni marittime. Solo pochi anni più tardi, nel 1874, il nome cambierà in

Mitsubishi (letteralmente “tre diamanti”) ispirandosi allo stemma della famiglia del fondatore e da cui poi prenderà spunto l’attuale logo (Fig. 2.2).



*Fig. 2.2 Evoluzione del logo Mitsubishi, dal primo utilizzato (sinistra) al più recente (destra)*

I tre diamanti rappresentano i principi fondamentali su cui si basava l’azienda: lealtà, responsabilità nei confronti della società e conoscenza dei popoli attraverso il commercio. Nel 1921, in seguito allo scorporo dello stabilimento di produzione di motori elettrici per navi, nasce l’odierna Mitsubishi Electric Corporation. Durante tutto il ‘900 i dirigenti del Gruppo hanno spinto la società ad ampliarsi e diversificarsi in diversi settori, ed è per questo che oggi è uno dei più importanti produttori al mondo nei settori dell’automotive, della climatizzazione, di semiconduttori e nell’automatizzazione industriale [7].

## **2.2 Panoramica sulla climatizzazione**

I primi a compiere esperimenti riguardanti la climatizzazione furono Benjamin Franklin e John Hadley, professore di chimica alla Cambridge University, scoprendo nel 1758 come fosse possibile abbassare la temperatura di un oggetto al di sotto del punto di congelamento dell’acqua sfruttando liquidi altamente volatili come l’alcol o l’etere.

Hanno condotto il loro esperimento in un ambiente alla temperatura di 18°C, raffreddando il bulbo di un termometro a mercurio in vetro con l’ausilio di un soffiato che accelerasse l’evaporazione del liquido evaporante. Raggiunti gli 0°C Franklin ha notato il formarsi di una sottile pellicola di ghiaccio attorno al bulbo del termometro. L’esperimento è stato interrotto al raggiungimento di -14°C e uno strato di ghiaccio pari a circa 6mm. Franklin e Hadley capirono quindi come fosse potenzialmente possibile applicare tale principio per raffreddare l’aria di un ambiente dandone giovamento all’uomo.

Basandosi su questi studi, durante tutto l’800 vengono portati avanti diversi esperimenti riguardanti la climatizzazione. Nel 1820 Michael Faraday, scienziato e inventore inglese,

riuscì ad abbassare la temperatura dell'aria mediante l'evaporazione di ammoniaca compressa e liquefatta. Alcuni decenni più tardi, nel 1842, per alleviare le sofferenze dei malati di malaria, il medico John Gorrie utilizzò la tecnologia di compressione dei fluidi al tempo sviluppata, per creare del ghiaccio con il quale raffrescare l'aria del suo ospedale di Apalachicola (Florida). Immaginando di poter applicare questa invenzione ad intere città, nel 1851 brevettò il suo progetto, dovendolo però abbandonare poco più tardi con la morte del suo finanziatore. Per vedere un'applicazione in ambito industriale dobbiamo attendere i primi anni del '900, grazie all'ingegnere Willis Carrier (Fig. 2.3) e ai suoi studi relativi all'umidità e al condizionamento dell'aria. Fino ad allora il sistema di raffrescamento e deumidifica per i settori industriali era piuttosto primitivo: si operava con un ricircolo d'aria, ad esempio aprendo le finestre, con l'evidente vincolo delle condizioni climatiche ambientali. Carrier, invece, applica i cambiamenti di stato di un gas per produrre variazioni di temperatura, in particolare ideò un sistema di ricircolo del fluido refrigerante in un circuito chiuso, tecnologia non troppo diversa da quella che possiamo trovare attualmente in commercio. Nel 1902 Carrier installa quella che è considerata la prima unità di condizionamento elettrica moderna in una tipografia a Brooklyn (New York), il cui scopo non era tanto quello di raffrescare l'aria bensì di deumidificarla per non far rovinare la carta di giornale.



*Fig. 2.3 Foto del 1922 che ritrae Willis Carrier con il suo primo condizionatore [8]*

Da lì a poco la climatizzazione si estese nel settore tessile e negli uffici, per arrivare nel 1914 a Minneapolis nella prima abitazione privata. Nel 1933 si iniziarono a testare dei condizionatori per automobili e nel 1939 Packard, casa automobilistica statunitense, offre per prima un modello di auto equipaggiata con un'unità di condizionamento dell'aria. Durante gli anni '60 la tecnologia alla base della climatizzazione si affina e diventa più economica, tant'è che negli Stati Uniti, a partire da quegli anni, la maggior parte delle case residenziali di nuova costruzione disponevano di aria condizionata centralizzata [9].

### 2.3 I prodotti e il loro funzionamento

Mitsubishi Electric è leader mondiale nei sistemi di climatizzazione per ambienti residenziali, commerciali e per usi industriali. Tra le linee di prodotti ci sono: una gamma residenziale e commerciale, sistemi (VRF), dispositivi per la ventilazione, pompe di calore idroniche, sistemi di controllo, eco asciugamani e purificatori d'aria. Lo stabilimento M21 di Valle Salimbene presso cui si è svolto il progetto di tesi, è specializzato nella produzione di quattro famiglie di prodotti (Fig. 2.4): condizionatori d'aria di precisione, climatizzatori monoblocco, rack cooling e condensatori remoti, dispositivi particolarmente indicati per il condizionamento di locali tecnologici, sale server e sale Centro Elaborazione Dati (CED).



*Fig. 2.4 Da sinistra verso destra: condizionatore d'aria di precisione, climatizzatore monoblocco, rack cooling e condensatore remoto [10]*

Il condizionatore si può schematizzare come un circuito chiuso (Fig. 2.5) nel quale ci sono cinque elementi fondamentali:

- *Fluido refrigerante*: inizialmente si usavano l'R12 (diclorodifluorometano, o Freon-12) e l'R22 (monoclorodifluorometano, o Freon-22), poi sostituiti dall'R410A e dall'R32 (difluorometano), perché altamente dannosi nei confronti dell'ozono ambientale. Il fluido refrigerante circola all'interno del circuito chiuso e, mediante cambiamenti di stato, ha un ruolo fondamentale nella trasmissione del calore.
- *Compressore*: il fluido refrigerante entra all'interno del compressore allo stato gassoso e ne fuoriesce ad una pressione più elevata. Per la seconda legge isocora di Gay-Lussac, secondo cui a volume costante la pressione di un gas è direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta, ne consegue che il compressore oltre ad aumentare la pressione del fluido refrigerante ne aumenta la temperatura.
- *Condensatore*: sfruttando l'aumento di pressione impartito dal compressore e mediante un processo esotermico, che quindi trasferisce calore dal sistema all'ambiente, questo componente permette al fluido refrigerante di condensare.
- *Valvola di espansione*: il fluido refrigerante, attraversando questa valvola, ha delle perdite di carico localizzate che ne diminuiscono la pressione e, per la seconda legge isocora di Gay-Lussac citata prima, anche la temperatura.
- *Evaporatore*: sfruttando la riduzione di pressione impartita dalla valvola di espansione e mediante un processo endotermico (che quindi trasferisce calore dall'ambiente al sistema), questo componente permette al fluido refrigerante di evaporare.

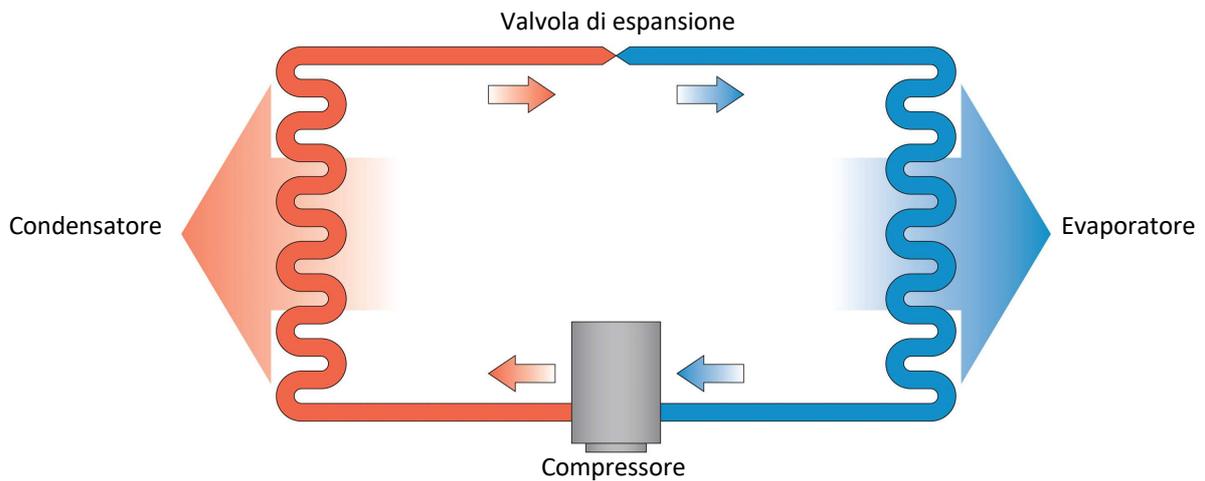


Fig. 2.5 Schema di un condizionatore [11]

Il funzionamento del condizionatore si basa sul ciclo frigorifero, un ciclo termodinamico inverso che, in accordo con la seconda legge della termodinamica (“è impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo ad uno più caldo senza l’apporto di lavoro esterno”, enunciato di Clausius), assorbe lavoro per sottrarre calore da un ambiente a bassa temperatura e trasferirlo ad uno a più alta temperatura (Fig. 2.6) (Magrini e Magnani, 2015).

T: temperatura  
 Q: calore  
 W: lavoro  
 M: macchina termica

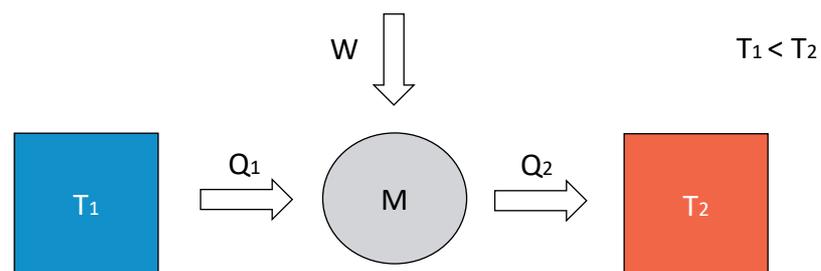


Fig. 2.6 Macchina termica “M” il quale, grazie al lavoro “W” che agisce sul sistema, cede una quantità di calore “Q<sub>2</sub>” pari a “-Q<sub>1</sub>+L” all’ambiente con temperatura più elevata “T<sub>2</sub>”

Il ciclo frigorifero è un ciclo di Carnot inverso, quindi percorso in senso antiorario, ed incontra quattro differenti trasformazioni termodinamiche che vengono esercitate sul gas perfetto (Fig. 2.7).

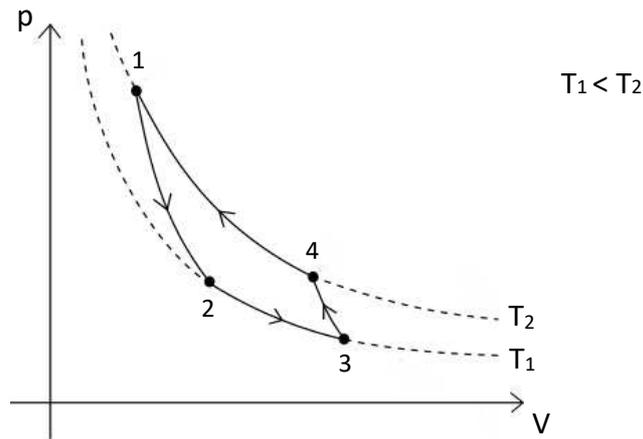


Fig. 2.7 Ciclo di Carnot inverso nel piano di Clapeyron, sugli assi pressione e volume [12]

- 1→2 espansione adiabatica (senza scambio di calore tra sistema e ambiente)
- 2→3 espansione isoterma (a temperatura costante)
- 3→4 compressione adiabatica
- 4→1 compressione isoterma

Il sistema scambia calore nei tratti isotermi del ciclo, ed in particolare: nel tratto “2→3” il gas assorbe calore sottraendolo dalla sorgente a temperatura inferiore “ $T_1$ ”, mentre nel tratto “4→1” il gas cede calore alla sorgente a temperatura maggiore “ $T_2$ ”.

Se il ciclo inverso viene utilizzato per sottrarre calore da un ambiente che deve essere tenuto ad una temperatura più bassa di quella esterna si parlerà di “macchina frigorifera”, in alternativa, se il ciclo è utilizzato per somministrare calore ad un ambiente che deve essere tenuto ad una temperatura più alta di quella esterna si parlerà allora di “pompa di calore”. Come vedremo più avanti, un condizionatore può funzionare sia come macchina frigorifera che come pompa di calore. Il ciclo frigorifero può essere rappresentato sul diagramma entropico T-S (temperatura, entropia), sul diagramma di Mollier H-S (entalpia, entropia) e sul diagramma entalpico p-H (pressione, entalpia). Quest’ultimo (Fig. 2.8) è quello di maggior applicazione per via dell’immediatezza con cui si possono ricavare le variazioni di pressione che intervengono per l’azione del compressore e della valvola di espansione, oltre che alle variazioni di entalpia (l’energia scambiata con l’esterno).

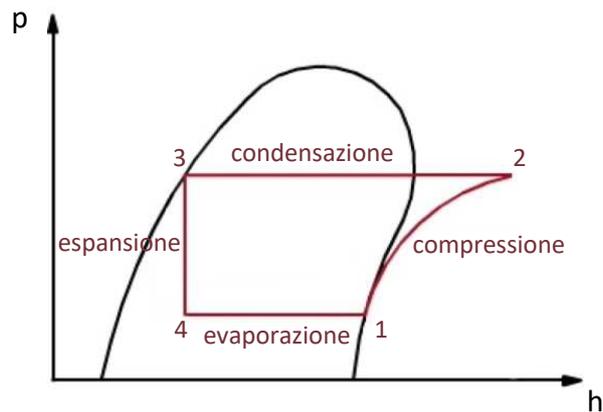


Fig. 2.8 Ciclo frigorifero su diagramma entalpico, sugli assi pressione ed entalpia [13]

Il fluido refrigerante allo stato gassoso passa attraverso il compressore (punto 1-2, Figura 8) aumentando di pressione e temperatura, per poi rilasciare una parte del calore all'ambiente esterno e tornare allo stato liquido mediante il condensatore (punto 3-2). Successivamente, passa attraverso la valvola di espansione (punto 3-4), scende di pressione e temperatura, per poi assorbire parte del calore dall'ambiente interno, evaporare e tornare al compressore per ricominciare il ciclo. In genere questi quattro punti del ciclo si dividono tra l'unità interna e l'unità esterna del condizionatore, tuttavia è possibile trovarle in un'unica macchina e in quel caso si parlerà di unità "monoblocco" (per motivi costruttivi generalmente l'efficienza di queste macchine è più bassa).

L'efficienza di una macchina frigorifera viene espressa mediante un coefficiente di prestazione (COP, dall'inglese "Coefficient of Performance"), definito dal rapporto tra l'energia che si ottiene e quella che si spende:

$$COP = \frac{Q_a}{|W|}$$

In particolare, "Qa" è il calore assorbito dal gas (e quindi sottratto dalla sorgente fredda), mentre "W" è il lavoro compiuto dall'ambiente esterno sul sistema.

Un condizionatore, oltre a raffrescare un ambiente in estate, può riscaldarlo in inverno invertendo il ciclo frigorifero. Per fare ciò richiede alcuni componenti particolari, tra cui: una valvola a più vie che inverte il flusso del refrigerante e degli scambiatori di calore che possano lavorare alternativamente come evaporatori e condensatori.

Un'ultima distinzione che possiamo fare è tra condizionatori on-off e ad inverter. La prima categoria di macchine ha un meccanismo più semplice ed economico: emette un flusso

costante di aria fredda fino al raggiungimento della temperatura ambientale impostata sul termostato, per poi spegnersi. La macchina ad inverter opera in un primo momento come quella on-off emettendo aria fredda, tuttavia man mano che ci si avvicina alla temperatura desiderata il flusso cala gradualmente fino a funzionare con la potenza minima necessaria al mantenimento della temperatura ambientale richiesta. Questo permette una miglior efficienza energetica e un maggior comfort ambientale.

## **2.4 Fornitori e clienti**

Dalla fine del 2020, il mercato dei condizionatori di precisione dell'azienda è in forte crescita, con una richiesta di volumi produttivi sempre maggiori. Per questo motivo, sia il portafoglio fornitori, che quello clienti, è in continua espansione. Per quanto riguarda quello dei fornitori, di cui al momento ne fanno parte una trentina circa, si può suddividere nelle seguenti categorie merceologiche:

1. Lamiera (12 fornitori)
2. Scambiatori di calore (5 fornitori)
3. Componenti elettronici (5 fornitori)
4. Tubi e raccorderia (5 fornitori)
5. Ventilatori (2 fornitori)
6. Materiali di consumo (2 fornitori)
7. Pallet e gabbie (2 fornitori)

Quando possibile, si è deciso di optare per fornitori locali situati nel Pavese. Questa scelta, oltre a ridurre i tempi di trasporto con tutti i vantaggi che ne conseguono, ha permesso di diminuire i costi di trasporto.

Dato l'aumento dei volumi produttivi, ed avendo una capacità limitata nel magazzino, da fine 2020 si è deciso di analizzare e migliorare la gestione delle scorte a magazzino. Per questa analisi sono stati presi in considerazione due aspetti: l'indice di rotazione del materiale, preferendo quindi una scorta dei materiali maggiormente utilizzati e la loro disponibilità/lead time, in questo secondo caso preferendo tutti quei materiali con lunghe tempistiche di approvvigionamento o una generale scarsità dettata dal difficile periodo

storico. Infatti, a partire dalla fine del 2020, a causa degli effetti della pandemia sull'economia mondiale, si è riscontrata una forte crisi delle materie prime. Tra i fornitori più impattati abbiamo riscontrato chi produce: lamiera, ventilatori e componenti elettronici. Per queste tre categorie merceologiche si è di conseguenza deciso, ove possibile, di aumentarne le scorte.

Passando invece ai clienti, il portafoglio attuale è composto da una cinquantina di aziende, di cui 15 filiali Mitsubishi Electric. I mercati maggiormente sviluppati sono quello europeo e quello asiatico, anche se, mediante il lancio di nuove gamme prodotti, si punta ad un continuo ampliamento della clientela. Nel corso del 2020, si è vista una contrazione della domanda durante il periodo di lockdown, seguita però da una forte crescita dei volumi a partire dalla fine dell'anno.

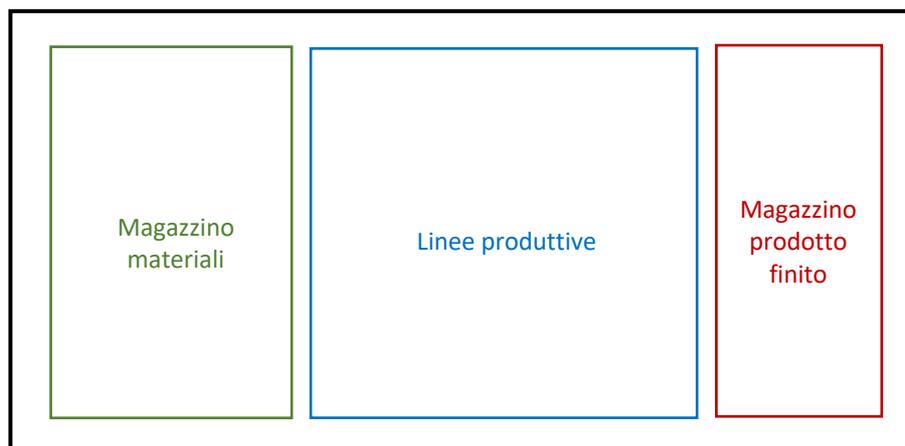
## **2.5 Plant produttivo**

Durante la realizzazione del progetto di tesi si è concluso il programma "One Factory", iniziato a Gennaio 2020 e con il quale si è concentrata la produzione in un unico stabilimento. Più precisamente, le linee produttive di Zeccone (stabilimento "M23", Pavia) sono state progressivamente spostate a Valle Salimbene (stabilimento "M21", Pavia).

Zeccone, nonostante la struttura più piccola, ospitava la gamma di prodotti con maggiori volumi produttivi: condizionatori ad aria di precisione e condensatori remoti, lasciando invece a Valle Salimbene la gamma rack cooling, i condizionatori monoblocco e gli split. Tra gli aspetti positivi di questa centralizzazione si riscontra: una riduzione dei costi fissi e una gestione semplificata di persone e materiali. Tuttavia, accentrando la produzione, ne è conseguita una riduzione dello spazio a disposizione portando, seppur in maniera limitata, ad alcuni svantaggi. In particolare ad essere stati penalizzati sono stati i magazzini delle materie prime e del prodotto finito, si è quindi deciso di intraprendere alcuni accorgimenti: analizzando l'indice di rotazione delle materie prime si è optato per abbassare le scorte dei materiali meno utilizzati e, ove possibile, si sono aumentate le scorte presenti nei magazzini dei fornitori. È stato inoltre liberato dello spazio analizzando le giacenze a magazzino e rottamando i materiali ormai in disuso. Avendo poi meno spazio per lo stoccaggio del prodotto finito, e trattandosi di una produzione "Make to Order", ovvero realizzando i prodotti in seguito alla richiesta di un cliente, si è deciso di introdurre un processo di

sollecito di ritiro per la merce pronta, offrendo la possibilità di fruire lo stoccaggio in un magazzino esterno a carico del cliente. La strategia di una produzione “Make to Order” è una scelta obbligata per via dei prodotti altamente configurabili sulla base delle necessità dell’acquirente. È infatti possibile richiedere la produzione di macchine “speciali”, ovvero con accessori o soluzioni tecniche sviluppate ad hoc per soddisfare l’esigenza di ciascun cliente, qualora non fosse possibile con le macchine a listino. Di contro, il lead time è certamente superiore a prodotti realizzati “Make to Stock” e quindi immediatamente disponibili alla spedizione.

Ad oggi, la produzione è interamente realizzata all’interno dello stabilimento M21 di Valle Salimbene, il quale al momento ospita nove linee produttive. Il layout dello stabilimento è così composto: al centro abbiamo le linee produttive, mentre agli estremi sono presenti il magazzino delle materie prime e del prodotto finito. Osservando lo schema riportato in Figura 2.9, il flusso produttivo parte da sinistra e procede verso destra.



*Fig. 2.9 Schema del layout dello stabilimento produttivo M21*

I materiali, ordinati dagli approvvigionatori dopo il rilascio della distinta di un ordine, vengono generalmente consegnati qualche giorno prima della produzione della macchina e sono momentaneamente stoccati nel magazzino dei materiali (Fig. 2.10). Qui vengono disposti in base al loro ingombro e il loro indice di rotazione: i materiali più utilizzati saranno posizionati nei ripiani in basso mentre i materiali meno utilizzati in quelli più in alto. I materiali più ingombranti, come gli scambiatori di calore, sono invece portati all’interno dello stabilimento solamente quando necessari in produzione.



*Fig 2.10 Magazzino materiali*

Successivamente, seguendo il piano di produzione, i magazzinieri preparano i carrelli con i materiali indicati in distinta per la realizzazione delle macchine e li portano nella linea produttiva appropriata. Qui le macchine vengono realizzate attraversando cinque postazioni nel quale vengono effettuate le varie fasi produttive: assemblaggio, impianto frigo, impianto elettrico, collaudo e finitura (Fig. 2.11).



*Fig. 2.11 Linee produttive*

Infine, le macchine vengono portate nel magazzino prodotto finito dove, dopo essere state opportunamente imballate, vengono momentaneamente stoccate in attesa che il cliente le ritiri (Fig 2.12).



*Fig. 2.12 Magazzino prodotto finito*

Dato lo spazio limitato, qualora il cliente decida di non ritirare l'ordine nell'immediato, si trasferiscono le unità prodotte in un magazzino esterno.

### 3. Analisi del processo di programmazione della produzione

Nel presente capitolo, partendo dall'illustrazione del flusso di lavoro relativo agli ordini di vendita inseriti nel sistema gestionale SAP, si passa ad analizzare il processo di pianificazione della produzione as-is individuandone i limiti, che saranno superati mediante lo sviluppo di un tool in Excel come descritto al paragrafo 3.4.

#### 3.1 Flusso degli ordini di vendita nel sistema gestionale SAP

Trattandosi di una produzione prettamente make to order, l'inserimento dell'ordine avviene inseguito ad una trattativa avvenuta con successo tra il reparto commerciale dell'azienda e il cliente. In questa fase, è compito del Back Office inserire nel sistema gestionale SAP l'ordine di vendita: un codice numerico a nove cifre, definito come Ordine di Vendita (OV) o Numero Documento (NrDoc), nel quale sono indicati i modelli ed i quantitativi di macchine richiesti dal cliente. Ogni riga dell'ordine è identificata da un numero multiplo di dieci che prende il nome di "posizione" (Pos). In seguito il Back Office rilascia l'ordine che apparirà quindi nel workflow (WF) del pianificatore. In Figura 3.1 è riportato un esempio della schermata del WF del pianificatore: in questo caso il cliente dell'ordine di vendita 220201311, cerchiato in rosso, ha richiesto dei condizionatori ad acqua con tre configurazioni differenti, al quale sono state associate le posizioni 90, 100 e 110.

NrDoc	Pos	LvRev	Quantita	Revoca	Mat	Caratteristica CV_ARKTX	Caratteristica CV_SPECIALE
0220200653	10	0000000000001	2,000		BH5150...	SPLIT EVO INV IN 0051	Standard
0220201311	<u>90</u>	0000000000002	6,000		BT21300...	w-NEXT3 O 013 F1 <H>	Speciale
0220201311	<u>100</u>	0000000000002	3,000		BT22200...	w-NEXT3 O 022 F2 <H>	Speciale
0220201311	<u>110</u>	0000000000002	1,000		BT21100...	w-NEXT3 O 011 F1 <H>	Speciale

Fig. 3.1 Esempio del WF del pianificatore

In questo flusso, il pianificatore compie tre azioni: crea l'ordine di produzione (ODP), ne pianifica la produzione e conferma la data di consegna al cliente.

Per modelli standard, quindi con optional e configurazioni presenti a listino, e per ordini inferiori alle cinque unità, il lead time (LT) per ogni modello di macchina è consultabile dai

clienti sul sito di Mitsubishi Electric. Nel caso invece di ordini speciali o quantitativi elevati, sarà il pianificatore a valutare la data di consegna corretta, dopo essersi confrontato con i colleghi che si occupano degli approvvigionamenti e l'Ufficio Tecnico (UT). Quest'ultimo infatti stimerà le tempistiche per lo sviluppo della specialità e i possibili materiali impattati dalla modifica, mentre gli approvvigionatori, dopo aver contattato i fornitori, valuteranno le tempistiche di consegna per i nuovi materiali.

Dopo la creazione dell'ODP, l'opportuna pianifica e la conferma della consegna, l'ordine di vendita prosegue contemporaneamente nel WF del Continuous Improvement (CI) e dell'UT (Fig. 3.2). Il CI si occupa di controllare e revisionare i tempi di produzione caricati a sistema per la tipologia di prodotto inserita, mentre l'UT ha il compito di controllare e rilasciare la distinta.

Dopo il rilascio della distinta, SAP genera una Richiesta d'Acquisto (RdA) per i materiali impegnati e gli approvvigionatori effettuano gli ordini ai diversi fornitori.

Dopo che Produzione ha realizzato le macchine e i Documentali hanno versato gli ordini di produzione associati all'ordine di vendita, passaggio che serve a scaricare la giacenza dei materiali in SAP e creare una giacenza prodotto finito sul magazzino cliente, il flusso si conclude con il Back Office (BO) che invia l'avviso di merce pronta (AMP) al cliente e genera una bolla di spedizione per il ritiro delle merci (Fig. 3.2).

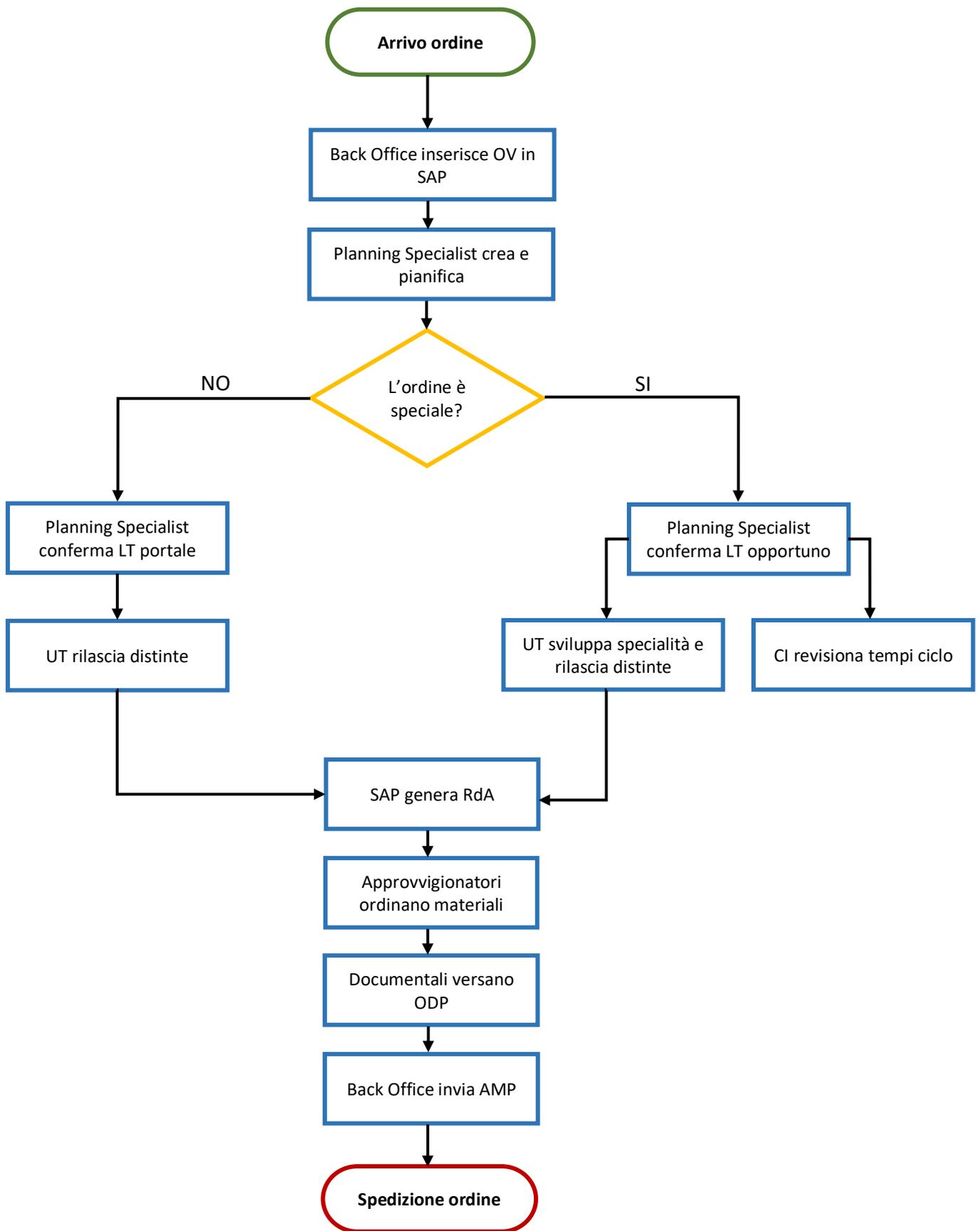


Fig 3.2 Flow chart dell'ordine di vendita nel sistema gestionale SAP

### 3.2 Flusso pianificazione della produzione

La prima fase di pianificazione avviene durante la creazione dell'ODP: dopo aver analizzato la quantità, la consegna ed il modello di condizionatore richiesto, e quindi capito su quali linee produttive potrà potenzialmente essere realizzato, si va ad osservare nella transazione "CM25" il carico di ciascuna linea in modo da individuare quella più opportuna. La "CM25" è divisa in due aree (Fig. 3.3): nella parte sottostante, "Ordini (lav.inev.)", è dove vengono riportate le macchine ancora da pianificare dopo che ne è stato creato l'ordine di produzione, invece nella parte superiore, "Ordini (pianificati)", troviamo le macchine già pianificate nella linea di produzione.

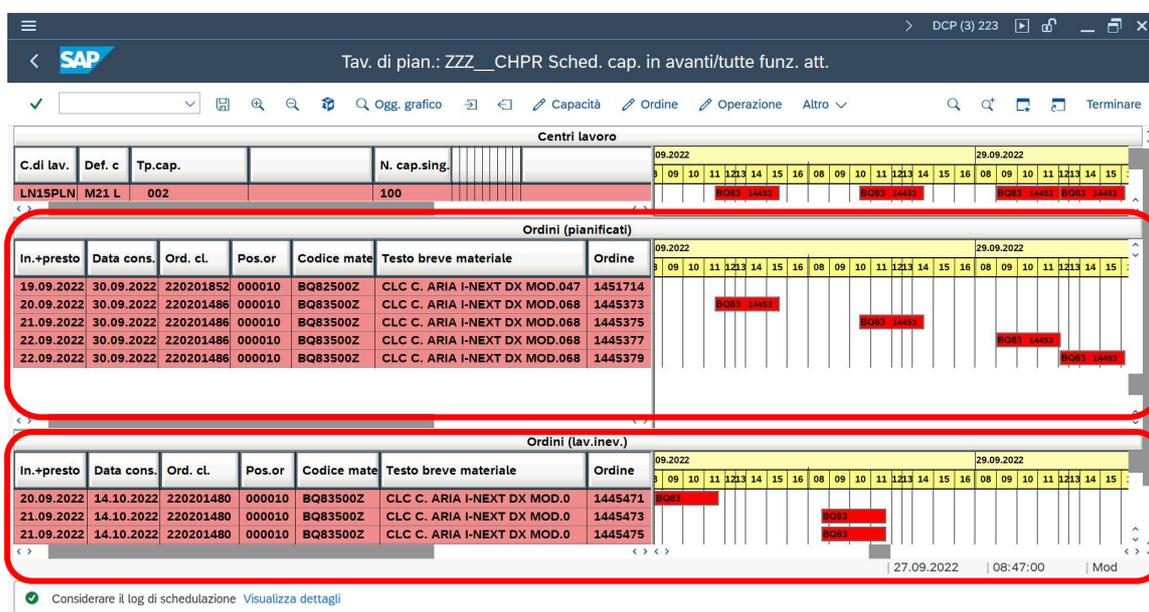


Fig. 3.3 Schermata della CM25

Ad ogni ordine di produzione, e quindi ad ogni macchina, è associata una barra rossa nel diagramma di Gantt rappresentato nella CM25 (Fig. 3.4) il quale verrà spostato nell'area di lavoro superiore per essere pianificato. A sinistra di ogni singola barra troviamo diverse informazioni relative ad esso, tra cui: la data di inizio scelta, la consegna richiesta dal cliente, il modello della macchina e l'ordine di produzione associato.

Codice mate	Testo breve materiale	Ordine	09.2022									
			08	09	10	11	12	13				
BQ83500Z	CLC C. ARIA I-NEXT DX MOD.0	1445471										

Fig. 3.4 Rappresentazione delle unità da produrre nella CM25

In giallo (Fig. 3.5) è rappresentata una timeline il quale indica la data di fine produttiva prevista per i condizionatori pianificati, trascinando lungo questa linea temporale le barre rosse varieranno anche le loro date di inizio produttivo.

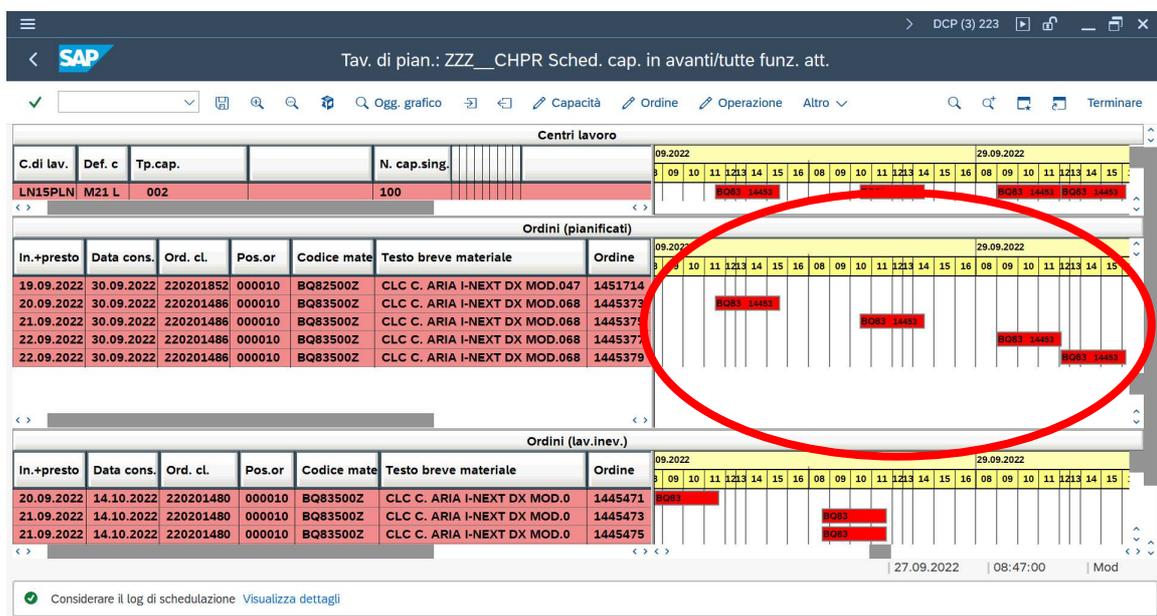


Fig.3.5 Area di lavoro del pianificatore nella CM25 (Cerchiata in rosso)

Durante questa fase, è compito del pianificatore decidere quante macchine caricare per giorno sulla base della propria esperienza, eventualmente confrontandosi con i team leader di produzione.

Una volta a settimana, il pianificatore verifica il carico produttivo dei mesi successivi in una riunione in cui partecipano il Plant Manager, il Logistics Manager e il Production Manager. Durante questa riunione, grazie all'utilizzo del software Microsoft Power BI, si osserva il fatturato previsto nei mesi successivi, calcolato sulla base della data di versamento macchina indicato in SAP. La data di versamento, o di fine produzione, è stimata da SAP aggiungendo alla data di inizio produzione scelta dal pianificatore un tempo di attraversamento fisso, dettato dalla linea produttiva su cui è stata pianificata l'unità,

generalmente compreso tra i tre e i cinque giorni produttivi. Nel caso di settimane con un carico di lavoro non adeguato agli obiettivi di fatturato dell'azienda, il Planning Specialist procede con la ripianifica delle linee, aggiungendo o riducendo il numero di unità a seconda del caso in cui ci si trova. Questo incontro permette quindi di aggiustare la pianificazione a lungo termine, sebbene si tratti di un'approssimazione visto che il carico produttivo viene valutato in termini di fatturato previsto e non di ore-lavoro caricate.

Per quanto riguarda la pianifica a breve termine invece, quindi l'arco temporale che copre la settimana in corso e quella successiva, vengono effettuate due riunioni: la prima in cui si valuta con i team leader di produzione la quantità e la tipologia di macchine da produrre, mentre nella seconda vengono verificati con gli approvvigionatori le date di consegna dei materiali per le macchine prossime alla produzione. Come per la pianificazione a lungo termine, anche quella a breve è frutto di approssimazioni, infatti il carico lavorativo settimanale è stimato sull'esperienza dei team leader e non su dati reali di ore-lavoro caricate. Dopo queste due riunioni, con i team leader e gli approvvigionatori, vengono effettuati eventuali aggiustamenti al piano di produzione in SAP che, in seguito ad una esportazione in Excel e all'utilizzo di una macro che ne personalizza il layout, viene stampato e distribuito in magazzino e nelle linee di produzione.

In Figura 3.6 si vede un esempio di piano di produzione di alcune linee produttive in settimana 47 del 2022. Da sinistra verso destra sono riportate le informazioni relative a: la linea produttiva di riferimento, la data di inizio produttiva prevista, la data di fine produttiva prevista, la data di consegna verso il cliente, l'ordine di vendita, la posizione, l'ordine di produzione, la descrizione del modello da produrre, se l'unità è standard o speciale e il nome del cliente. Sulla base del piano i magazzinieri preparano i carrelli con i materiali presenti in distinta delle unità da produrre e li portano nella linea indicata.

Linea	Inizio	Fine	Consegna	OV	Pos	OdP	Descrizione
LN11	21/11/22	25/11/22	07/12/22	220202983	10	1492072	W-AV2 K U/S 210 E9
LN11	22/11/22	28/11/22	07/12/22	220202983	10	1492073	W-AV2 K U/S 210 E9
LN11	22/11/22	28/11/22	07/12/22	220202983	10	1492074	W-AV2 K U/S 210 E9
LN11	23/11/22	29/11/22	07/12/22	220202983	10	1492075	W-AV2 K U/S 210 E9
LN11	24/11/22	30/11/22	07/12/22	220202983	10	1492077	W-AV2 K U/S 210 E9
LN11	24/11/22	30/11/22	07/12/22	220101354	10	1500597	I-NEXT DX O/S 047 E5
LN11	25/11/22	01/12/22	07/12/22	220101354	10	1500598	I-NEXT DX O/S 047 E5
LN11	25/11/22	01/12/22	07/12/22	220101354	10	1500599	I-NEXT DX O/S 047 E5
LN12	21/11/22	24/11/22	25/11/22	220202622	80	1472344	HED 0011
LN12	21/11/22	24/11/22	25/11/22	220202622	80	1472345	HED 0011
LN12	22/11/22	25/11/22	25/11/22	220202622	80	1472348	HED 0011
LN12	22/11/22	25/11/22	25/11/22	220202622	80	1472350	HED 0011
LN12	22/11/22	25/11/22	02/12/22	220202622	130	1472341	i-HED 0051
LN12	23/11/22	28/11/22	02/12/22	220202622	130	1472342	i-HED 0051
LN12	23/11/22	28/11/22	02/12/22	220202622	30	1472353	i-HED 0031
LN12	24/11/22	29/11/22	02/12/22	220202622	30	1472354	i-HED 0031
LN12	24/11/22	29/11/22	02/12/22	220202622	30	1472356	i-HED 0031
LN12	25/11/22	30/11/22	02/12/22	220202622	30	1472357	i-HED 0031
LN12	25/11/22	30/11/22	02/12/22	220202622	30	1472358	i-HED 0031
LN13	21/11/22	23/11/22	04/11/22	220203976	10	1542588	PLENUM F2 CON BOCCHETTE
LN13	21/11/22	23/11/22	09/12/22	220202831	20	1476991	s-MEXT-G00 DX U 022 S F2 <H>
LN13	22/11/22	24/11/22	09/12/22	220202831	40	1477129	s-MEXT G00 DX U 013 S F1 <H>
LN13	22/11/22	24/11/22	09/12/22	220202831	40	1477132	s-MEXT G00 DX U 013 S F1 <H>
LN13	22/11/22	24/11/22	02/12/22	220202879	10	1489408	w-MEXT U 016 F2 <H>
LN13	23/11/22	25/11/22	07/12/22	220203143	110	1502012	PLENUM F1 CON SETTI AFO.
LN13	23/11/22	25/11/22	09/12/22	220202940	10	1490046	w-MEXT O 011 F1 <H>
LN13	24/11/22	28/11/22	07/12/22	220203247	10	1506782	s-MEXT-G00 DX O 013 S F1 <H>
LN13	25/11/22	29/11/22	09/12/22	220202980	10	1500470	s-MEXT-G00 DX U 028 S F3 <H>
LN14	21/11/22	25/11/22	09/12/22	220101428	20	1506392	T-NEXT DX U 048 E5
LN14	22/11/22	28/11/22	07/12/22	220203322	40	1511000	T-NEXT DX O 016 E2
LN14	23/11/22	29/11/22	07/12/22	220203322	110	1511002	T-NEXT DX U 022 E3
LN14	24/11/22	30/11/22	16/12/22	220101394	10	1501833	I-NEXT DX O 022 E3
LN14	25/11/22	01/12/22	16/12/22	220203137	20	1501827	T-NEXT DX U 062 E6
LN15	21/11/22	25/11/22	02/12/22	220202951	10	1489985	I-NEXT DX O 030 E4
LN15	22/11/22	28/11/22	07/12/22	220101354	20	1500602	I-NEXT DX O/S 030 E4
LN15	23/11/22	29/11/22	07/12/22	220203189	10	1501883	T-NEXT DX U 048 E5
LN15	24/11/22	30/11/22	07/12/22	220203189	10	1501884	T-NEXT DX U 048 E5
LN15	25/11/22	01/12/22	16/12/22	220202305	30	1465687	T-NEXT DX O 014 E2
LN16	21/11/22	25/11/22	16/12/22	220203401	20	1509714	T-NEXT DL DX 037 E4
LN16	22/11/22	28/11/22	09/12/22	220203218	10	1502251	T-NEXT DW U 026 E3
LN16	23/11/22	29/11/22	02/12/22	220202976	10	1494655	I-NEXT DX O 022 E3
LN16	24/11/22	30/11/22	02/12/22	220202976	10	1494706	I-NEXT DX O 022 E3
LN16	25/11/22	01/12/22	16/12/22	220202314	10	1464946	I-NEXT DX U 018 E2

Fig. 3.6 Esempio di piano produttivo delle linee 11, 12, 13, 15 e 16 in settimana 47 del 2022

### **3.3 Limiti/problemi pianificazione della produzione as-is**

L'attuale processo di pianificazione della produzione, sebbene abbia diverse tipologie di controllo, presenta alcuni limiti dovuti alla mancanza di uno strumento che supporti la pianificazione mediante l'elaborazione di dati reali incrociando le ore-uomo disponibili e le ore-lavoro associate alle unità da produrre.

Come anticipato al paragrafo 3.2, il carico produttivo a lungo termine viene verificato e bilanciato osservando il versato monetario settimanale previsto in Microsoft Power BI con i dati estrapolati da SAP. Tuttavia, non tutte le gamme prodotto sono redditive allo stesso modo e quindi non essendoci una corrispondenza costante tra le ore-lavoro e il fatturato previsto, si rischia di commettere delle imprecisioni in termini di pianificazione.

A breve termine invece, il carico produttivo viene valutato con il supporto dei team leader di produzione che suggeriscono se lo ritengono adeguato o meno in base al numero e alle tipologie di macchine caricate per ogni linea produttiva. In questo caso il limite principale è dettato dall'elevata variabilità degli accessori che possono essere montati su ciascuna unità, con un conseguente impatto in termini di ore produttive rispetto al tempo medio standard di realizzazione che viene generalmente considerato dai team leader. Inoltre, data l'elevata gamma di prodotti presenti a listino, senza uno strumento risulta complesso tenere in considerazione i tempi di ciascuna fase produttiva, l'eventuale individuazione di colli di bottiglia e la corretta distribuzione degli operatori tra le linee.

Da queste approssimazioni, ne consegue una pianificazione con un certo margine d'errore a cui corrisponde un carico produttivo non adeguato alle ore-uomo disponibili. Una pianificazione poco precisa impatta sul lavoro di tutte le funzioni aziendali che interagiscono con la produzione. Se, ad esempio, gli approvvigionatori chiedono ai fornitori di farsi portare più materiale di quello necessario, si rischia una saturazione del magazzino, mentre, nel caso in cui la fornitura fosse stata sottostimata, si rischia di non farsi consegnare materiale a sufficienza e le linee produttive dovranno rallentare.

Anche il lavoro di Magazzino e Produzione è strettamente legato alla pianificazione, nel caso di un carico lavorativo non adeguato ne consegue una gestione del lavoro non ottimale con una conseguente perdita di efficienza.

### 3.4 Strumento in Excel a supporto della programmazione

Per via dei limiti evidenziati nel paragrafo 3.3, il Plant Manager ha chiesto di realizzare uno strumento a supporto della pianificazione della produzione che incrociasse il carico lavorativo con le ore uomo-disponibili per ciascuna linea produttiva, tenendo in considerazione di dati monitorati nel tempo quali efficienza di linea e assenteismo medio. L'obiettivo è quindi di riuscire a migliorare il processo di controllo della pianificazione in modo da arrivare ad un carico lavorativo congruo alle risorse disponibili e, in secondo luogo, supportare i team leader nella distribuzione degli operatori individuando le fasi delle linee produttive maggiormente cariche.

#### 3.4.1 Il diagramma Yamazumi

Si è partiti dalla realizzazione in Excel di uno Yamazumi (Sabadka, Molnár, Fedorko e Jachowicz, 2017), dal giapponese "impilare", ovvero un diagramma a barre impilate che permette di visualizzare i carichi di lavoro, e come sono distribuiti, all'interno di una linea produttiva. In Figura 3.7 si vede l'esempio di un diagramma Yamazumi per una linea a quattro fasi, riportate sull'asse delle ascisse: assemblaggio (ASB), impianto frigo (IMF), impianto elettrico (IME) e collaudo (COL). Sull'asse delle ordinate si trova invece il tempo lavoro espresso in ore, mentre la linea tratteggiata in rosso è il takt time.

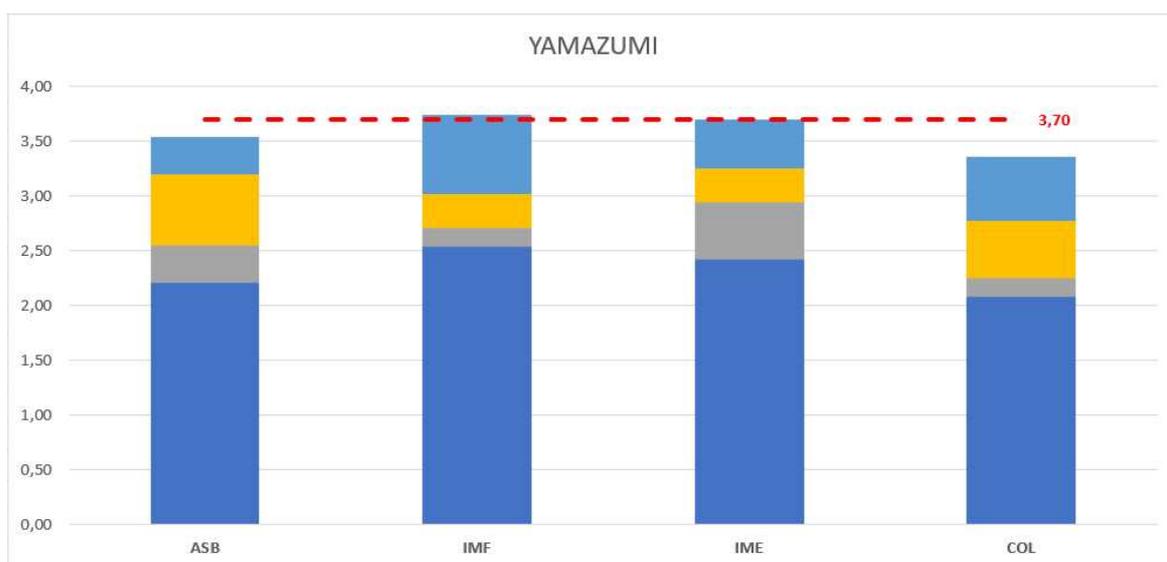


Fig. 3.7 Esempio di un diagramma Yamazumi, sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

Il takt time, termine di origine tedesca, indica il ritmo che deve avere un processo produttivo per soddisfare la domanda del cliente.

Si calcola dividendo il tempo di produzione disponibile per soddisfare la richiesta ed il numero di unità da produrre [14]:

$$Takt\ time = \frac{tempo\ disponibile\ (ore\ lavoro)}{n^{\circ}\ unità\ da\ produrre}$$

Nel tool sviluppato, il takt time assume un significato leggermente diverso: il tempo disponibile è fissato ad una settimana lavorativa, generalmente pari a 40 ore, mentre il numero di unità da produrre non è imposto dal mercato/cliente bensì è il numero di unità pianificate in quella settimana.

Nello Yamazumi in Figura 3.7 si vede che deve essere prodotta un'unità ogni 3,7 ore per soddisfare il carico di lavoro settimanale. Nel caso in cui una fase produttiva richiedesse più di 3,7 ore, e quindi la sua colonna impilata superasse il takt time tratteggiato in rosso, ci sarebbe un collo di bottiglia che impedirebbe di raggiungere l'obiettivo di unità da produrre quella settimana (Fig 3.8).

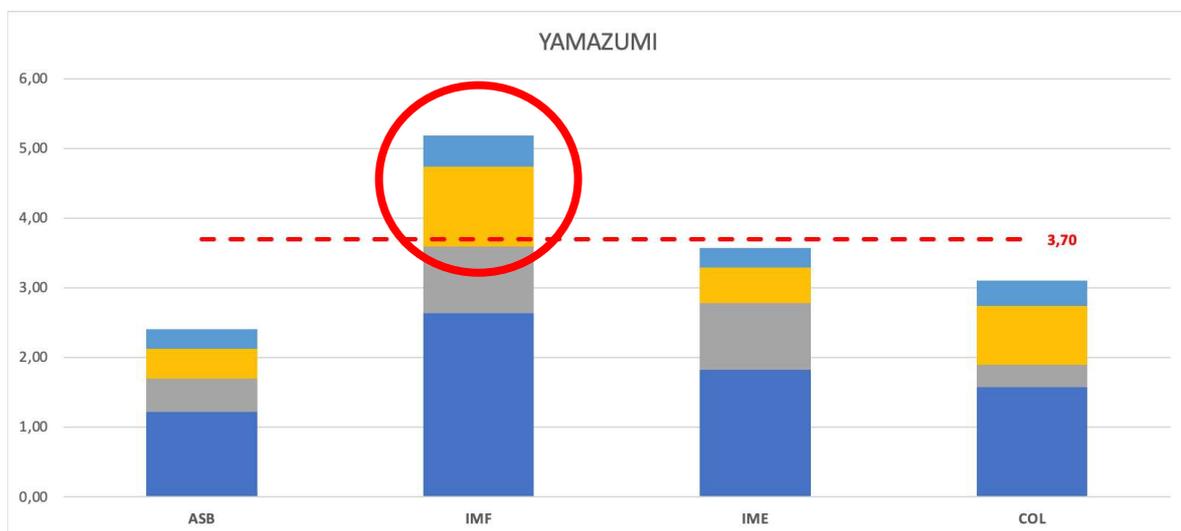


Fig. 3.8 Esempio di collo di bottiglia rappresentato in un grafico Yamazumi (cerchiato in rosso), sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

Un collo di bottiglia, ovvero la fase di lavoro più lunga rispetto le altre, crea non pochi disagi in linea: nell'esempio di Figura 3.8, le unità avanzano velocemente in fase di assemblaggio

ma si bloccano in buffer appena prima della postazione frigo, mentre gli operatori all'impianto elettrico e al collaudo si scaricano di lavoro non ricevendo le unità da produrre con la stessa velocità con cui smaltiscono il proprio carico lavorativo. Tutto ciò, oltre a causare inefficienza, comporta il non raggiungimento del target settimanale di unità da produrre. Di conseguenza, nel caso di una fase collo di bottiglia che supera il takt time, si opera solitamente in uno dei seguenti modi:

- *Aumento degli operatori sulla fase critica*: se la quantità di postazioni della linea produttiva e il numero di operatori disponibili lo permette, si aumenta il numero di lavoratori sulla fase critica in modo da far scendere il tempo di produzione al di sotto del takt time. Avendo constatato una perdita di efficienza facendo lavorare due persone sulla stessa postazione, si è deciso di "potenziare" le fasi delle linee più critiche raddoppiando, ed in certi casi triplicando, il numero di postazioni disponibili per fase. Nell'esempio riportato in Figura 3.8 sarebbe sufficiente adoperare un operatore e mezzo per riportare il tempo della fase frigo in prossimità del takt time (Fig. 3.9). Impiegare una persona e mezzo significa lavorare in maniera costante con un frigorista e, quando necessario, attivare la seconda postazione frigo per smaltire le macchine a buffer dopo l'assemblaggio.

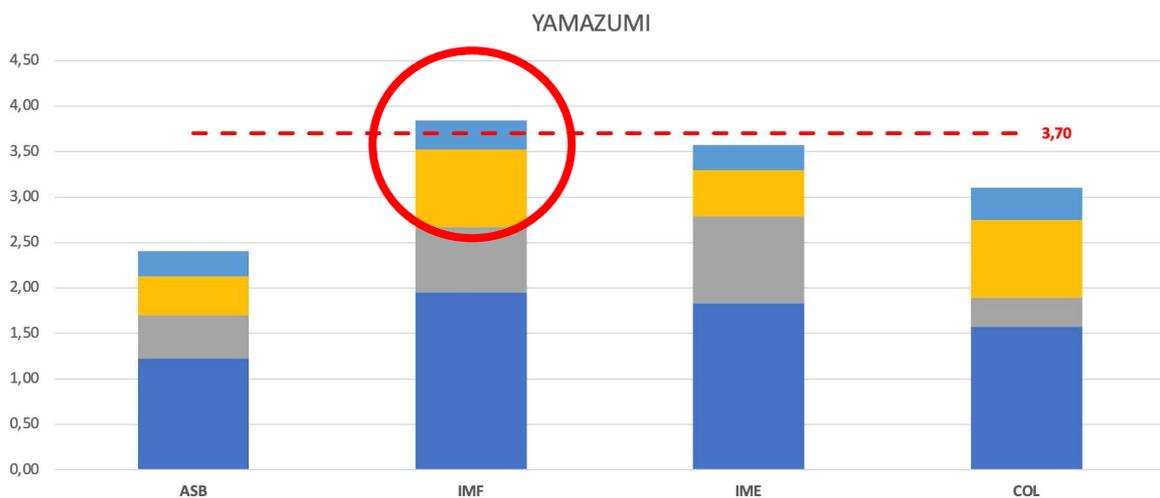


Fig. 3.9 Riduzione dei tempi in fase frigo aumentando il numero di operatori, sulle ordinate è indicato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

- *Ridistribuzione del carico tra le fasi di lavoro:* nel caso in cui una fase produttiva fosse molto più lunga delle altre, si può valutare una redistribuzione del carico, ovvero spostare parte delle attività svolte nella fase più carica su quelle meno sature. Nell'esempio riportato in Figura 3.8 vediamo un picco in fase frigo, mentre la fase di assemblaggio è meno carica rispetto le altre. In quel caso, si potrebbe valutare di spostare alcune attività preliminari svolte nella postazione frigo sull'operatore che si occupa dell'assemblaggio (Fig. 3.10).

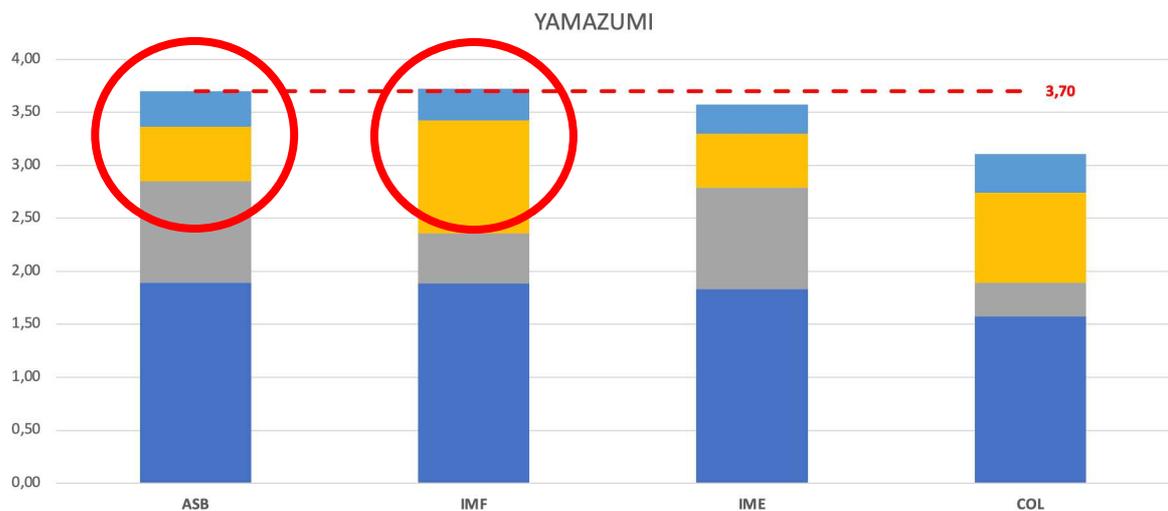


Figura 3.10 Ribilanciamento del carico tra la postazione frigo e quella di assemblaggio, sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

- *Ridistribuzione del carico tra linee e/o in più settimane:* nel caso in cui non fosse possibile aumentare il numero di operatori sulla fase critica o ribilanciare la linea spostando parte del lavoro in fasi meno cariche, allora si deve redistribuire l'extra carico lavorativo su altre linee e/o in più settimane. In caso di linee scariche, si possono spostare su di esse le unità in eccesso, a patto che la struttura della linea produttiva sia idonea a produrre i modelli di condizionatore che si vogliono trasferire. In genere i limiti principali sono dettati dalla capacità di sollevamento delle pedane, quindi non si potrà mettere un'unità di grosse dimensioni su una linea che produce macchine piccole, e la tipologia di macchina che si realizza: una linea dedicata ai condizionatori ad acqua non potrà realizzare quelli a gas. Nel caso in cui non fosse possibile fare spostamenti tra linee, allora si sposta l'extra carico alla settimana successiva, facendo attenzione che le nuove ore-lavoro pianificate siano

coerenti con la capacità della linea. In genere si preferisce abbassare il carico lavorativo di una linea in questo modo solo quando ci sono più fasi oltre il takt, in caso contrario si rischia di scaricare troppo le altre fasi (Fig. 3.11) e dover spostare gli operatori su altre linee durante la settimana lavorativa. Nell'esempio riportato in figura 3.11, vediamo come aver trasferito parte delle unità su altre linee produttive, o nella settimana successiva, oltre ad aver abbassato l'altezza delle colonne, ha ridotto il takt time passando da 3,7 a 4,97 ore. Ne consegue che tutte le fasi, tranne quella dell'impianto frigo, risultano essere scariche.

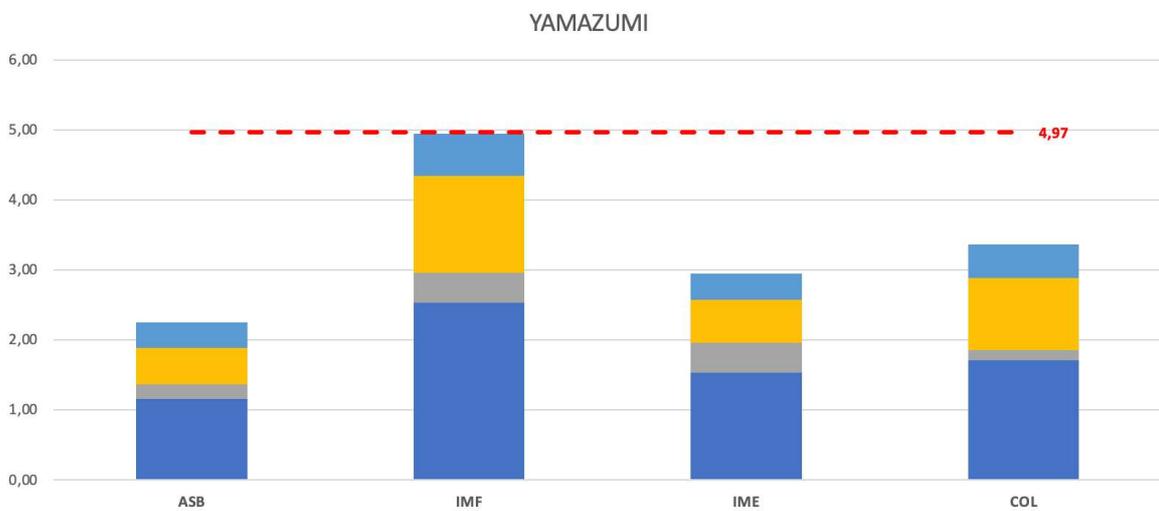


Fig. 3.11 Grafico Yamazumi dopo aver spostato parte delle unità, sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

- ***Straordinario:*** nel caso in cui ci fosse la necessità di smaltire un extra carico ma non si potesse usare uno dei metodi illustrati in precedenza, allora si procede con lo straordinario lavorativo da parte dei lavoratori di una certa fase produttiva, di una linea o dell'intero stabilimento, a seconda della necessità.



Per quanto riguarda la costruzione del diagramma Yamazumi, ogni colonna è composta da più “blocchetti” impilati che rappresentano l’impatto che ha ciascun modello su quella fase produttiva (Fig. 3.12). L’altezza di ciascun blocchetto si ottiene moltiplicando il tempo previsto da un certo modello di macchina in quella fase produttiva per la “percentuale di carico”, ovvero il rapporto tra la quantità di pezzi da produrre del modello a cui si riferisce e la quantità totale. L’altezza totale della barra di una certa fase produttiva sarà data dalla somma dei blocchetti che la compongono.

$$\% \text{ Carico} = \frac{\text{Qtà pezzi}}{\text{somma totale "Qtà pezzi"}}$$

$$\text{Carico ASB1} = \text{Tempo Previsto ASB1} * \% \text{ Carico}$$

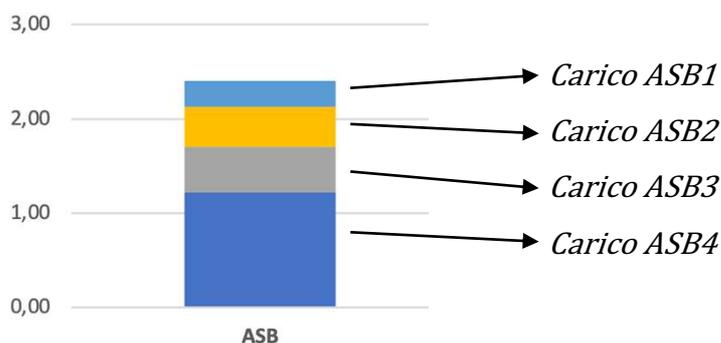


Fig. 3.12 Colonna impilata dell’assemblaggio in un diagramma Yamazumi, sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse la fase produttiva (assemblaggio)

$$\text{Carico Fase ASB} = \text{Carico ASB1} + \text{Carico ASB2} + \text{Carico ASB3} + \text{Carico ASB4}$$

Successivamente, si è deciso di migliorare lo strumento introducendo la possibilità di tenere in considerazione nello Yamazumi parametri come l’assenteismo e l’efficienza, sia come valori reali ottenuti a consuntivo dai mesi precedenti, sia come valori target imposti dall’azienda. Sono state quindi aggiunte due righe in verde e arancione (Fig. 3.13) nel quale viene calcolato il numero di operatori necessari per fase, con assenteismo ed efficienza di linea target, e assenteismo ed efficienza di linea reali.

LN11	
Ore lavoro giorno [h/gg]	8,00
Target produzione [pz/gg]	1,50
Ore lavoro [h]	32
N° unità da produrre	6
N° giorni di produzione	4
Takt Time [h]	5,33

	Assenteismo	Efficienza
TARGET	11%	83,40%
REALE	15%	75,00%

%Carico	Modello	Qtà pezzi	Td. Prev RIV	Td. Prev ASV	Td. Prev ASB	Td. Prev IMF	Td. Prev CQE	Td. Prev IME	Td. Prev COL	Td. Prev FIN	TOT
17%	I-NEXT DF DW U 030 E4L	1	0,0	0,0	5,5	9,0	0,0	4,8	2,8	1,5	23,6
17%	I-NEXT DF DW U 030 E4L	1	0,0	0,0	5,5	9,0	0,0	4,8	2,8	1,5	23,6
17%	T-AV DX U/ 102 P2 D E8	1	0,0	0,0	7,2	11,4	0,0	8,2	4,1	2,2	33,1
17%	T-AV DX U/ 146 P4 D E9	1	0,0	0,0	9,2	15,6	0,0	10,6	4,5	2,3	42,2
17%	T-AV DX U/ 146 P4 D E9	1	0,0	0,0	9,2	15,6	0,0	10,6	4,5	2,3	42,2
17%	I-NEXT DX U/S 047 E5	1	0,0	0,0	6,0	5,8	0,0	6,9	2,7	1,7	23,1
	<b>Totale</b>	<b>6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>42,6</b>	<b>66,3</b>	<b>0,0</b>	<b>45,9</b>	<b>21,4</b>	<b>11,5</b>	<b>187,7</b>
	N°operatori/postazioni		0,0	0,0	1,3	2,1	0,0	1,4	0,7	0,4	5,9
	N°operatori/postazioni TARGET		0,0	0,0	1,6	2,5	0,0	1,7	0,8	0,4	7,0
	N°operatori/postazioni REALE		0,0	0,0	1,8	2,8	0,0	1,9	0,9	0,5	7,8

Fig. 3.13 Tabella Yamazumi compilata con valori completi di assenteismo ed efficienza target e reale

### 3.4.3 Automazione dello strumento

Effettuando generalmente analisi che coprono un periodo temporale pari ad un mese e volendo analizzare nel dettaglio il carico di una settimana per volta, si è deciso di realizzare, per ogni linea produttiva, cinque fogli Excel con diagrammi Yamazumi riferiti ad una settimana lavorativa ciascuno. In questo modo, selezionando un foglio, è possibile vedere il numero di persone necessarie e come è distribuito il carico tra le varie fasi in relazione al takt time, per una certa linea produttiva in una determinata settimana del mese analizzato. Con cinque fogli Yamazumi da compilare per ciascuna delle nove linee produttive, è chiaro come a questo punto il limite principale del tool sia rappresentato dai lunghi tempi necessari all'inserimento dei dati. Per questa ragione, si è deciso di automatizzarlo facendo comunicare ciascun foglio Yamazumi con un piano di produzione, direttamente estratto da SAP, personalizzato con un layout che contiene tutte le informazioni necessarie, come ad esempio i tempi di produzione di ciascun modello di macchina. È stato quindi aggiunto un foglio di calcolo, chiamato "Piano M21", nel quale aggiornare di volta in volta il piano di produzione e dal quale, mediante delle funzioni "cerca verticale", si compilano in automatico le tabelle necessarie a far funzionare gli Yamazumi. La funzione "cerca verticale" (cerca.vert) consente di cercare un valore testuale e/o numerico all'interno di una tabella matrice e restituire il contenuto di una delle celle presenti alla sua destra. La tabella matrice in questo caso è il piano di produzione, nel quale è stata aggiunta una colonna che lega ciascuna riga del piano ad un codice univoco (colonna C, Fig 3.14).

W inizio	N. macchina	Codice	Linea	Inizio	Fine	Consegna	OV	Pos	Odp	Cod. Mat.	Modello
44	1	N1W44LN11	LN11	02/11/22	08/11/22	11/11/22	220202729	10	1471554	BQ92000Z	I-NEXT DF DW U 030 E
44	2	N2W44LN11	LN11	02/11/22	08/11/22	11/11/22	220202729	10	1471556	BQ92000Z	I-NEXT DF DW U 030 E
44	3	N3W44LN11	LN11	03/11/22	09/11/22	18/11/22	220202288	30	1464038	BQ78000Z	T-AV DX U/ 102 P2 D E
44	4	N4W44LN11	LN11	03/11/22	09/11/22	18/11/22	220202288	10	1464039	BQ78800Z	T-AV DX U/ 146 P4 D E
44	5	N5W44LN11	LN11	04/11/22	10/11/22	18/11/22	220202288	10	1464040	BQ78800Z	T-AV DX U/ 146 P4 D E
44	6	N6W44LN11	LN11	04/11/22	10/11/22	18/11/22	220202468	30	1467539	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	1	N1W45LN11	LN11	07/11/22	14/11/22	18/11/22	220202468	30	1467541	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	2	N2W45LN11	LN11	07/11/22	14/11/22	18/11/22	220202468	30	1467543	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	3	N3W45LN11	LN11	08/11/22	15/11/22	18/11/22	220202468	30	1467545	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	4	N4W45LN11	LN11	08/11/22	15/11/22	18/11/22	220202468	30	1467547	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	5	N5W45LN11	LN11	09/11/22	16/11/22	18/11/22	220202468	30	1467549	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	6	N6W45LN11	LN11	09/11/22	16/11/22	18/11/22	220202468	30	1467551	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	7	N7W45LN11	LN11	10/11/22	17/11/22	18/11/22	220202468	30	1467553	BQ82500Z	I-NEXT DX U/S 047 E5
45	8	N8W45LN11	LN11	10/11/22	17/11/22	18/11/22	220202855	10	1480589	BQ94000Z	I-NEXT FC DW U 094 E
46	1	N1W46LN11	LN11	14/11/22	18/11/22	18/11/22	220202855	10	1480591	BQ94000Z	I-NEXT FC DW U 094 E
46	2	N2W46LN11	LN11	15/11/22	21/11/22	25/11/22	220202992	10	1491782	BQ78000Z	T-AV DX U 102 E8
46	3	N3W46LN11	LN11	16/11/22	22/11/22	25/11/22	220202868	10	1493855	BQ77200Z	T-AV DX U/S 082 E7
46	4	N4W46LN11	LN11	17/11/22	23/11/22	30/11/22	220202999	20	1491882	BQ76000Z	T-NEXT DX U 055 E6
46	5	N5W46LN11	LN11	17/11/22	23/11/22	25/11/22	220202868	10	1493856	BQ77200Z	T-AV DX U/S 082 E7

Fig. 3.14 Tabella matrice degli Yamazumi

Questo codice è generato in automatico unendo tre valori: l'ordinamento della macchina in una determinata settimana lavorativa (colonna B), la settimana lavorativa di inizio produttivo (colonna A) e la linea su cui è stata caricata l'unità (colonna D).

Lo stesso codice è riportato affianco a ciascuna tabella per lo Yamazumi (Fig. 3.15).

LN11		Assenteismo Efficienza	
Ore lavoro giorno [h/gg]	8,00	TARGET	11% 83,40%
Target produzione [pz/gg]	1,50	REALE	15% 75,00%
Ore lavoro [h]	32		
N° unità da produrre	6		
N° giorni di produzione	4		
Takt Time [h]	5,33		

Codice	%Carico	Modello	Qtà pezzi	Td. Prev RIV	Td. Prev ASV	Td. Prev ASB	Td. Prev IMF	Td. Prev CQE	Td. Prev IME	Td. Prev COL	Td. Prev FIN	TOT
N1W44LN11	17%	I-NEXT DF DW U 030 E4L	1	0,0	0,0	5,5	9,0	0,0	4,8	2,8	1,5	23,6
N2W44LN11	17%	I-NEXT DF DW U 030 E4L	1	0,0	0,0	5,5	9,0	0,0	4,8	2,8	1,5	23,6
N3W44LN11	17%	T-AV DX U/ 102 P2 D E8	1	0,0	0,0	7,2	11,4	0,0	8,2	4,1	2,2	33,1
N4W44LN11	17%	T-AV DX U/ 146 P4 D E9	1	0,0	0,0	9,2	15,6	0,0	10,6	4,5	2,3	42,2
N5W44LN11	17%	T-AV DX U/ 146 P4 D E9	1	0,0	0,0	9,2	15,6	0,0	10,6	4,5	2,3	42,2
N6W44LN11	17%	I-NEXT DX U/S 047 E5	1	0,0	0,0	6,0	5,8	0,0	6,9	2,7	1,7	23,1
N7W44LN11												
<b>Totale</b>			<b>6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>42,6</b>	<b>66,3</b>	<b>0,0</b>	<b>45,9</b>	<b>21,4</b>	<b>11,5</b>	<b>187,7</b>
<b>N°operatori/postazioni</b>				<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,3</b>	<b>2,1</b>	<b>0,0</b>	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>5,9</b>
<b>N°operatori/postazioni TARGET</b>				<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,6</b>	<b>2,5</b>	<b>0,0</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,4</b>	<b>7,0</b>
<b>N°operatori/postazioni REALE</b>				<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>1,8</b>	<b>2,8</b>	<b>0,0</b>	<b>1,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>7,8</b>

Fig. 3.15 Codice associato univocamente alle macchine del piano (cerchiato in rosso)

Di conseguenza le celle colorate in giallo in Figura 3.15 non contengono più direttamente il nome del modello e le ore produttive associate, bensì hanno una funzione "cerca verticale" che permette di compilare ciascuna cella con le informazioni necessarie, ricercando il codice cerchiato in rosso in colonna "B", all'interno del foglio "Piano M21" nel quale è contenuto lo stesso codice affianco al piano di produzione.

Per passare velocemente da analizzare una settimana ad un'altra, all'interno dello stesso mese, è sufficiente spostarsi nel foglio di lavoro affianco: in "LN11\_1W" è analizzato il carico lavorativo della linea undici per la prima settimana del mese considerato, mentre ad esempio nel foglio "LN11\_2W" sarà indicato il carico della linea undici nella seconda settimana del mese. Per poter passare invece da un mese ad un altro si dovrebbe modificare il codice sul quale si basa la funzione "cerca verticale" cambiando la settimana lavorativa, passando ad esempio dalla settimana 44, la prima di novembre, alla 49, la prima di dicembre. Per questa ragione si è deciso di rendere il codice dinamico: la settimana lavorativa è collegata ad un calendario, contenuto in un foglio chiamato "input", nel quale si può velocemente modificare il periodo temporale analizzato (Fig 3.16).

Calendario			
Mese	N°	Settimana	Giorni lavorativi
Nov	1	44	5
	2	45	4
	3	46	5
	4	47	5
	5	48	5

Assenteismo	
Target	11%
Reale	15%

Efficienza di linea		
LN	Target	Reale
11	83,40%	75,00%
12	88,20%	82,60%
13	92,10%	91,50%
14	77,60%	74,50%
15	91,90%	92,80%
16	89,00%	87,50%
17	85,30%	90,20%
18	94,30%	95,70%
1A	90,60%	88,10%

Figura 3.16 Foglio "Input"

Aggiornando le settimane lavorative considerate, colonna "D" (Fig. 3.16), in automatico si aggiorna il codice davanti alle tabelle Yamazumi e di conseguenza la funzione "cerca verticale" contenuta all'interno delle tabelle estrae informazioni relative al nuovo periodo temporale analizzato. Oltre a questo, nel foglio "Input" si possono aggiornare i dati di assenteismo ed efficienza di linea reale/target che, mediante funzioni, sono collegati ai valori riportati negli Yamazumi, in modo da poterli aggiornare tutti contemporaneamente da un unico foglio. Si possono modificare anche il numero di giorni lavorativi per settimana, sia per ridurre il numero di ore lavorative da considerare, nel caso in cui ci fossero giorni di chiusura aziendale, sia per simulare l'andamento del carico con un eventuale extra-time, lavorando ad esempio il sabato, giorno normalmente di chiusura.

In Figura 3.17 si nota ad esempio che il carico lavorativo di stabilimento pianificato in settimana 44 del 2022 richiede circa 90 operatori con 4 giorni lavorativi. Optando per

annullare il giorno di chiusura, o inserendo il sabato come giorno lavorativo, si può notare come il numero di operatori richiesti torna allineato a quelli disponibili (Fig. 3.18).

Calendario			
Mese	N°	Settimana	Giorni lavorativi
Nov	1	44	4
	2	45	4
	3	46	5
	4	47	5
	5	48	5

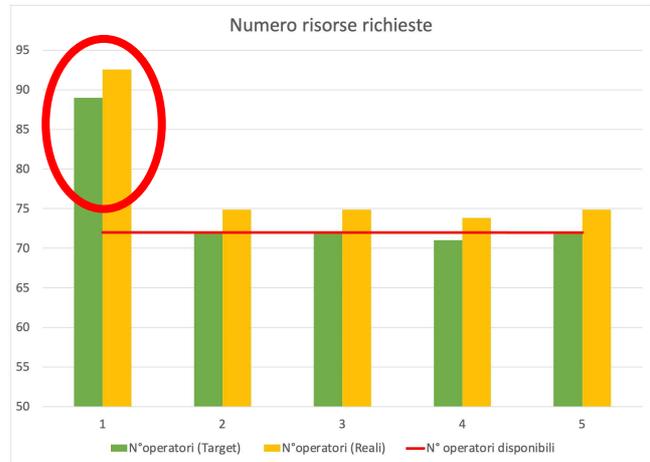


Fig. 3.17 Carico lavorativo pianificato in settimana 44 del 2022 con 4 giorni lavorativi

Calendario			
Mese	N°	Settimana	Giorni lavorativi
Nov	1	44	5
	2	45	4
	3	46	5
	4	47	5
	5	48	5

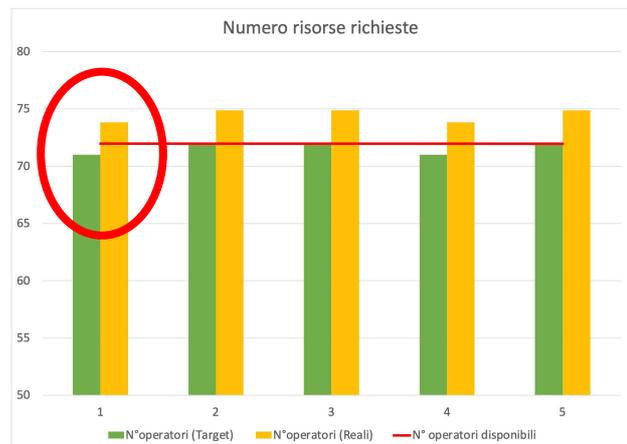


Fig. 3.18 Carico lavorativo pianificato in settimana 44 del 2022 ripristinando 5 giorni lavorativi

### 3.4.4 Analisi del carico produttivo mensile

È infine stato aggiunto un foglio “Recap” nel quale è sintetizzato l’andamento del carico produttivo per l’intero stabilimento nel mese analizzato, senza dover andare a vedere settimana per settimana ogni linea produttiva (Fig 3.19).

Settimana	Numero risorse richieste				
	Novembre				
	44	45	46	47	48
<b>N°operatori (Target)</b>	89	72	72	71	72
<b>N°operatori (Reali)</b>	93	75	75	74	75
RIV (Target)	2	2	2	1	2
RIV (Reale)	2	2	2	1	2
ASV (Target)	2	1	1	1	2
ASV (Reale)	2	1	1	1	2
ASB (Target)	14	15	14	15	15
ASB (Reale)	15	16	15	16	16
IMF (Target)	19	18	19	18	18
IMF (Reale)	20	19	20	19	19
IME (Target)	17	18	18	17	17
IME (Reale)	18	19	19	18	18
COL (Target)	11	9	10	11	10
COL (Reale)	11	9	10	11	10
FIN (Target)	4	5	5	4	5
FIN (Reale)	4	5	5	4	5
CQE (Target)	3	3	2	3	3
CQE (Reale)	3	3	2	3	3

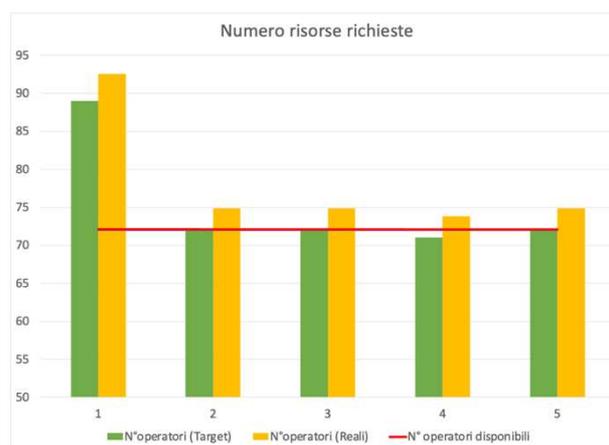


Fig. 3.19 Foglio “Recap” con il carico lavorativo nel mese di novembre (settimane 44-48, anno 2022)

Nelle figure seguenti è riportato sia il numero totale di operatori necessari per la produzione dello stabilimento nelle diverse settimane del mese analizzato (Fig. 3.20) che il dettaglio per mansione lavorativa, nello specifico: rivestimento (RIV), preparazione ventilatori (ASV), assemblaggio (ASB), impianto frigo (IMF), impianto elettrico (IME), collaudo (COL), finitura (FIN) e assemblaggio quadro elettrico (CQE) (Fig. 3.21).

Settimana	Numero risorse richieste				
	Novembre				
	44	45	46	47	48
<b>N°operatori (Target)</b>	89	72	72	71	72
<b>N°operatori (Reali)</b>	93	75	75	74	75

Fig. 3.20 Numero operatori richiesti nelle settimane di novembre 2022

<b>RIV (Target)</b>	2	2	2	1	2
<b>RIV (Reale)</b>	2	2	2	1	2
<b>ASV (Target)</b>	2	1	1	1	2
<b>ASV (Reale)</b>	2	1	1	1	2
<b>ASB (Target)</b>	14	15	14	15	15
<b>ASB (Reale)</b>	15	16	15	16	16
<b>IMF (Target)</b>	19	18	19	18	18
<b>IMF (Reale)</b>	20	19	20	19	19
<b>IME (Target)</b>	17	18	18	17	17
<b>IME (Reale)</b>	18	19	19	18	18
<b>COL (Target)</b>	11	9	10	11	10
<b>COL (Reale)</b>	11	9	10	11	10
<b>FIN (Target)</b>	4	5	5	4	5
<b>FIN (Reale)</b>	4	5	5	4	5
<b>CQE (Target)</b>	3	3	2	3	3
<b>CQE (Reale)</b>	3	3	2	3	3

Fig.3.21 Numero operatori richiesti per mansione nel mese di novembre 2022

Il numero di risorse necessarie è indicato sia rispetto ai valori di assenteismo ed efficienza target (in verde) che rispetto ai loro valori reali (in arancione) inseriti precedentemente nel foglio “input”, spiegato nel sottoparagrafo 3.4.3.

Il numero di operatori necessari indicati in Figura 3.20 sono poi riportati in un grafico a colonne per facilitarne la lettura (Fig. 3.22).

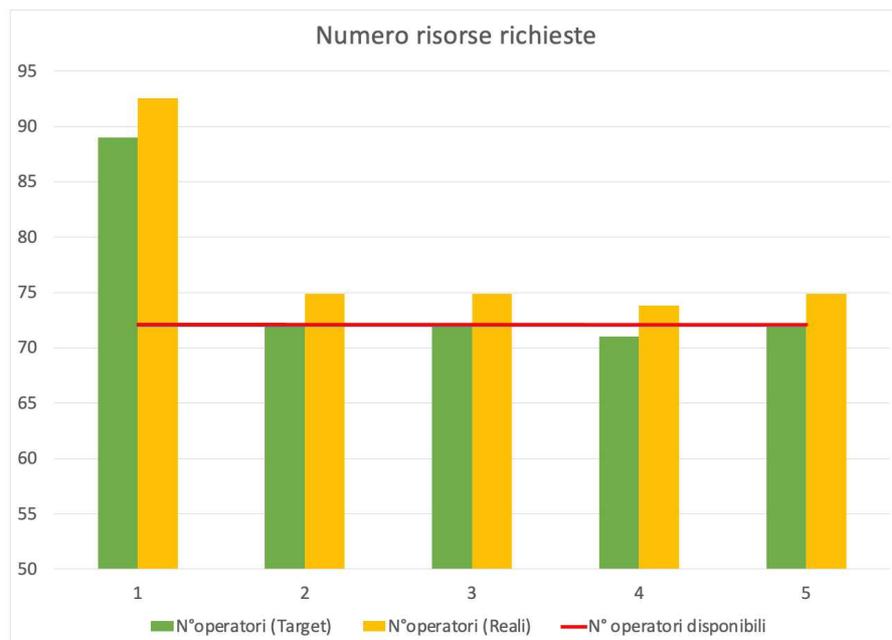


Fig. 3.22 Grafico a colonne delle risorse necessarie nelle settimane di novembre 2022

Sulle ordinate è riportato il numero di operatori richiesti mentre sulle ascisse sono indicate le diverse settimane del mese preso in esame. La linea rossa indica invece il numero di operatori disponibili.

Come per i valori riportati in Fig. 3.20, le colonne in verde del grafico (Fig. 3.22) si riferiscono a valori di assenteismo ed efficienza target, mentre quelle in arancione ai valori reali.

### **3.4.5 Risultati ottenuti**

Lo strumento sviluppato ha permesso di superare alcuni dei limiti presenti nella pianificazione, primo fra tutti le approssimazioni che venivano eseguite sul carico produttivo senza considerare il carico in termini di ore lavorative in relazione agli operatori disponibili.

Questo ha avuto ripercussioni sia nelle riunioni relative alla pianificazione di lungo termine che in quelle a breve termine con i team leader. Per quanto riguarda la pianificazione a lungo a termine, nel quale ci si basava esclusivamente sul fatturato previsto, si prende in considerazione il foglio “recap” dei vari mesi, con la possibilità di consultare sia i valori relativi ai dati di efficienza ed assenteismo misurati (reali) che quelli a target per il raggiungimento degli obiettivi aziendali. Inoltre, in caso di settimane con un carico lavorativo non adeguato, perché troppo alto o troppo basso, è possibile identificare esattamente la linea produttiva da dover ritoccare, a differenza di prima che PowerBI poteva individuare solamente la settimana non corretta. Avendo poi nello stesso file il piano produttivo è possibile vedere le consegne verso i clienti e, nel caso in cui non fosse possibile posticipare un eventuale picco lavorativo, si possono effettuare delle simulazioni con dell’extra time, ad esempio facendo lavorare i sabati per vedere se è sufficiente a ribilanciare il numero di operatori richiesti con quelli effettivamente disponibili.

Anche la pianificazione a breve termine è migliorata grazie allo strumento sviluppato: il carico lavorativo settimanale è stimato in termini di ore potendo tener conto dell’assenteismo puntuale ed inoltre fornisce un supporto ai team leader di produzione suggerendo come distribuire le risorse disponibili all’interno delle varie linee. È inoltre utile per poter individuare eventuali criticità nel carico, come ad esempio colli di bottiglia in una certa fase produttiva, per il quale si dovrà intervenire modificando il mix di unità caricate, aumentando il numero di operatori nella fase critica se le postazioni lo permettono o,

eventualmente, ribilanciando il lavoro tra gli operatori della stessa linea nel caso in cui ci fosse una fase poco carica rispetto le altre.

Dall'inizio del 2021, per via del mercato in forte crescita, i lead time di consegna si sono via via allungati da poche settimane a diversi mesi. Per questo motivo, oltre che al costante ampliamento di personale e al potenziamento delle linee produttive, la pianificazione è diventata sempre più complicata. Il tool sviluppato ha certamente aiutato a gestire la situazione, permettendo di fare previsioni di carico con tutte le nuove variabili in costante evoluzione. Una pianificazione accurata ha sicuramente agevolato il lavoro di diverse figure aziendali. Partendo dagli approvvigionatori, la possibilità di prevedere con una buona precisione quando andranno in produzione le macchine permette di ordinare i materiali né troppo in anticipo, causando una saturazione dello spazio disponibile in magazzino, né troppo tardi correndo il rischio di non riuscire ad anticipare il materiale a ridosso della produzione causando buchi produttivi. Per questo motivo, da aprile 2022 l'azienda ha introdotto il KPI Productivity Ratio, in modo da monitorare nel tempo la variazione registrata tra le macchine pianificate ad inizio mese e quelle poi effettivamente prodotte, con l'obiettivo di raggiungere valori pari o superiori al 90% (Fig. 3.23).

Il valore di questo indicatore è dato dal rapporto tra il numero di unità prodotte in un determinato mese e il numero di unità che si erano pianificate:

$$Productivity\ Ratio = \frac{Output}{Input} = \frac{N^{\circ}\ Unità\ Prodotte}{N^{\circ}\ Unità\ Pianificate}$$

In Figura 3.23 è riportato l'andamento del Productivity Ratio: sull'asse delle ascisse sono indicati i mesi del 2022 analizzati mentre sull'asse delle ordinate il valore in percentuale del KPI. Ciascuna colonna indica quindi il valore di Productivity Ratio raggiunto in un determinato mese, la linea continua verde è invece il cumulativo del Productivity Ratio, mentre quella tratteggiata in rosso rappresenta il target imposto dall'azienda. Si nota come con l'introduzione dello strumento in Excel, da giugno 2022 in poi, il Productivity Ratio ha raggiunto valori sempre superiori al target fissato al 90%.

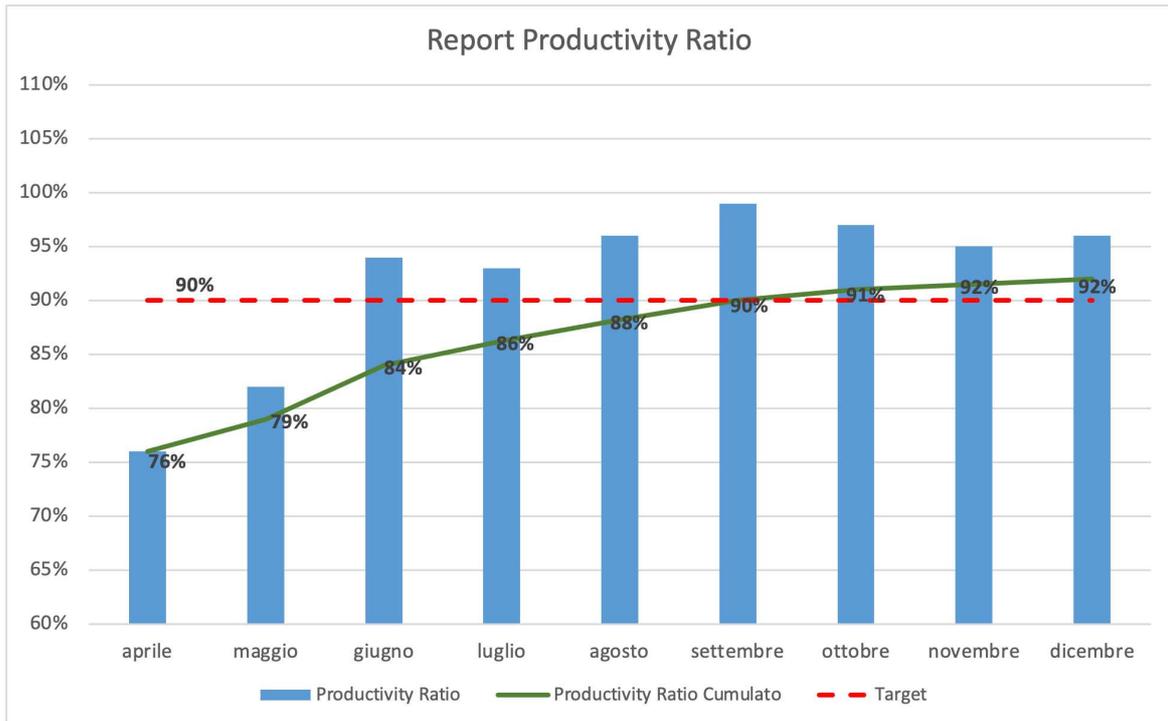


Fig. 3.23 Andamento Productivity Ratio

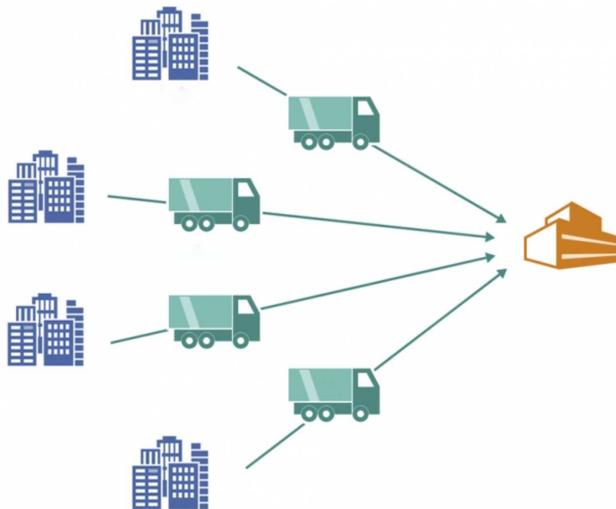
Ci si aspettava anche un incremento delle efficienze di linea, sia grazie ad un carico lavorativo in linea con i target aziendali, che alla miglior distribuzione e gestione delle risorse in relazione ai carichi individuati dallo Yamazumi. Purtroppo questo incremento di efficienza non si è dimostrato, sia a causa dell'assenteismo superiore rispetto a quanto stimato, sia per la crisi dei materiali che stiamo affrontando, che spesso causa variazioni al piano per via di improvvise mancate consegne da parte dei fornitori con una conseguente perdita di efficienza.

## 4. Analisi dei flussi di lavoro

Nel presente capitolo si discutono i flussi di lavoro del magazzino delle materie prime e delle linee produttive con le relative migliorie apportate dallo strumento in Excel, dettagliato nel capitolo 3. Si ricorda che tale strumento è stato utilizzato per analizzare il carico produttivo delle fasi di ciascuna linea in relazione alla capacità disponibile stimata.

### 4.1 Magazzino materie prime

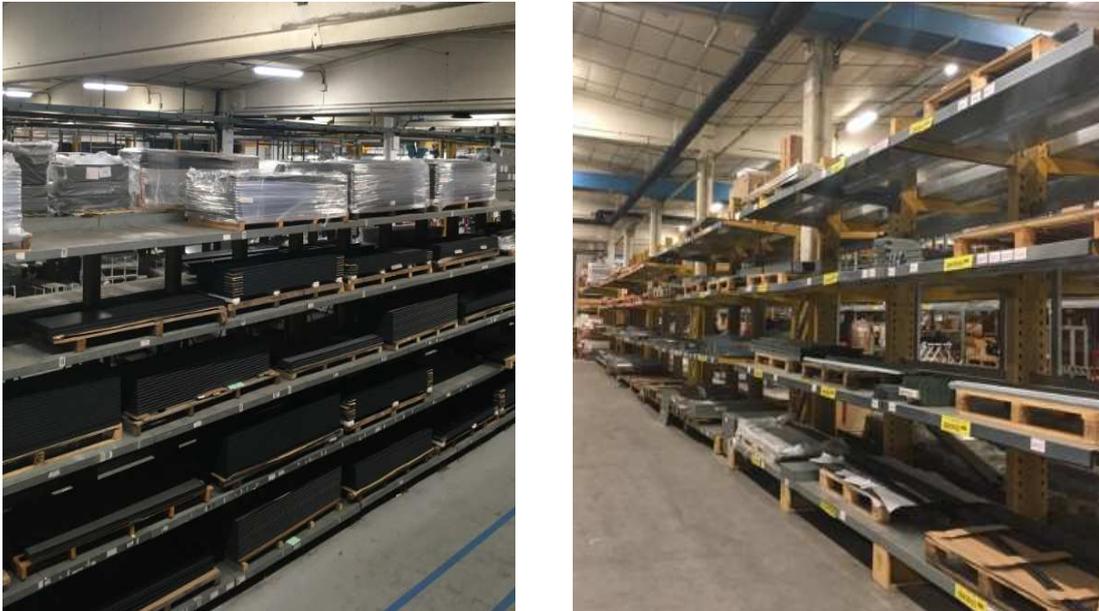
Il flusso delle materie prime parte con un ordine verso il fornitore, effettuato dall'approvvigionatore, in seguito ad una Richiesta di Acquisto (RdA) generata da SAP dopo la creazione di un ordine di produzione (paragrafo 3.1). Una volta pronto, il materiale può essere consegnato direttamente dal fornitore o ritirato a spese di Mitsubishi Electric, a seconda degli accordi commerciali. In questo secondo caso, prima dell'introduzione dello strumento in Excel per il monitoraggio e il bilanciamento del carico produttivo, a causa delle diverse variazioni che subiva settimanalmente il piano di produzione, si effettuavano dei trasporti dedicati per i diversi fornitori in modo da assecondare le richieste dettate dall'avanzamento del lavoro (Fig. 4.1).



*Fig. 4.1 Trasporto dei materiali dai fornitori allo stabilimento produttivo [11]*

Una volta che i camion arrivano presso lo stabilimento Mitsubishi di Pavia, il materiale viene scaricato e predisposto in un'area di smistamento in attesa di essere collocato nel reparto

opportuno. I materiali a bassa rotazione e ingombranti, come ad esempio i pallet e le gabbie per l'imballaggio, vengono generalmente stoccati all'esterno in aree riparate da tettoie, mentre i materiali ad alta rotazione o comunque più sensibili alle intemperie, vengono collocati all'interno su degli scaffali opportunamente predisposti (Fig. 4.2).



*Fig. 4.2 Scaffali per lo stoccaggio dei materiali*

Gli scaffali sono suddivisi per tipologia merceologica e fase produttiva: in questo modo i materiali necessari per una certa fase si trovano nella stessa zona del magazzino. Per la realizzazione dei condizionatori viene preparato un carrello con tutti i materiali necessari per ciascuna fase produttiva. I magazzinieri che preparano i materiali seguono l'ordine stabilito dal pianificatore nel piano di produzione per ogni linea produttiva. Per sapere quali materiali sono necessari alla realizzazione di ciascuna macchina si usano delle distinte, preparate anticipatamente sulla base del piano, nel quale sono riportati i materiali necessari per ciascuna fase produttiva.

In ogni fase delle linee produttive si trovano tre carrelli: il primo in uso dall'operatore in linea, un secondo di buffer appena fuori dalla linea produttiva con il materiale necessario alla realizzazione della macchina successiva ed infine un carrello in magazzino che viene allestito. Una volta che l'operatore termina la realizzazione della macchina nella sua fase produttiva, il carrello vuoto viene spostato fuori dalla linea e si prende il carrello già preparato nella postazione buffer. Successivamente, il magazziniere porta un nuovo

carrello nella postazione buffer e riporta in magazzino quello vuoto per poterlo riempire con i materiali necessari alla produzione della macchina successiva (Fig. 4.3).

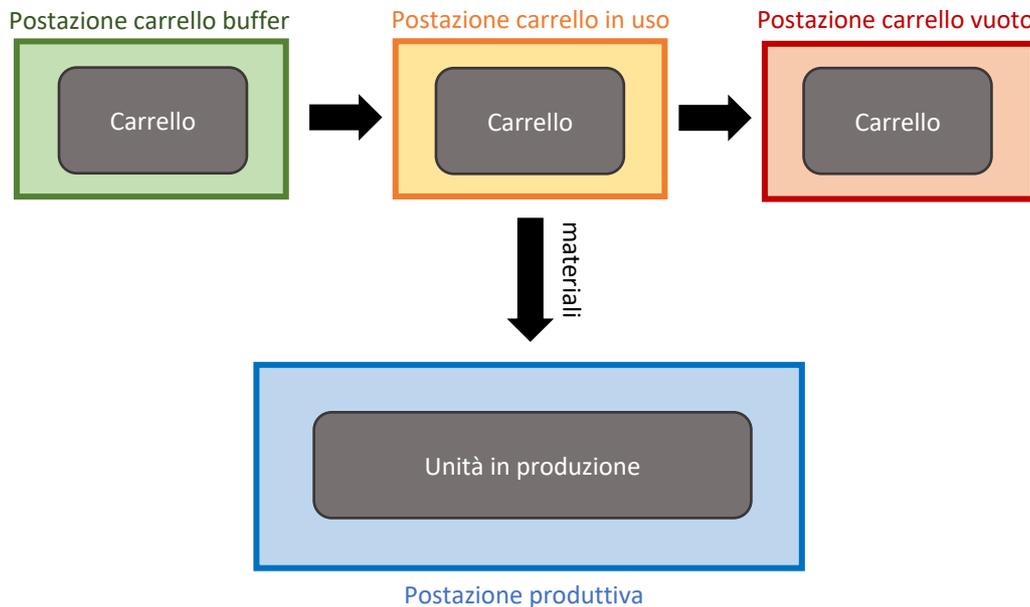


Fig. 4.3 Schema delle postazioni dei carrelli con i materiali necessari in una fase produttiva

## 4.2 Linee produttive

Ogni linea produttiva è composta da almeno cinque postazioni per le seguenti fasi: assemblaggio, frigo, impianto elettrico, collaudo e finitura. Alcune linee, dovendo produrre unità con fasi produttive sensibilmente più lunghe di altre, sono predisposte con doppie o triple postazioni per le fasi più critiche (Fig. 4.4).

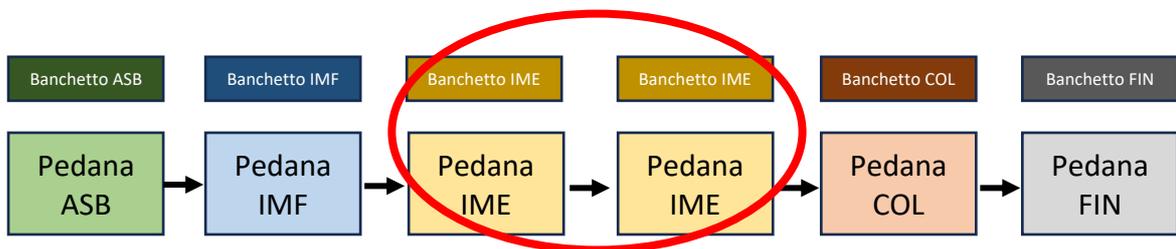


Fig. 4.4 Esempio di layout di una linea produttiva con doppia postazione elettrica

In ogni postazione è presente un banchetto con l'attrezzatura necessaria, una pedana con il quale poter sollevare l'unità su cui si lavora e, se necessario, una gru per la movimentazione dei carichi pesanti. Accanto ad ogni postazione è inoltre presente un computer di linea, chiamato "andon" (Fig. 4.5), utilizzato dagli operatori per registrare le

ore lavorate su ciascuna macchina o eventualmente segnalare anomalie, quali ad esempio mancanza di materiale, problemi tecnici, ecc.



Fig. 4.5 andon a bordo linea [15]

Ogni andon è composto da uno schermo touch e un lettore di codici a barre: nel momento in cui l'operatore scansiona il codice riportato sulla distinta della macchina da produrre e seleziona la fase produttiva in cui si trova, parte un timer con indicate le ore lavorative caricate a ciclo per quella determinata unità in quella fase produttiva. Una volta terminata la lavorazione, l'operatore ferma il timer e passa all'unità successiva. Tramite il display touch è possibile entrare in un menù di segnalazioni anomalie, utile sia a far prontamente intervenire chi necessario alla risoluzione del problema, sia per raccogliere dati e prevenire che accadano nuovamente episodi simili.

Le unità in fase di produzione, per essere agevolmente spostate da una fase all'altra, vengono poggiate su dei carrelli che scorrono lungo la linea mediante rotaie. Tra una postazione e l'altra è generalmente presente dello spazio in cui vengono collocate le macchine in buffer. Accanto ad ogni postazione si trovano invece due carrelli: il primo, "in uso", è quello per realizzare la macchina attualmente in produzione, mentre il secondo è per l'unità successiva. Una volta che il carrello "in uso" viene svuotato, torna in magazzino per essere nuovamente riempito con i materiali necessari alla realizzazione delle successive unità.

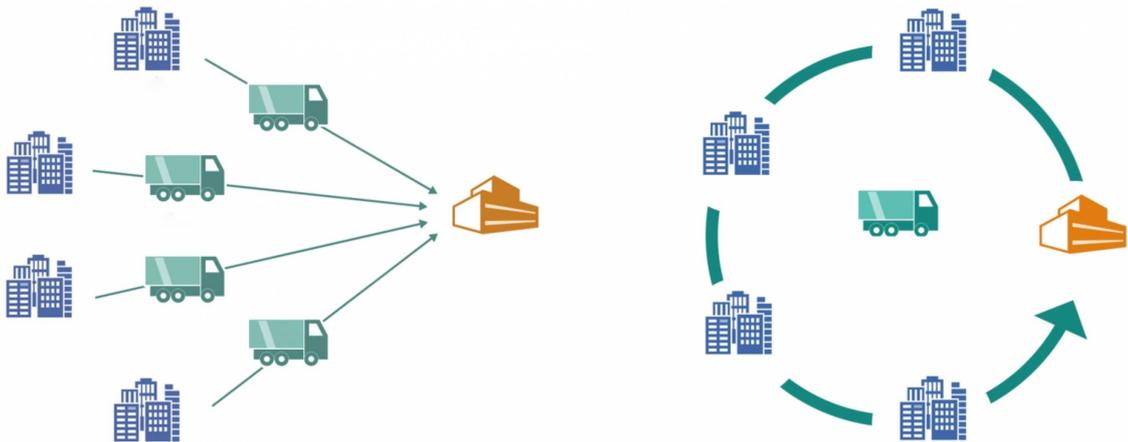
La produzione di ogni condizionatore parte con la fase di assemblaggio: viene collocato il basamento su un pallet, a sua volta posizionato su un carrello, si prosegue con il resto della struttura, telaio e tetto, per poi montare all'interno il resto dei materiali principali come lo scambiatore di calore, il compressore e i ventilatori. Con la fase frigo si effettuano tutte le saldature necessarie a completare il circuito dell'unità. Successivamente, con la fase elettrica, si monta il quadro in macchina, i filtri e si eseguono i cablaggi necessari. L'unità viene poi messa in vuoto, svuotando quindi il circuito e verificando non ci siano perdite, per poi procedere con la fase di collaudo dell'unità durante il quale se ne testa il funzionamento. Si conclude con la finitura, durante il quale si montano i pannelli, le etichette e si pulisce l'unità. Dopo il controllo qualitativo da parte del team leader di linea, l'unità viene portata alle spedizioni per essere imballata e preparata al trasporto.

Il team leader, oltre ad assicurarsi il corretto avanzamento delle unità in linea e la risoluzione di problemi tecnici, si occupa del bilanciamento delle fasi. In caso di colli di bottiglia, se le postazioni per le unità a buffer sono piene, il team leader può decidere di spostare gli operatori scarichi in altre linee o eventualmente supportare le fasi critiche con più operatori per farle fluire più velocemente. Questo bilanciamento, prima dell'introduzione del tool in Excel descritto al capitolo 3, veniva fatto esclusivamente sulla base della sua esperienza e senza la possibilità di intercettare preventivamente i colli di bottiglia.

### **4.3 Migliorie apportate dallo strumento di monitoraggio del carico produttivo**

L'introduzione dello strumento in Excel per il monitoraggio del carico produttivo e il bilanciamento del lavoro tra le varie fasi e linee ha permesso di ottenere diverse migliorie sia in ambito produttivo che, indirettamente, sul lavoro degli altri attori coinvolti nel processo. Una pianificazione della produzione maggiormente accurata, grazie alle minori variazioni che ne derivano, ha infatti permesso una miglior organizzazione del lavoro in magazzino con una conseguente riduzione delle scorte e la possibilità di organizzare meglio i ritiri dei materiali. Infatti, come visto nel paragrafo 3.4.5, il Productivity Ratio, ovvero il rapporto tra quanto pianificato in un mese e quanto effettivamente prodotto, nel corso del 2022 ha superato il target del 90%. Da metà 2023 si è quindi deciso di adottare una strategia

“milk run” per i ritiri dei materiali [16], ovvero una modalità di trasporto ispirata a quella che effettuava il lattaiolo al mattino per ritirare le bottiglie vuote e consegnare quelle piene di casa in casa. La logica dietro il milk run (Fig. 4.6) consiste nel ripetere più volte a settimana un tragitto prefissato tra i diversi fornitori, ritirando poco per volta il materiale necessario in produzione ed effettuando il percorso più efficiente possibile (Meyer, 2015).



*Fig. 4.6 Confronto trasporto tradizionale (a sinistra) e milk run (a destra) [17]*

Prima dell'introduzione del milk run, Figura 4.6 a sinistra, il mezzo andava dai singoli fornitori, caricava il materiale e tornava allo stabilimento produttivo. Adesso, invece, il mezzo compie un percorso prefissato che collega i diversi fornitori, ritirando solo il materiale strettamente necessario alla produzione, affinché ci sia spazio in magazzino per tutti i fornitori (Figura 4.6 a destra). Il numero di milk run da effettuare per ogni settimana e lo spazio necessario a caricare il materiale di ciascun fornitore, espresso in metri lineari necessari, vengono decisi durante riunioni alle quali partecipano gli approvvigionatori e dove si valutano le priorità a seconda degli impegni di produzione stabiliti dal piano produttivo. L'introduzione di questa tipologia di trasporto ha permesso di abbassare i costi del ritiro delle materie prime, sia grazie alla riduzione di mezzi impiegati sia per i percorsi ottimizzati. Di contro, il milk run è un sistema di trasporto più rigido: in caso di un imprevisto in produzione si è vincolati ad attendere il viaggio successivo per poter consegnare il materiale necessario, in caso contrario i costi lieviterebbero e verrebbe meno il vantaggio ottenuto mediante l'utilizzo del milk run. Tuttavia, con il supporto del tool in Excel, che permette di bilanciare meglio il carico di lavoro con la capacità produttiva

disponibile prevista, si è riusciti a mitigare il numero di variazioni al piano di produzione rendendo conveniente l'utilizzo di questa tipologia di organizzazione dei trasporti. Ciò ha inoltre permesso di ridurre la quantità di materiale in scorta a magazzino, permettendo così lo stoccaggio di un numero maggiore di materiali differenti, fondamentale per supportare l'aumento produttivo e di gamme prodotto, registrato in seguito al progetto One Factory (paragrafo 2.5 "Plant produttivo").

Lo strumento ha poi alleggerito l'attività del Team Leader di produzione e del Production Manager, fornendo un supporto nella gestione delle risorse e nell'individuazione dei colli di bottiglia (Fig. 4.7), permettendo loro di dedicare più tempo ad attività come il supporto nella gestione di problemi tecnici alle unità in produzione.

Modello	N° unità	ASB	IMF	IME	COL	TOT
UNITA' SPLIT DA INTERNO MOD 0061	2	1,00	1,00	2,00	1,00	5,00
UNITA' SPLIT DA INTERNO MOD 0051	2	1,50	2,00	3,00	1,00	7,50
UNITA' SPLIT DA INTERNO MOD 0031	5	1,00	1,00	1,20	1,50	4,70
UNITA' SPLIT DA INTERNO MOD 0011	7	1,30	2,10	1,00	1,70	6,10
<b>Totale</b>	<b>16</b>					<b>0,00</b>
<b>N°operatori/postazioni</b>		0,48	0,64	0,58	0,59	<b>2,28</b>

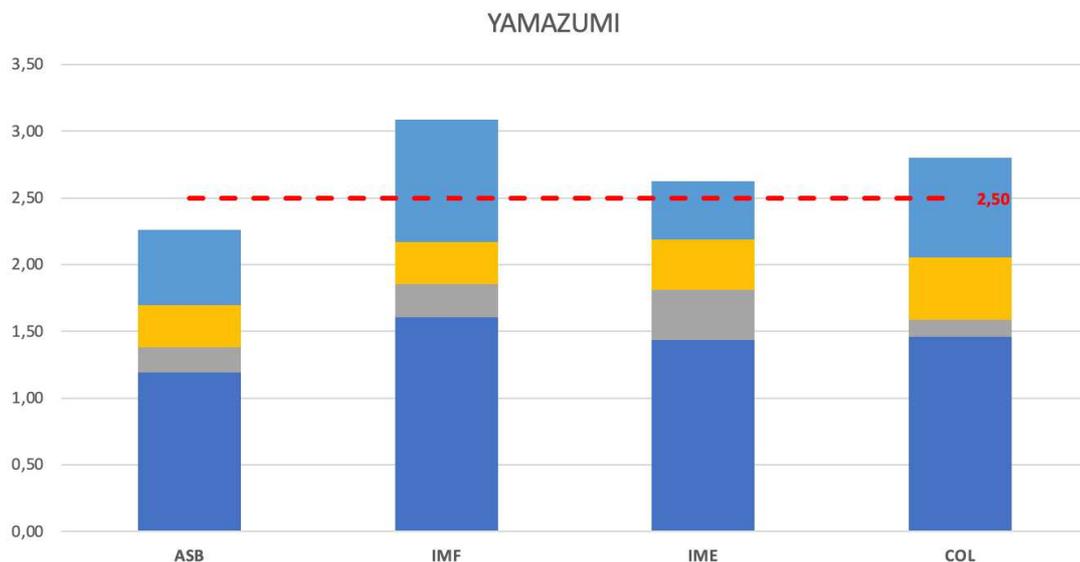


Fig. 4.7 Carico lavorativo di una settimana di una linea produttiva, sulle ordinate è riportato il tempo, in ore, mentre sulle ascisse le fasi produttive

Analizzando poi il carico di lavoro nelle settimane e mesi futuri, è possibile inoltre andare ad intercettare eventuali criticità ed organizzarsi in anticipo per attuare soluzioni come lo straordinario o i doppi turni, dando modo alla Produzione ed al Magazzino di organizzarsi

per tempo. Normalmente infatti si lavora con un'unica squadra che opera dalle 8:00 alle 17:00. Quando, invece, si utilizzano i doppi turni, tendenzialmente si scaricano di lavoro una o più linee per poter disporre di due squadre che operano sulla linea in difficoltà con il carico lavorativo. Inoltre, si lavora un primo turno dalle 6:00 alle 13:30 e un secondo turno dalle 13:30 alle 21:00. Oltre agli operai, sarà necessario adottare dei provvedimenti da parte del Magazzino per poter supportare la squadra che lavora dalle 17:00 in poi con tutti i carrelli necessari alla realizzazione delle macchine. Le variazioni di flusso, che insorgono quando si adottano i doppi turni su una o più linee produttive, fanno comprendere come sia utile potersi organizzare in anticipo grazie alle analisi di carico che emergono dall'utilizzo dello strumento sviluppato in Excel.

## 5. Conclusioni

Nel presente capitolo si analizzano i benefici ottenuti dal lavoro di tesi e se ne osservano i limiti suggerendo possibili azioni future che l'azienda può compiere grazie ai risultati ottenuti.

### 5.1 Benefici del lavoro di tesi

A partire dalla seconda metà del 2021, si è registrato un incremento degli ordini da produrre da cui ne è conseguito un allungamento dei tempi di consegna e quindi la necessità di pianificare con anticipo la produzione. È stato quindi fondamentale lo sviluppo di uno strumento a supporto del Planning Specialist per poter programmare il lavoro in maniera accurata garantendo il raggiungimento degli obiettivi prefissati dall'azienda. Tra i vari KPI produttivi, quali l'efficienza e la puntualità ad esempio, si nota in particolar modo un miglioramento del Productivity Ratio dal momento dell'utilizzo del tool sviluppato, come visibile in Figura 3.23 all'interno del capitolo 3.

Tale strumento ha infatti permesso di raggiungere sin dal primo mese in cui è stato utilizzato, giugno 2022, il raggiungimento del target fissato al 90%. Pianificare tenendo conto delle ore ciclo associate a ciascuna unità, dell'efficienza e dell'assenteismo medio calcolati sulla base dello storico dei dati raccolti, ha quindi garantito ottimi risultati in termini di unità effettivamente prodotte in un mese in relazione a quante inizialmente pianificate. Un piano affidabile e meno soggetto a modifiche ha poi permesso l'introduzione di altri strumenti, come il milk run (per ottimizzare i ritiri dei materiali riducendone i costi di trasporto, come dettagliato al paragrafo 4.2).

Lo strumento è poi servito a supportare il Production Manager nella gestione della produzione sia nel breve termine, indicando con il Diagramma Yamazumi come andare a distribuire settimanalmente gli operatori nelle varie linee, sia a lungo termine intercettando con anticipo picchi di lavoro da smaltire con gli straordinari, come descritto al paragrafo 3.4.

## **5.2 Limitazioni del lavoro di tesi**

Lo strumento sviluppato per supportare la pianificazione della produzione nel bilanciamento del carico di lavoro con la capacità produttiva disponibile prevista presenta principalmente due criticità: la prima dettata dai limiti stessi del software utilizzato, Excel, mentre la seconda dovuta ad una mancanza di un'integrazione diretta con SAP. Non è possibile infatti far comunicare in tempo reale i dati in SAP con il tool, senza prima passare da un'estrapolazione di dati in formato Excel. Questo rappresenta una perdita di tempo nel dover effettuare ogni volta un'estrazione con dati aggiornati da SAP e nel dover riportare manualmente le modifiche dal piano di produzione del tool a quello in SAP. Inoltre, la mancanza di una comunicazione diretta tra SAP e il tool, limita le possibilità dello strumento che potrebbero derivare da una costante comunicazione di dati inerenti le unità che si stanno realizzando in produzione. Per finire, allo stato attuale, lo strumento sviluppato supporta la pianificazione restituendo informazioni relative al carico produttivo, lasciando tuttavia al Planning Specialist il compito di pianificare il carico lavorativo sulle diverse linee come meglio ritiene.

## **5.3 Passi futuri**

Visti i risultati ottenuti dall'introduzione dello strumento a supporto della pianificazione della produzione sviluppato in questa tesi, il primo passo che andrà a compiere l'azienda è di adattare e applicare lo strumento anche negli altri plant produttivi.

Successivamente, si potrebbe valutare l'integrazione dello strumento con SAP in modo da consentire una comunicazione costante ed immediata tra il tool e i dati che vengono costantemente raccolti dalla produzione mediante gli andon di linea e trasmessi a SAP. Questo permetterebbe di intercettare e poter intervenire con maggior facilità su eventuali complicazioni che emergono in linea.

Infine, nel lungo periodo, si potrebbe pensare di riprogettare lo strumento sviluppato in Excel investendo in software più sofisticati che permettano di automatizzare il processo decisionale relativo alla pianificazione della produzione, valutando la miglior soluzione su come distribuire il carico lavorativo tra le varie linee e lasciando al Planning Specialist il ruolo di supervisione e la possibilità di svolgere altri compiti lavorativi come l'approvvigionamento dei materiali o analisi mirate al miglioramento della gestione della produzione.

## **Bibliografia**

Massaroni, D'Ascenzo e Cozzolino, (2016), "Supply chain sostenibile: aspetti teorici ed evidenze empiriche", Cedam, Italia.

Balestri, (2009), "Le basi della logistica. Il magazzino, i trasporti, la distribuzione e il sistema informativo", Hoepli, Italia.

Caridi, (1997), "Pianificazione della capacità produttiva e produzione", Levrotto & Bella, Italia.

Magrini e Magnani, (2015), "Cicli inversi", "Fisica Tecnica, Esempi di calcolo di termodinamica e trasmissione del calore", CittàStudi edizioni, Italia, pp. 113-118.

Sabadka, Molnár, Fedorko e Jachowicz, (2017), "Optimization of production processes using the Yamazumi method".

Meyer, (2015), "Milk Runs as a General Transport Concept", "Milk Run Design, Definitions, Concepts and Solution Approaches", KIT Scientific Publishing, Germania, pp.29-30.

## Sitografia

- [1] <https://www.utekvision.com/it/blog/supply-chain.html>
- [2] <https://www.mecalux.it/blog/just-in-time-jit-logistica>
- [3] <https://www.esselogistics.it/blog/logistica-inbound-e-outbound-cosa-sono-vantaggi-e-differenze/>
- [4] <https://www.youtradeweb.com/i-4-parametri-per-misurare-un-magazzino-efficiente/>
- [5] <https://www.melcohit.com/it>
- [6] <https://www.delonghigroup.com/it/gruppo/storia>
- [7] [https://it.mitsubishielectric.com/it/about/global/history/overview/group\\_history/index.html](https://it.mitsubishielectric.com/it/about/global/history/overview/group_history/index.html)
- [8] <https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/it/it/about/willis-carrier/>
- [9] <https://www.paesesera.toscana.it/larrivo-dellaria-condizionata/>
- [10] <https://it.mitsubishielectric.com/it/products-solutions/air-conditioning/index.html>
- [11] <https://realrefrigeration.com.au/tips-for-saving-money-on-your-air-conditioner-in-winter/>
- [12] <https://www.youmath.it/lezioni/fisica/termodinamica/3627-ciclo-frigorifero-e-macchina-frigorifera.html>
- [13] <https://www.edutecnica.it/macchine/frigo/frigo.htm>
- [14] <https://kanbanize.com/it/flusso-continuo/takt-time>
- [15] <https://www.easylean.it/410/Lean-Production:-la-gestione-visiva>
- [16] <https://www.mecalux.it/blog/milk-run-logistica>
- [17] <https://www.openmindtech.it/milk-run/>