



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

---

**Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali**  
**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale**

*Tesi di Laurea*

*Ottimizzazione della gestione dei semilavorati tra linee di  
produzione: il caso Carel*

**Relatore**

*Ch. mo Prof. Roberto Panizzolo*

**Laureando**

*Marco Lissandron*

**Correlatore**

*Ing. Livio Martello*

---

**Anno Accademico 2018 - 2019**



*Alla mia famiglia, ai miei amici, a me stesso*



## **SOMMARIO**

Il presente lavoro di tesi vede le sue origini nella rilevazione di una criticità riguardante la gestione dei semilavorati inter-Value Stream nell'azienda Carel Industries S.p.A. di Brugine (PD). Le varie Value Stream, infatti, lamentavano ritardi e scarsa visibilità sulla fornitura di semilavorati prodotti in altre Value Stream, causando difficoltà di schedulazione e ritardi in produzione.

Si è cercato di risolvere il problema articolando il lavoro in tre macro-fasi. Nella prima è stata effettuata una mappatura dei flussi di tutti i semilavorati coinvolti nella problematica; nella seconda è stata effettuata una revisione del metodo di approvvigionamento per tutti i codici individuati; nella terza è stata effettuata un'analisi puntuale sui codici a Kanban utilizzati dalla Value Stream Umidificazione.

Quest'ultima fase ha consentito di individuare e risolvere una delle cause alla base del problema, riducendo il numero di ordini di lavoro non completati entro i tempi previsti dalla Value Stream Umidificazione a causa di un semilavorato mancante.



# INDICE

<b>LISTA DELLE TABELLE</b> .....	III
<b>LISTA DELLE FIGURE</b> .....	V
<b>INTRODUZIONE</b> .....	1
<b>1 CAREL INDUSTRIES S.P.A.</b> .....	3
1.1 La storia .....	3
1.2 Il parco prodotti e le applicazioni .....	7
1.3 La struttura organizzativa .....	14
1.4 I valori di Carel .....	16
<b>2 SISTEMI DI GESTIONE DEI MATERIALI</b> .....	19
2.1 Introduzione alla gestione dei materiali.....	19
2.2 Variabili che influenzano la scelta del metodo di gestione .....	21
2.3 I sistemi di gestione a scorta .....	23
2.3.1 Il sistema ROP (Q,R).....	24
2.3.2 Il Min Max System (S,R) .....	26
2.3.3 Il sistema ROP a periodicità fissa (Q,R,T) .....	27
2.3.4 Il Min Max System a periodicità fissa (S,R,T).....	29
2.3.5 Il Max System a periodicità fissa (S,T).....	30
2.3.6 I sistemi di gestione a scorta basati su copertura totale e copertura libera	31
2.4 I sistemi di gestione a fabbisogno: l'MRP.....	33
2.4.1 Lo schema generale dell'MRP .....	33
2.4.2 La logica di calcolo .....	34
2.5 La gestione a Kanban.....	37
2.5.1 Calcolo del numero ottimale di cartellini .....	38
2.5.2 Vantaggi e prerequisiti fondamentali del sistema Kanban .....	39
<b>3 IL CASO CAREL</b> .....	41
3.1 Il Problem Statement .....	41

3.2	Identificazione dei semilavorati inter-Value stream .....	42
3.3	La gestione dei semilavorati in Carel .....	54
3.3.1	La gestione a metodo tradizionale .....	54
3.3.2	La gestione a Min Max .....	55
3.3.3	La gestione a Kanban in Carel.....	56
<b>4</b>	<b>REVISIONE DEI METODI DI APPROVVIGIONAMENTO.....</b>	<b>59</b>
4.1	Scelta dei semilavorati indicati per la gestione a Kanban .....	59
4.2	Calcolo del numero di cartellini Kanban .....	64
4.3	Scelta del metodo di gestione per i codici non a Kanban .....	67
<b>5</b>	<b>PROGETTO PILOTA VALUE STREAM UMIDIFICAZIONE: OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DEI SEMILAVORATI A KANBAN.....</b>	<b>69</b>
5.1	I semilavorati utilizzati dalla Value Stream Umidificazione .....	69
5.2	Il problema della mancanza di semilavorati SMD.....	74
5.2.1	I processi SMT e PTH: il flusso fisico .....	75
5.2.2	I processi SMT e PTH: il flusso informativo .....	80
5.2.3	I processi SMT e PTH: la Current State Map.....	84
5.3	La gestione a scorta dei semilavorati SMD .....	87
<b>6</b>	<b>RISULTATI OTTENUTI E SVILUPPI FUTURI .....</b>	<b>91</b>
6.1	Risultati ottenuti.....	91
6.2	Sviluppi futuri.....	95
6.2.1	Estensione del miglioramento proposto all'intera popolazione di semilavorati inter-Value Stream.....	95
6.2.2	Estensione del miglioramento proposto ai prodotti finiti gestiti a buffer stock.....	96
6.2.3	Il KPI sul tasso di rispetto dei semilavorati.....	98
	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>101</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>103</b>
	<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>105</b>



## **LISTA DELLE TABELLE**

Tabella 2.1 - Esempio di calcolo di record MRP con  $LT=1$ ;  $SS=0$ ; politica di riordino a fabbisogno

Tabella 3.1 – Numero di semilavorati che ogni Value Stream produce per altre Value Stream

Tabella 3.2 – Numero di semilavorati che ogni Value Stream cliente riceve da altre Value Stream

Tabella 3.3 – Dipendenza di ogni Value Stream cliente dalle altre Value Stream

Tabella 3.4 – Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 1

Tabella 3.5 – Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 7

Tabella 3.6 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream Umidificazione

Tabella 3.7 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream Valvole

Tabella 5.1 Lead Time dei semilavorati a Kanban utilizzati dall'Umidificazione

Tabella 5.2 – Confronto tra Lead Time effettivo e Lead Time Target

Tabella 5.3 – TBO e  $Q_{media}$  dei semilavorati SMD oggetto di analisi

Tabella 5.4 – Valori di Q per la gestione a punto di riordino dei codici SMD

Tabella 5.5 – Parametri gestione a Kanban per semilavorati PTH su un Lead Time di 2 giorni

Tabella 6.1 - Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra As Is e To Be

Tabella 6.2 - Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra le possibili alternative di miglioramento



## **LISTA DELLE FIGURE**

Figura 1.1 – Logo Carel

Figura 1.2 - I numeri di Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.3 – Controllori parametrici per il condizionamento (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.4 – Umidificatori a vapore a resistenze (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.5 – Valvole di espansione elettroniche (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.6 – Sistemi ad osmosi inversa (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.7 - Soluzione di supervisione locale (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.8 - Sonde di temperatura/umidità (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.9 – AC Inverter (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.10 – Pannelli elettrici per centrali trattamento aria (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.11 – Utilizzo dei prodotti Carel nell'ambito di applicazioni commerciali (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.12 – Applicazione dei prodotti Carel nel residenziale (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.13 – Applicazione dei prodotti Carel alla ristorazione (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.14 – Unità di termoregolazione con controllo Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.15 - Struttura organizzativa per funzioni (fonte interna Carel)

Figura 1.16 – Struttura organizzativa per Value Stream (fonte interna Carel)

Figura 1.17 – Slogan Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 1.18 – Numeri dell'R&D in Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Figura 2.1 – Andamento della giacenza in un sistema di gestione a scorta (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.2 – Andamento della giacenza in un sistema di gestione a fabbisogno (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.3 – Classificazione dei sistemi di gestione a scorta (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.4 – Profilo della giacenza in un sistema ROP (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.5 – Profilo della giacenza in un sistema Min Max (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.6 – Profilo della giacenza in un sistema ROP a periodicità fissa (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.7 – Andamento della giacenza in un sistema Min Max a periodicità fissa (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 2.8 – Dalla copertura libera al record TPOP (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Figura 3.1 – Esempio semplificato di parte dell'esplosione della distinta base di un prodotto Carel

Figura 3.2 - Parte della base dati creata per identificare i semilavorati che le Value Stream clienti ricevono dalle altre Value Stream

Figura 3.3 – Flussi di semilavorati scambiati tra Value Stream

Figura 3.4 – Logica di apertura degli OdL dei semilavorati gestiti a metodo tradizionale (fonte interna Carel)

Figura 3.5 – Esempio di cartellino Kanban utilizzato in Carel

Figura 3.6 – Esempio di lavagna Kanban utilizzata in Carel

Figura 4.1 – Modello per l'individuazione dei semilavorati indicati ad una gestione a Kanban

Figura 4.2 – Schema logico per la scelta del metodo di approvvigionamento basata sul forecast

Figura 4.3 – Procedimento seguito per ricavare la Value Stream cliente che ha generato il consumo di semilavorato

Figura 4.4 – Componenti della giacenza di un generico codice gestito a Kanban (fonte interna Carel)

Figura 4.5 – Modello per la scelta del metodo di gestione per i semilavorati non a Kanban

Figura 5.1 – Semilavorati utilizzati dall'Umidificazione indicati per la gestione a Min Max

Figura 5.2 – Semilavorati utilizzati dall'Umidificazione indicati per la gestione con metodo tradizionale

Figura 5.3 – Semilavorati utilizzati dall'Umidificazione indicati per la gestione a Kanban

Figura 5.4 – Dal circuito stampato al Semilavorato PTH

Figura 5.5 – Carrello set-up di una macchina Pick and Place in Carel

Figura 5.6 – Layout linea SMT Controllori Parametrici (fonte interna Carel)

Figura 5.7 – Layout linee PTH Controllori Parametrici (fonte interna Carel)

Figura 5.8 – Schema logico dei processi SMT e PTH per i semilavorati in analisi

Figura 5.9 – Legenda Current State Map dei processi SMT e PTH

Figura 5.10 – Current State Map dei processi SMT – PTH per i semilavorati in analisi

Figura 5.11- Foglio di calcolo utilizzato per il calcolo del livello di riordino

Figura 6.1 – Numero di OdL di prodotti finiti della VS Umidificazione completato in ritardo a causa della mancanza di un semilavorato a Kanban fornito da un'altra VS

Figura 6.2 – Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra As Is e To Be

Figura 6.3 – Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra le possibili alternative di miglioramento

Figura 6.4 – Schema della gestione a Buffer Stock dei prodotti finiti

Figura 6.5 – Schema della gestione a Buffer Stock a valle della possibile implementazione del miglioramento proposto



# INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi è basato su un progetto di miglioramento condotto all'interno dell'azienda Carel Industries S.p.A., nell'ambito di uno stage di sei mesi nell'area di pianificazione della produzione.

L'urgenza del progetto implementato nasce dal rilevamento di frequenti ritardi sulla fornitura di semilavorati tra Value Stream; da essi si generano, di conseguenza, ritardi in produzione e difficoltà nella relativa schedulazione.

La principale causa alla base della problematica riscontrata è da ritrovarsi nella mancanza di controllo sul rispetto degli ordini di lavoro di semilavorati; il livello di servizio su cui vengono valutate le Value Stream, infatti, fa riferimento ai soli codici di prodotto finito. Questo fa sì che le Value Stream considerino i semilavorati destinati ad essere utilizzati in altre Value Stream alla stregua di codici di serie B, con una generale mancanza di attenzione nei loro confronti.

Per prima cosa, quindi, partendo dalle distinte base di tutti i codici prodotti in Carel, si sono individuati i semilavorati oggetto di analisi e ne sono stati mappati i flussi.

Si sono quindi rivisti i metodi di approvvigionamento per questi codici: dopo aver individuato i codici indicati per la gestione a Kanban si è creato un modello per l'individuazione del metodo di approvvigionamento più appropriato per i rimanenti codici.

Infine, per un limitato numero di codici, è stata effettuata una mappatura dei relativi processi e, sulla base dei risultati ottenuti, si è proposto un miglioramento che ha portato alla soluzione di buona parte della problematica di partenza.

Di seguito, per meglio orientare la lettura, viene fornita un'indicazione di massima circa il contenuto dei vari capitoli.

Il primo capitolo è dedicato alla presentazione dell'azienda Carel, finalizzato ad una maggior comprensione delle dinamiche caratterizzanti la realtà entro la quale il progetto si è svolto.

Il secondo capitolo fornisce una panoramica generale sulla teoria alla base dei principali metodi di gestione dei materiali: a fabbisogno, a scorta, a Kanban.

Nel terzo capitolo vengono illustrati i presupposti da cui hanno avuto origine gli interventi effettuati: viene analizzata più nel dettaglio la problematica che ha dato origine a questo lavoro di tesi; vengono specificate le relazioni tra le Value Stream e le singole linee produttive per quanto riguarda lo scambio di semilavorati, riportando inoltre il procedimento che ha permesso di individuare i codici interessati ed i loro flussi; vengono illustrati i tre metodi di

approvvigionamento attualmente utilizzati in Carel per la gestione dei semilavorati.

Il quarto capitolo tratta il processo di revisione dei metodi di approvvigionamento che è stato effettuato per tutti i semilavorati in analisi: viene descritta l'applicazione dello standard Carel per l'individuazione dei codici indicati per la gestione a Kanban; viene riportato il procedimento seguito ai fini del calcolo del numero ottimale di cartellini; viene riportato il modello ideato per individuare il metodo di approvvigionamento più appropriato per i semilavorati non a Kanban, con relativa applicazione ai rimanenti codici

Il quinto capitolo, dopo aver fornito una panoramica sui semilavorati utilizzati dalla Value Stream Umidificazione, segnala come il lavoro di tesi si sia concentrato sui soli codici a Kanban utilizzati da questa Value Stream: viene riportata la mappatura dei processi che li vedono coinvolti e, sulla base di essa, viene descritto il miglioramento implementato al fine di ridurre i ritardi di fornitura.

Il sesto capitolo trae le conclusioni dell'intero lavoro: vengono riportati i risultati ottenuti a valle dell'implementazione del miglioramento e vengono proposti interessanti spunti per ulteriori sviluppi futuri.



# 1 CAREL INDUSTRIES S.P.A.

CAREL (Costruzione ARmadi ELettrici) è uno dei leader mondiali nella realizzazione di sistemi di controllo per il condizionamento, la refrigerazione, l'umidificazione ed il raffrescamento adiabatico. I prodotti CAREL (logo in figura 1.1) si distinguono per l'elevata efficienza e il risparmio energetico, proponendo con continuità soluzioni innovative nel settore di riferimento. L'obiettivo di questo capitolo è quello di presentare l'azienda, in cui si è svolto il progetto di tesi, con particolare riferimento alla sua storia, ai suoi prodotti e relative applicazioni, alla sua struttura organizzativa e ai valori che la contraddistinguono.



*Figura 1.1 – Logo Carel*

## 1.1 La storia

L'azienda nasce nel 1973 in provincia di Padova, a Brugine (in cui tutt'ora è situato l'headquarter), fondata da Luigi Rossi Luciani (tutt'ora presidente del gruppo), Giancarlo Galvani, Rocco Clienti e Luigi Nalini, come azienda progettista e costruttrice di quadri elettrici (da cui deriva il nome CAREL - Costruzione Armadi Elettrici).

Il primo cliente fu Hiross, un'azienda locale operante nel mercato del condizionamento, che consentì a Carel di specializzarsi nella progettazione e produzione dei suddetti quadri, permettendole così di entrare nel mercato del condizionamento e della refrigerazione.

Nel 1975 l'azienda inizia la produzione dei primi umidificatori, a cui oggi è dedicata un'intera Value Stream. I primi umidificatori erano finalizzati al

mantenimento di determinate condizioni igrometriche all'interno di centri di calcolo, necessarie al fine di consentire il funzionamento ottimale dei calcolatori. La produzione elettronica, che oggi rappresenta il core business di Carel, ha inizio solamente a partire dagli '80, sfruttando l'ondata di innovazione a cui il settore era soggetto in quel periodo. Carel inizia così a sviluppare controlli elettronici destinati a centri di calcolo, sistemi di monitoraggio per unità di condizionamento e controlli per la refrigerazione. Negli stessi anni viene introdotta nel reparto elettronica la tecnologia SMT (se ne parlerà nel capitolo 5) che consente di assemblare schede elettroniche senza praticare fori sul circuito stampato, con innumerevoli vantaggi: possibilità di automazione del processo, miniaturizzazione di componenti e schede elettroniche, riduzione degli scarti. Ulteriori novità sono costituite dall'introduzione dei test In-Circuit nei processi produttivi e nella produzione dei primi controllori programmabili, sistemi di controllo caratterizzati da un elevato grado di customizzazione grazie, peraltro, allo sviluppo di un linguaggio di programmazione proprietario (Easy Tools). Contemporaneamente, nel territorio circostante, iniziano a crescere numerose aziende operanti nell'ambito del condizionamento e della refrigerazione: nasce così il "distretto del freddo", destinato a diventare uno dei più grandi al mondo. Alla fine degli anni '80, l'interruzione del rapporto con il principale cliente Hiross, spinge l'azienda verso la ricerca di nuovi clienti; la ricerca ha esito molto favorevole in particolar modo verso le piccole-medie imprese, che tutt'ora costituiscono il mercato di riferimento per Carel. Negli anni '90 l'azienda, sfruttando il proprio vantaggio tecnologico, inizia un processo di espansione che continua anche al giorno d'oggi e le cui tappe principali vengono di seguito riassunte:

- *1990-1999.* A Lione nasce Carel France, la prima filiale del gruppo, dando il via al processo di internazionalizzazione dell'azienda che prosegue, in questi anni, con la nascita di Carel Deutschland, Carel UK e Carel Sud America; viene inoltre ottenuta la certificazione ISO 9001.
- *2000-2004.* Nascono Carel China, Carel USA e Carel Australia; viene adottato il sistema ERP Oracle; viene aggiornato il sistema qualità alla norma ISO 9001:2000; nasce il centro sperimentale Carel adibito alla sperimentazione delle tecniche di regolazione delle macchine frigorifere, con un focus particolare verso le nuove tecnologie.

- *2005.* Inizia la produzione nel nuovo stabilimento di Suzhou, a 100 km da Shanghai, in Cina. In questo modo, Carel può far fronte alle crescenti richieste del mercato asiatico, oltre che garantire una continuità di servizio per i clienti occidentali presenti con stabilimenti anche in territorio cinese. Lo stabilimento di Suzhou garantisce prodotti con gli stessi standard qualitativi dei prodotti realizzati nell'headquarter italiano.
- *2006.* Carel viene nominata “Azienda Eccellente” tra le prime cento in Italia secondo il rapporto “Nostra Eccellenza” dell'Istituto Eurispes, ente operante nel settore della ricerca sociale, politica ed economica; Carel ottiene inoltre una menzione speciale nel premio F.I.O.R.E. (Farnell InOne RoHS Elected) nella categoria “Tecnologie per la produzione” e “Premio per l'Innovazione” nell'ambito del “Premio Qualità nello Sviluppo”, promosso dai Rotary Club, Unindustria Padova, CCIAA, Ucid, Ordine dei Dottori Commercialisti.
- *2007-2008.* Nascono le filiali Carel Iberica, Carel India, Carel South Africa e Remote Value; Carel si aggiudica inoltre il Premio Mediobanca 2008 assegnato alle imprese in grado di distinguersi per elevata crescita e redditività.
- *2009.*” Nascita di una filiale Carel in Russia; avviene una riorganizzazione societaria del gruppo con destinazione delle funzioni operative, industriali e commerciali ad una nuova società: Carel Industries S.r.l., controllata da Carel S.p.A.; Carel si aggiudica il premio “Marco Polo 2009” assegnato da parte di Unioncamere Veneto che riconosce in Carel l'impegno e il conseguimento di notevoli risultati nell'ambito del commercio estero nei corsi dell'anno 2008; nello stesso anno Carel riceve il premio “Creatori di valore” per il settore elettronica nell'ambito dei China Awards 2009, l'azienda si distingue per le sue ottime performance con la Cina.
- *2010-2011.* Nascita di un nuovo Plant produttivo in Brasile; Carel ottiene una menzione speciale alla quarta edizione del premio IxI (Premio Imprese x l'Innovazione) da parte di Confindustria in collaborazione con APQUI (Associazione Premio Qualità Italia). La menzione avviene a valle di un'analisi sulle performance del modello strategico ed

organizzativo adottato da Carel, particolarmente orientato all'innovazione.

- *2012.* Carel modifica la propria forma giuridica diventando una Società per Azioni; vincita del Premio Amici della ZIP (Zona Industriale di Padova) nella categoria “innovazione”; viene conseguita la certificazione ISO 14001:2004.
- *2013.* Avviene la nascita di Carel Nordic; Carel riceve la certificazione OHSAS 18001:2007.
- *2014.* Nasce Carel Middle East.
- *2015.* Nascono nuove filiali commerciali in Messico e Thailandia mentre a Labin, in Croazia, nasce il settimo stabilimento produttivo del gruppo.
- *2017.* Avviene l'acquisizione di Alfaco Polska, azienda leader nella distribuzione di soluzioni complete in ambito di condizionamento, umidificazione dell'aria, ventilazione e refrigerazione. L'azienda polacca, già da tempo partner del gruppo Carel, si occupa della distribuzione dei suoi prodotti nell'Est Europa.
- *2018.* Avviene la quotazione in borsa del gruppo Carel Industries S.p.A.; avviene l'acquisizione della società italiana Recuperator S.p.A., azienda leader nella progettazione, produzione e commercializzazione di scambiatori di calore aria-aria, in questo modo Carel consolida ulteriormente il suo ruolo di fornitore di soluzioni complete verso i costruttori di unità di trattamento aria; avviene l'acquisizione di HygroMatik GmbH, azienda tedesca leader nella progettazione, produzione e vendita di umidificatori e accessori connessi, l'acquisizione consente a Carel di consolidare ulteriormente la propria posizione nei mercati dei Paesi di lingua tedesca e nord europei.

Questo processo di espansione ha portato Carel a raggiungere una quota di fatturato annua pari a 255 milioni, potendo contare su un totale di 1364 collaboratori. I prodotti attualmente commercializzati sono più di 6200, con un volume che supera i 7 milioni di pezzi annui venduti a più di 6300 clienti totali.

La presenza di Carel è globale, potendo contare su 7 stabilimenti produttivi e 21 filiali sparse nel mondo, con l'80% delle vendite che avviene proprio a clienti esteri.

In figura 1.2 vengono riassunti i dati elencati.



Figura 1.2 - I numeri di Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

## 1.2 Il parco prodotti e le applicazioni

La gamma di prodotti offerti da Carel è ampia e copre innumerevoli ambiti applicativi, le principali categorie di prodotto sono le seguenti:

- *Controlli.* Controlli elettronici utilizzati nel monitoraggio e nel settaggio dei parametri termodinamici in sistemi HVAC/R (Heating, Ventilation and Air Conditioning/Refrigeration). I sistemi di controllo offerti si distinguono principalmente in due macro-categorie: controllori parametrici e controllori programmabili. I controllori parametrici sono caratterizzati da



Figura 1.3 – Controllori parametrici per il condizionamento (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

un'architettura relativamente semplice, con un funzionamento di tipo on/off; i controllori programmabili, invece, offrono maggiori possibilità di settaggio dei parametri di controllo grazie ad una programmazione tramite software.

- *Umidificatori.* Gli umidificatori sono sistemi che, grazie all'immissione nell'aria di vapore acqueo, riescono a mantenerne un livello di umidità costante. Gli umidificatori proposti



Figura 1.4 – Umidificatori a vapore a resistenze (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

da Carel sono fondamentalmente di due tipi: gli umidificatori isotermici e gli umidificatori adiabatici. Negli umidificatori isotermici il vapore da immettere nell'aria è generato grazie ad una fonte di energia esterna che porta ad ebollizione l'acqua; dal momento che la massa di vapore immessa nell'aria è di molto inferiore alla massa dell'aria stessa, essa sarà soggetta ad una ridottissima variazione di temperatura per la quale è possibile considerare il processo, con buona approssimazione, a temperatura costante. Rientrano in questa categoria gli umidificatori a gas, gli umidificatori a vapore a resistenze e gli umidificatori ad elettrodi immersi. Gli umidificatori adiabatici, invece, producono vapore evitando la somministrazione di energia dall'esterno, ma sfruttando il calore dell'aria umidificata che andrà così a raffreddarsi. Fanno parte di questa categoria gli umidificatori centrifughi, gli umidificatori ad ultrasuoni, gli atomizzatori ad aria compressa e acqua, gli umidificatori ad acqua in pressione e gli atomizzatori a raffreddamento evaporativo.

- *Elettrovalvole.* Valvole di espansione a funzionamento elettronico utilizzate nei cicli frigoriferi



Figura 1.5 – Valvole di espansione elettroniche (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

per la refrigerazione ed il condizionamento. Rispetto alle tradizionali valvole di tipo meccanico, con funzionamento on/off, il controllo elettronico consente di ottenere una modulazione del flusso di fluido refrigerante, garantendo così un notevole risparmio energetico. È importante sottolineare come Carel, assieme alle valvole, offra anche i relativi driver di controllo.

- *Sistemi di trattamento acqua.* Sistemi che consentono di portare l'acqua di acquedotto alle condizioni necessarie per il funzionamento degli umidificatori.



Figura 1.6 – Sistemi ad osmosi inversa (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Sistemi di telegestione e monitoraggio.* Sistemi che consentono di controllare, per via diretta o da remoto, interi sistemi HVAC o di refrigerazione.



Figura 1.7 - Soluzione di supervisione locale (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Sensoristica.* Sensori di temperatura, umidità, pressione, gas oltre che rilevatori dei principali parametri di energia elettrica, dispositivi di segnalazione e protezione.



Figura 1.8 - Sonde di temperatura/umidità (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Regolatori di velocità e inverter.* Utilizzati per il controllo di motori elettrici che, a loro volta, regolano il funzionamento di componenti, compressori, ventilatori, pompe ecc.



Figura 1.9 – AC Inverter (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Pannelli elettrici.* Per garantire il controllo completo dei sistemi HVAC/R.



Figura 1.10 – Pannelli elettrici per centrali trattamento aria (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

Come anticipato, i settori in cui i prodotti Carel trovano impiego sono innumerevoli, di seguito ne vengono elencati alcuni a titolo di esempio:

- *Automotive.* Gli umidificatori Carel possono trovare impiego nel settore automotive dal momento che l'introduzione di prodotti a base acquosa nei processi di verniciatura delle vetture ha reso indispensabile il controllo delle condizioni termo-igrometriche all'interno delle cabine di verniciatura. Non solo, anche il crescente utilizzo di materiali compositi, in questo settore, rende fondamentale il controllo delle condizioni di umidità dell'aria per poterne consentire la manipolazione. Un altro ambito del settore automotive in cui i prodotti Carel trovano impiego sono le camere per test, all'interno delle quali vengono riprodotte le condizioni climatiche a cui la vettura potrà essere sottoposta.
- *Camere bianche.* Gli umidificatori Carel possono trovare impiego anche nelle camere bianche in cui è fondamentale un controllo assoluto dell'umidità relativa, con limiti di tolleranza che, per alcune applicazioni, arrivano fino all'1%. Le motivazioni sono molteplici e dipendono da caso a caso. Ad esempio, un valore di umidità relativa compreso tra il



40% ed il 60% inibisce la proliferazione batterica e di altri organismi come funghi e muffe, ma è anche un valore ottimale per quanto riguarda il benessere delle persone, potendo così garantire un elevato livello di efficienza degli operatori. L'umidità relativa influenza anche la velocità di numerose reazioni chimiche e la lavorabilità di molti materiali. Infine, si cita il fatto che, il mantenimento del livello di umidità relativa al di sopra di certi valori riduce il verificarsi di scariche elettrostatiche, estremamente dannose quando si sta operando su componenti elettronici.

- *Climatizzazione in applicazioni commerciali.* Carel offre soluzioni complete per un preciso controllo di temperatura, umidità e purezza dell'aria nell'ambito del condizionamento di edifici commerciali, garantendo così le condizioni termo-igrometriche ottimali per il benessere degli occupanti dell'edificio. Elemento caratterizzante di questi edifici è poi l'elevato consumo di energia elettrica, motivo per cui Carel punta a migliorare costantemente la propria gamma di prodotti in termini di efficienza energetica.

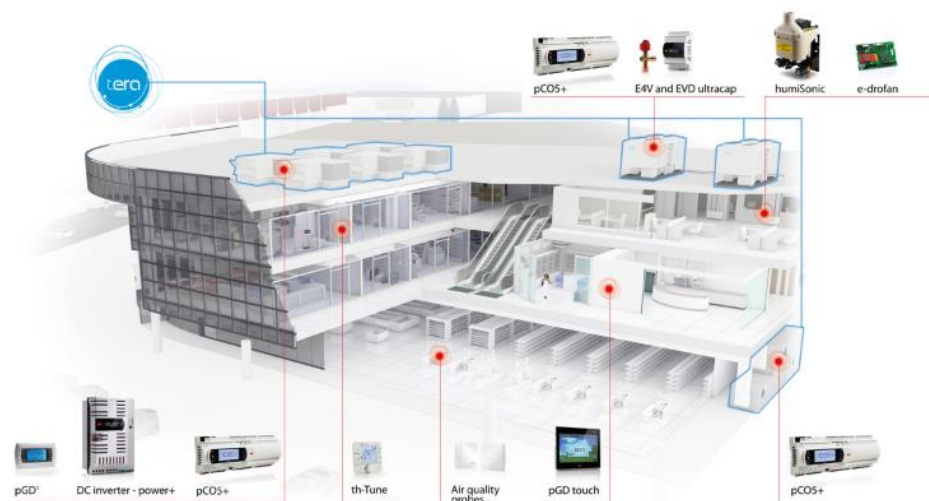


Figura 1.11 – Utilizzo dei prodotti Carel nell'ambito di applicazioni commerciali (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Musei, biblioteche e teatri.* I prodotti Carel possono trovare applicazione in tutti quegli edifici in cui il controllo delle condizioni termo-igrometriche è fondamentale al fine di garantire la conservazione nel

tempo di opere preziose. Mantenere il corretto livello di temperatura e umidità in questi edifici significa preservare al meglio le condizioni di opere d'arte, opere in legno, libri, tele, pergamene oltre che, chiaramente, garantire condizioni di benessere ai visitatori.

- *Industria agroalimentare.* I prodotti Carel possono trovare applicazione anche nell'industria agroalimentare, in cui è fondamentale preservare freschezza, aroma, aspetto e peso dei prodotti. I prodotti alimentari come frutta e verdura, carni e formaggi, sono sostanze igroscopiche, che tendono cioè a modificare il proprio tenore d'acqua e portarlo in equilibrio con le condizioni ambientali esterne. Conservare gli alimenti in condizioni termo-igrometriche ottimali consente di limitarne la perdita d'acqua (che andrebbe a ridurre il peso vendibile), conservarne aspetto, freschezza ed evitarne il deterioramento; le condizioni termo-igrometriche influenzano anche la bontà dei processi di stagionatura di salumi e formaggi.
- *Residenziale.* Carel fornisce soluzioni di sistema per il condizionamento residenziale e la produzione di acqua calda sanitaria, garantendo prodotti dall'elevata usabilità e risparmio energetico. Si propone quindi come partner tecnologico di tutti quei costruttori, installatori ed integratori di sistema che puntano ad un controllo totale delle condizioni di comfort a livello domestico.

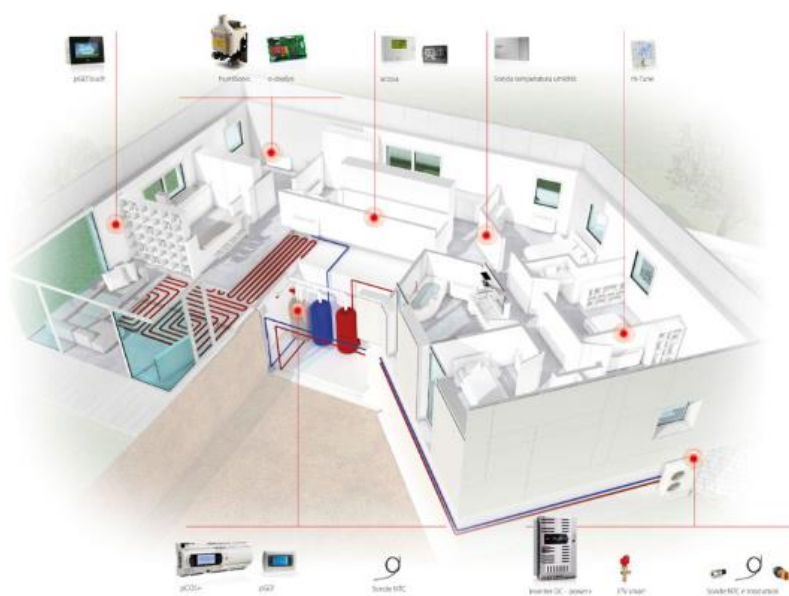


Figura 1.12 – Applicazione dei prodotti Carel nel residenziale (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Ristorazione.* Carel offre soluzioni complete nell'ambito della refrigerazione commerciale fornendo sistemi di controllo per impianti frigoriferi di armadi refrigeranti, vetrine e banchi frigo. In questo modo i prodotti Carel possono trovare impiego in bar, ristoranti, società di catering, pasticcerie e gelaterie.

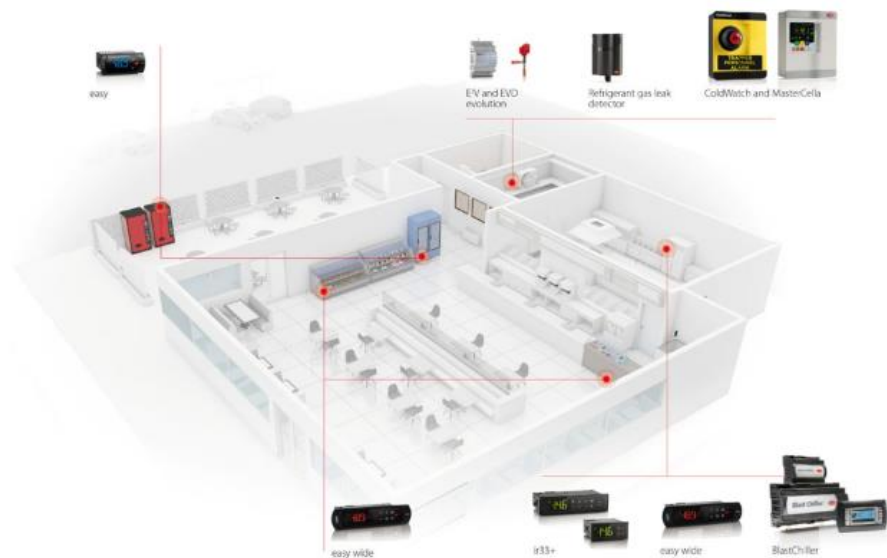


Figura 1.13 – Applicazione dei prodotti Carel alla ristorazione (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

- *Unità di termoregolazione.* Carel propone soluzioni per il controllo della temperatura di grandi macchinari e impianti; a titolo di esempio ci si citano le unità di termoregolazione (TCU), utilizzate nell'ambito di alcuni processi industriali al fine di garantire il preriscaldamento ed il mantenimento del processo alla temperatura desiderata. Un particolare settore applicativo di queste unità è quello della pressofusione, in cui è fondamentale garantire il mantenimento della temperatura dello stampo entro certi valori in tutte le fasi del processo per evitare l'insorgere di difetti nel prodotto finito o il danneggiamento dello stampo stesso.



Figura 1.14 – Unità di termoregolazione con controllo Carel (fonte: Carel Industries S.p.A, 2019)

### 1.3 La struttura organizzativa

Carel non basa la sua struttura organizzativa su una tradizionale struttura a funzioni, bensì su una più efficace struttura per Value Stream.

Il passaggio da una struttura per funzioni ad una struttura per Value Stream è da collocarsi nell'ambito di un più ampio percorso di trasformazione aziendale che ha inizio, in Carel, nel 2006 ed è tutt'ora in atto: si tratta del Lean Journey di Carel.

La scelta di intraprendere un percorso simile è nata da un lato dalla volontà di aumentare la propria competitività in un mercato in espansione e sempre più esigente, dall'altro di evitare che il senso di appagamento che contraddistingueva alcune aree dell'azienda in quel periodo si estendesse alla totalità dell'azienda stessa (Camuffo, 2014)<sup>1</sup>. Le prime fasi del Lean Journey si sono basate sulla ricerca del valore per il cliente e su una riorganizzazione delle attività in modo tale da identificarne il flusso all'interno dell'azienda. Tuttavia, al fine di consentire un regolare scorrimento del flusso di valore, era necessario abbattere tutti gli ostacoli, fisici e non, che in qualche modo lo limitassero. È proprio per far fronte a questa esigenza che Carel ha deciso di variare la sua struttura organizzativa. Essa, in origine, si basava sull'esistenza di più funzioni, ognuna specializzata in un determinato ambito (es. produzione, marketing ecc.), svolgendo solamente le attività di propria competenza. Nello svolgimento delle proprie attività le singole funzioni non tenevano assolutamente conto delle

---

<sup>1</sup> Camuffo A., 2014, *L'arte di migliorare. Made in Lean Italy per tornare a competere*, Marsilio

esigenze delle altre funzioni, agendo con l'unico obiettivo di massimizzare la propria efficienza e riducendo al minimo la comunicazione reciproca. Le funzioni, quindi, possono essere rappresentate come singole entità separate da "muri", invalicabili ostacoli allo scorrimento regolare del flusso del valore (figura 1.15).

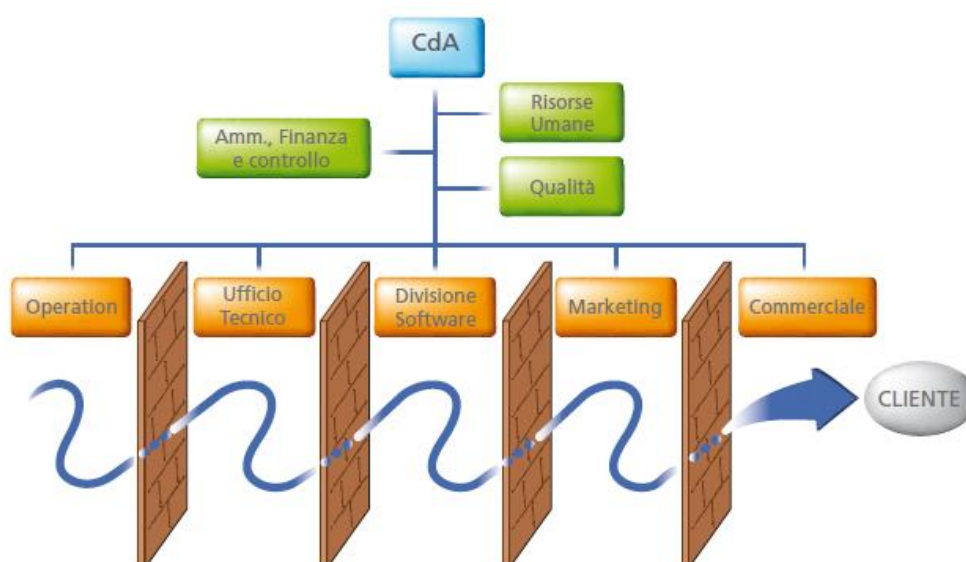


Figura 1.15 - Struttura organizzativa per funzioni (fonte interna Carel)

Il passaggio da una struttura per funzioni ad una struttura per Value Stream ha consentito di abbattere questi muri. Le funzioni sono state trasformate in centri di competenza, non lavorando più come entità indipendenti, ma mettendo le proprie conoscenze a disposizione dei flussi di valore individuati nell'azienda, con riferimento sia alla produzione che allo sviluppo prodotto. Si sono così potuti formare team multifunzionali, in cui la condivisione del bagaglio di conoscenze proveniente da centri di competenza differenti porta ad una rapida ed efficiente soluzione dei problemi. Per facilitare ulteriormente l'integrazione delle funzioni e dare un'ulteriore spinta all'abbattimento dei suddetti muri si è deciso di creare ampi open space in cui si trovano uffici differenti, ma legati alla stessa macro-area; in questo modo lo scambio di informazioni è ulteriormente facilitato e calato nel contesto quotidiano.

In figura 1.16 viene riportato lo schema di riferimento della nuova struttura organizzativa per Value Stream.

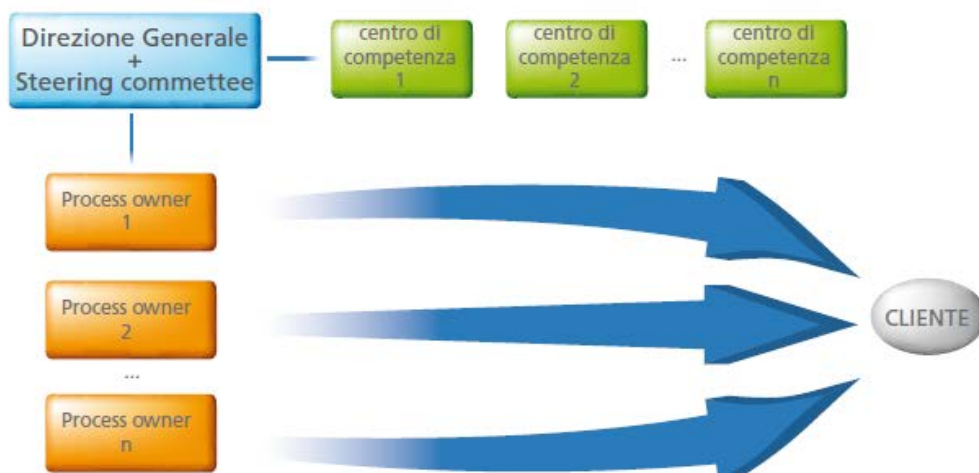


Figura 1.16 – Struttura organizzativa per Value Stream (fonte interna Carel)

## 1.4 I valori di Carel

La Mission aziendale può essere ben riassunta dallo slogan “High Efficiency Solutions”, punto di partenza e di arrivo in tutti i processi di progettazione, produzione e commercializzazione dei prodotti Carel. La volontà è quella di porre il cliente al centro: ogni processo deve essere finalizzato alla creazione di valore per i clienti, offrendo prodotti di qualità, che combinino elevate prestazioni ad elevata efficienza energetica. L’attenzione all’ambiente è, infatti, una delle priorità del gruppo Carel e viene curata sia nelle caratteristiche dei prodotti commercializzati, sia nei processi produttivi tramite i quali i prodotti vengono realizzati.



Figura 1.17 – Slogan Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)



Lo strumento utilizzato per il raggiungimento della Mission aziendale è il miglioramento continuo, che porta ad una costante ridefinizione degli standard. Negli anni, inoltre, si è data grande importanza alla ricerca e all'innovazione tecnologica, che hanno portato Carel a rivestire l'attuale ruolo di leader tecnologico-produttivo nel settore di riferimento. Come si può osservare in figura 1.18, ad oggi, il 7% del fatturato viene reinvestito in ricerca e sviluppo, area nella quale trova impiego ben il 18% dei dipendenti. In questo modo, il costante sviluppo di tecnologie innovative consente di introdurre sul mercato prodotti sempre all'avanguardia, in grado di anticipare bisogni ed esigenze dei clienti.

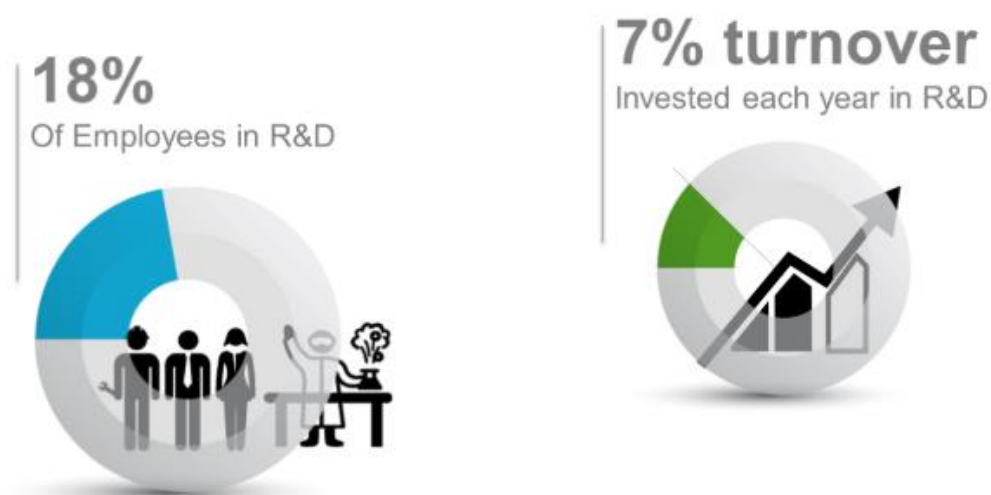


Figura 1.18 – Numeri dell'R&D in Carel (fonte: Carel Industries S.p.A., 2019)

I valori di Carel sono racchiusi nel nome stesso dell'azienda, che ne rappresenta l'acronimo:

- **CUSTOMER FIRST:** il cliente viene messo al primo posto facendo attenzione ai suoi bisogni, individuandone i desideri e fornendo prodotti di qualità garantita.
- **ACHIEVEMENT:** negli obiettivi prefissati, nei risultati conseguiti e nell'impegno personale.

- **RESPECT:** nei confronti dell'ambiente, dei partner e fondato sulla fiducia nelle relazioni.
- **EVOLUTION:** nelle tecnologie e nelle innovazioni proposte, nell'ergonomia.
- **LEARNING:** in termini di crescita personale, crescita professionale e dell'intera società.



## 2 SISTEMI DI GESTIONE DEI MATERIALI

L'obiettivo del capitolo<sup>2</sup> è quello di presentare i principali sistemi di gestione dei materiali da un punto di vista strettamente teorico. Nel paragrafo introduttivo vengono spiegate le differenze tra i tipi di domanda a cui può essere soggetto un codice e vengono introdotte le due principali classi di sistemi di gestione dei materiali. Vengono poi indicate le variabili da considerare nella scelta del metodo di approvvigionamento più opportuno e vengono descritti i sistemi di gestione a scorta, a fabbisogno (MRP) e a Kanban.

### 2.1 Introduzione alla gestione dei materiali

Prima di procedere con l'esposizione delle principali tecniche di gestione dei materiali è bene soffermarsi sulla distinzione tra le due tipologie di domanda a cui può essere soggetto un articolo: domanda dipendente o domanda indipendente.

Considerando la struttura di una generica distinta base gli articoli soggetti a domanda indipendente risultano essere, tipicamente, i codici padre, ovvero prodotti finiti la cui domanda non può essere calcolata in maniera deterministica, ma solamente prevista in relazione alle dinamiche del mercato in cui si opera.

Una volta pianificata la produzione dei codici padre a partire da un mix di previsioni commerciali e ordini dei clienti è possibile risalire, tramite i coefficienti di impiego, ai fabbisogni esatti dei codici figlio (sotto-assiemi, componenti, materie prime) che, pertanto, risulteranno essere soggetti a domanda dipendente. Tuttavia, è utile sottolineare che, qualora un componente o un sotto-assieme venga venduto separatamente, come parte di ricambio, esso risulterà essere soggetto a domanda indipendente oltre che dipendente.

Lo scopo di un sistema di gestione dei materiali è quello di definire in maniera esatta, per un determinato codice, quantità e tempistiche del riordino, ovvero rispondere in maniera chiara ai quesiti: quando ordinare e quanto ordinare.

I sistemi di gestione dei materiali possono essere raggruppati in due grandi macrocategorie:

- a scorta;

---

<sup>2</sup> I contenuti del capitolo sono tratti prevalentemente da: De Toni A., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di gestione della produzione, ISEDI*

- a fabbisogno.

Entrambe le tipologie vanno a ricostruire la scorta quando essa risulta insufficiente rispetto ai fabbisogni futuri, ma la differenza sostanziale tra di esse risiede sulla logica di calcolo con la quale vengono determinati tali fabbisogni: i primi adottano una logica di tipo “*look back*”, i secondi una logica di tipo “*look ahead*”.

Nei sistemi di gestione a scorta, infatti, i fabbisogni attesi sono determinati esclusivamente a partire da considerazioni sui consumi storici, con il riordino del materiale che scatta quando la giacenza scende al di sotto di un ben definito valore, il livello di riordino. Il profilo della giacenza, pertanto, assume il caratteristico andamento a dente di sega (vedi figura 2.1), con l’area sottesa dal grafico direttamente proporzionale all’investimento finanziario in scorte. I codici maggiormente indicati per una gestione di questo tipo sono quelli a domanda indipendente o dipendente, quando non inseriti in distinta base per un basso valore unitario.

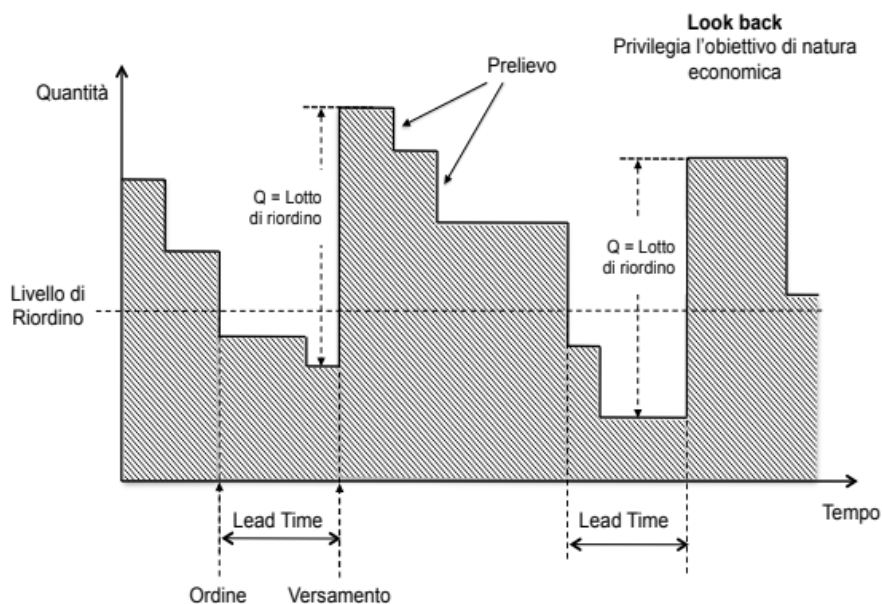


Figura 2.1 – Andamento della giacenza in un sistema di gestione a scorta (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Nei sistemi di gestione a fabbisogno, pensati per gestire codici a domanda dipendente, i fabbisogni sono calcolati in maniera esatta a partire dagli ordini del

codice padre; il riordino del materiale scatta quindi quando la scorta disponibile risulta essere insufficiente alla copertura dei fabbisogni calcolati per un predeterminato orizzonte temporale. Il profilo della giacenza assume così l'andamento ad istogramma di figura 2.2, con le colonne aventi l'area proporzionale all'investimento finanziario in scorte. Appare quindi chiaro come tali tecniche di gestione, rispetto alle precedenti, vadano a minimizzare l'investimento finanziario in scorte che sarà tanto ridotto quanto è ridotto l'intervallo di tempo che intercorre tra il versamento ed il prelievo a magazzino dell'articolo; d'altro canto, la maggior complessità di gestione di questi sistemi li rende più onerosi da un punto di vista economico. I codici indicati ad una gestione di questo tipo, come anticipato, risultano essere quelli a domanda dipendente.

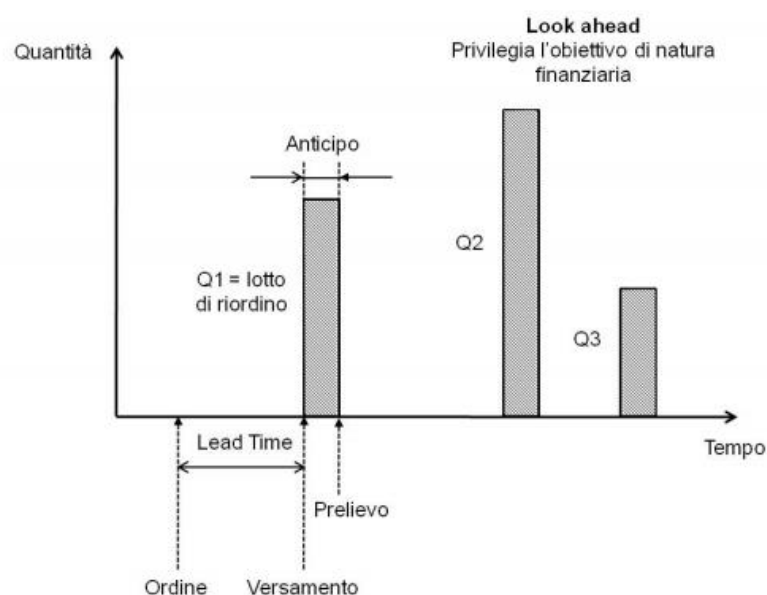


Figura 2.2 – Andamento della giacenza in un sistema di gestione a fabbisogno (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

## 2.2 Variabili che influenzano la scelta del metodo di gestione

Vengono di seguito elencate le cinque principali caratteristiche di un articolo che è opportuno considerare nell'individuazione del metodo di gestione più adeguato (De Toni, Panizzolo 2018):

- *Valore d'impiego.* Il valore d'impiego di un articolo è dato dal prodotto del suo consumo in un determinato intervallo di tempo per il suo valore unitario. Per i codici aventi elevato valore d'impiego è consigliabile una tecnica di gestione a fabbisogno al fine di minimizzarne i costi di giacenza (proporzionali al valore della giacenza stessa); per i codici con basso valore d'impegno, al contrario, è consigliabile una tecnica di gestione a scorta: si privilegia una gestione meno complessa dal momento che il basso valore d'impiego rende meno oneroso il mantenimento di una scorta.
- *Continuità del consumo.* Per articoli con un'elevata frequenza di consumo è consigliabile un sistema di gestione a scorta, mentre per quelli con bassa frequenza di consumo è preferibile un sistema di gestione a fabbisogno. Un'elevata frequenza di consumo, infatti, rende più attendibili le previsioni della domanda basate su un'analisi dei consumi storici (logica look back dei sistemi di gestione a scorta).
- *Tipologia della domanda.* Come già anticipato, la domanda di un articolo può essere di due tipi: dipendente o indipendente. Nel caso di articoli a domanda dipendente, alla luce di quanto discusso nel paragrafo 2.1, il metodo di gestione più indicato è a fabbisogno, mentre nel caso di articoli a domanda indipendente la scelta è tra una gestione a scorta o a piano (se ne parlerà nel paragrafo 2.3.6).
- *Larghezza della distinta base.* Si definisce larga una distinta base con un elevato numero medio di codici per livello. I codici figlio di una distinta base molto larga dovrebbero essere sempre gestiti a fabbisogno per garantire un elevato livello di servizio sul codice padre. In un sistema di gestione a scorta, infatti, vi è sempre una componente della scorta (scorta di sicurezza) predisposta per fronteggiare la variabilità sulla domanda e sul lead time di riordino del codice. Tale componente viene dimensionata con l'obiettivo di garantire un livello di servizio desiderato per il codice in questione, che non sarà mai pari al 100% dal momento che, sulla base di considerazioni probabilistiche, per fronteggiare il 100% della variabilità sarebbe necessario predisporre una scorta di sicurezza tendente all'infinito. Ciò significa che il livello di servizio di un codice

padre avente i codici figlio gestiti a scorta risulterebbe pari al prodotto del livello di servizio di ciascuno di tali codici, e quindi, a parità di livello di servizio sui codici figlio, sarebbe tanto più ridotto quanto è elevato il numero dei suoi codici figlio.

- *Profondità della distinta base.* Si definisce profonda una distinta base avente un elevato numero di livelli. I codici figlio di una distinta base molto lunga dovrebbero essere gestiti a fabbisogno e tale necessità è tanto più stringente quanto più il codice si colloca nei livelli più bassi della distinta. Ciò in quanto una politica di riordino a lotti su un codice padre rende maggiormente variabile la domanda dei codici figlio, concentrandola in un ridotto numero di periodi. Inoltre, dovendo fronteggiare una variabilità così elevata, una gestione a scorta dovrebbe prevedere una scorta di sicurezza altrettanto elevata per garantire un livello di servizio adeguato, rendendo particolarmente onerosa una gestione di questo tipo.

## 2.3 I sistemi di gestione a scorta

Si è già detto di come i sistemi di gestione a scorta vadano a ripristinare la giacenza quando essa risulta essere insufficiente rispetto ai fabbisogni futuri attesi, determinati con logica di tipo look back. Nella pratica è possibile individuare cinque differenti tipologie di sistemi di gestione a scorta, che si ottengono combinando in maniera differente due variabili:

- *Quantità dell'ordine.* La quantità dell'ordine (di acquisto o di produzione) può essere fissa o variabile. Nel primo caso il ripristino della scorta avviene sempre ordinando la stessa quantità (Q); nel secondo caso, invece, il ripristino della scorta è finalizzato al raggiungimento di un determinato valore massimo (S), con la quantità ordinata che sarà quindi pari alla differenza tra tale valore e la scorta disponibile al momento dell'ordine.
- *Esistenza di un intervallo di riordino.* In assenza di un intervallo di riordino l'emissione di un ordine scatta quando la scorta scende al di

sotto di un valore predefinito, il livello di riordino (R); nei sistemi in cui è predisposto un intervallo di riordino (T), invece, l'ordine viene emesso quando sussistono due condizioni: ci si trova nell'istante T e in quel preciso momento la scorta è inferiore al livello di riordino. In altre parole, entrambi i sistemi prevedono un'emissione dell'ordine quando la scorta risulta essere inferiore a R, ma nel primo caso la frequenza di revisione della scorta è continua, nel secondo è periodica, con il periodo dato dall'intervallo di riordino T.

La seguente figura illustra in maniera sintetica le cinque tipologie dei sistemi di gestione a scorta che verranno poi argomentate in maniera più dettagliata.

			QUANTITA' DELL'ORDINE	
			Fissa (Q)	Variabile (fino a S)
REVISIONE DELLA GIACENZA	Revisione continua (ROL - Reorder Level) Frequenza dell'ordine variabile (T=0)	Con livello di riordino (R)	<b>Sistemi (Q,R)</b> (ROP)	<b>Sistemi (S,R)</b> (Min Max System)
	Revisione periodica (ROC - Reorder Cycle) Frequenza dell'ordine fissa (T>0)	Con livello di riordino (R)	<b>Sistemi (Q,R,T)</b> (ROP a periodicità fissa)	<b>Sistemi (S,R,T)</b> (Min Max System a periodicità fissa)
		Senza livello di riordino	----	<b>Sistemi (S,T)</b> (Max System a periodicità fissa)

Figura 2.3 – Classificazione dei sistemi di gestione a scorta (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

### 2.3.1 Il sistema ROP (Q,R)

La tecnica di gestione a scorta maggiormente diffusa è il sistema Reorder Point (ROP) in cui la quantità di riordino Q è fissa e vi è una frequenza di revisione continua delle scorte (T=0).

Il livello di riordino R è così calcolato:

$$R = LT \cdot d + SS$$

Dove:

R = livello di riordino

LT = lead time di riordino

d = domanda media nell'unità di tempo

SS = scorta di sicurezza

Il livello di riordino è cioè dimensionato per avere una scorta, al momento del riordino, in grado di far fronte alla domanda dell'articolo durante il suo lead time. Per completezza di esposizione si riporta la formula per il calcolo della scorta di sicurezza, necessaria per fronteggiare la variabilità sulla domanda e sul lead time di riordino:

$$SS = Z \cdot \sqrt{LT \cdot \sigma_d^2 + d^2 \cdot \sigma_{LT}^2}$$

Dove:

Z = fattore di sicurezza, proporzionale al livello di servizio desiderato

LT = lead time di riordino

$\sigma_{LT}$  = deviazione standard della distribuzione del lead time

d = domanda media nell'unità di tempo

$\sigma_d$  = deviazione standard della distribuzione della domanda

Il profilo della giacenza è quello riportato in figura 2.4; essa raggiungerà un livello massimo  $L_{max}$  pari a:

$$L_{max} = SS + Q$$

ed il suo valore medio sarà pari a:

$$Giacenza\ media = SS + Q/2$$

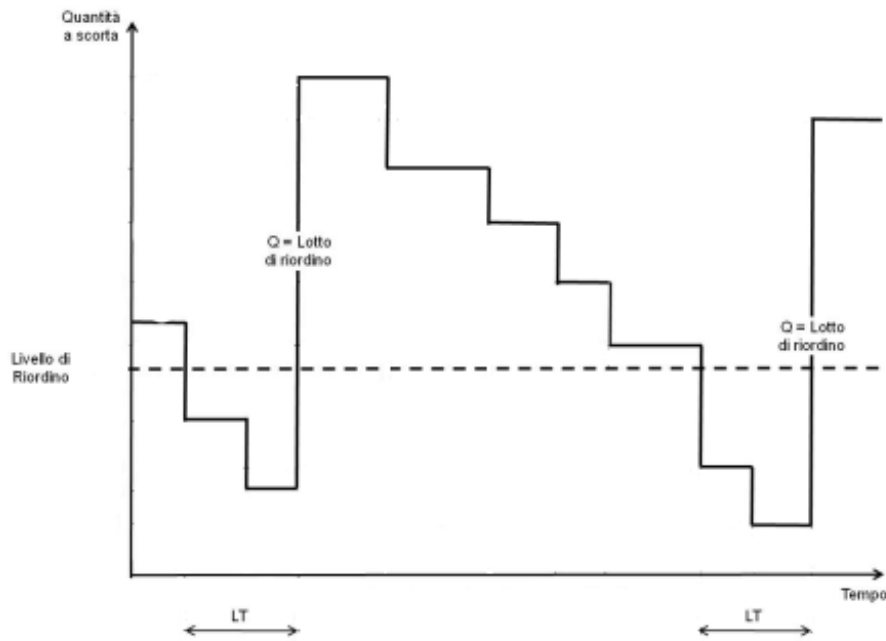


Figura 2.4 – Profilo della giacenza in un sistema ROP (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

### 2.3.2 Il Min Max System (S,R)

Il Min Max System si differenzia dal sistema ROP precedentemente illustrato in quanto la quantità dell'ordine  $Q$  è variabile e così determinata:

$$Q = S - (\text{giacenza presente a magazzino nell'istante di riordino})$$

L'ordine emesso è quindi “tale da riportare la scorta ad uno stock massimo di giacenza  $S$  definito in funzione di un'analisi costi/benefici relativa al bilanciamento tra costi di giacenza e i costi di penuria o di altri vincoli quali ad esempio la capacità disponibile a magazzino” (De Toni, Panizzolo 2018).

Rimangono inalterate le formule per il calcolo del livello di riordino  $R$  e della scorta di sicurezza. Il profilo della giacenza è illustrato in figura 2.5.



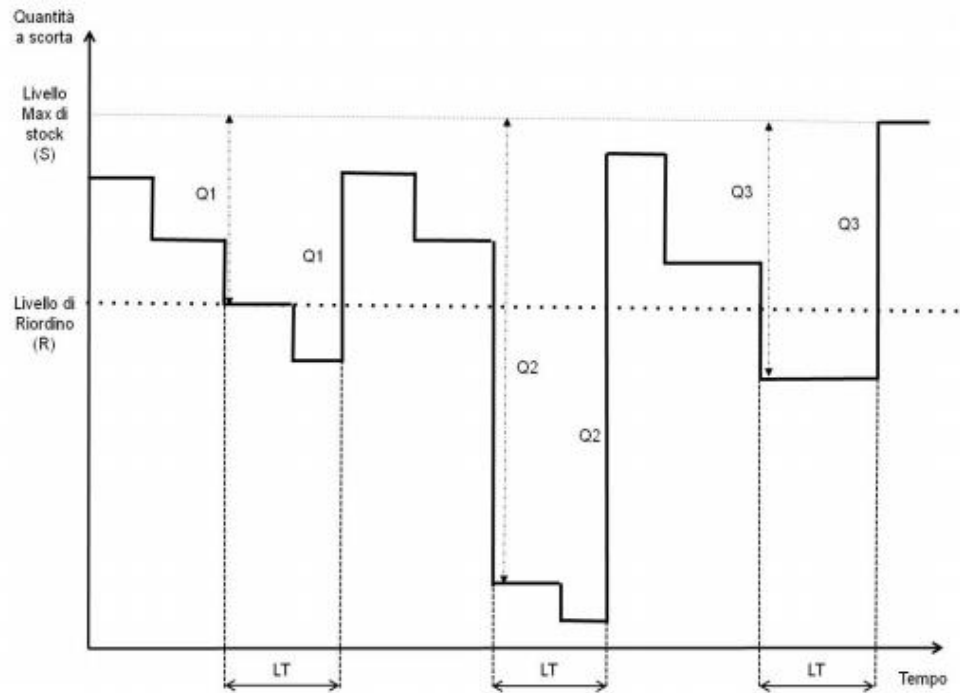


Figura 2.5 – Profilo della giacenza in un sistema Min Max (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

### 2.3.3 Il sistema ROP a periodicità fissa (Q,R,T)

Il sistema Reorder Point a periodicità fissa si differenzia dal sistema ROP tradizionale per l'introduzione di un intervallo di riordino T. La giacenza viene quindi revisionata periodicamente e il riordino, la cui quantità Q rimane fissa, avviene solamente se la scorta è inferiore al livello di riordino R in occasione di tale revisione.

Il livello di riordino dovrà quindi tenere conto del fatto che, nel peggiore dei casi, “il livello della giacenza disponibile potrebbe scendere sotto il livello di riordino immediatamente dopo il controllo: per evitare di generare stock-out è quindi necessario dimensionare R in modo da coprire anche i fabbisogni che si verificano durante l'intero ciclo di riordino” (De Toni, Panizzolo 2018). La formula per il calcolo del livello di riordino, pertanto, diventa:

$$R = (LT + T) \cdot d + SS$$

Dove:

R = livello di riordino

LT = lead time di riordino

d = domanda media nell'unità di tempo

SS = scorta di sicurezza

T = periodo fisso di revisione (intervallo di riordino)

Analogamente, per il calcolo della scorta di sicurezza si ha:

$$SS = Z \cdot \sqrt{(LT + T) \cdot \sigma_d^2 + d^2 \cdot \sigma_{LT}^2}$$

Dove:

Z = fattore di sicurezza, proporzionale al livello di servizio desiderato

LT = lead time di riordino

$\sigma_{LT}$  = deviazione standard della distribuzione del lead time

d = domanda media nell'unità di tempo

$\sigma_d$  = deviazione standard della distribuzione della domanda

T = periodo fisso di revisione (intervallo di riordino)

Alla luce di tali variazioni nel calcolo del livello di riordino e della scorta di sicurezza, è chiaro che l'introduzione di un intervallo di revisione prefissato comporti un innalzamento del livello medio della giacenza. D'altro canto, la revisione periodica della giacenza rende il sistema meno complesso da gestire e apre alla possibilità, nel caso dei codici d'acquisto, di poter dedicare un giorno fisso alla gestione degli acquisti potendo inoltre effettuare ordini per voci congiunte.

Il profilo della giacenza è il seguente:

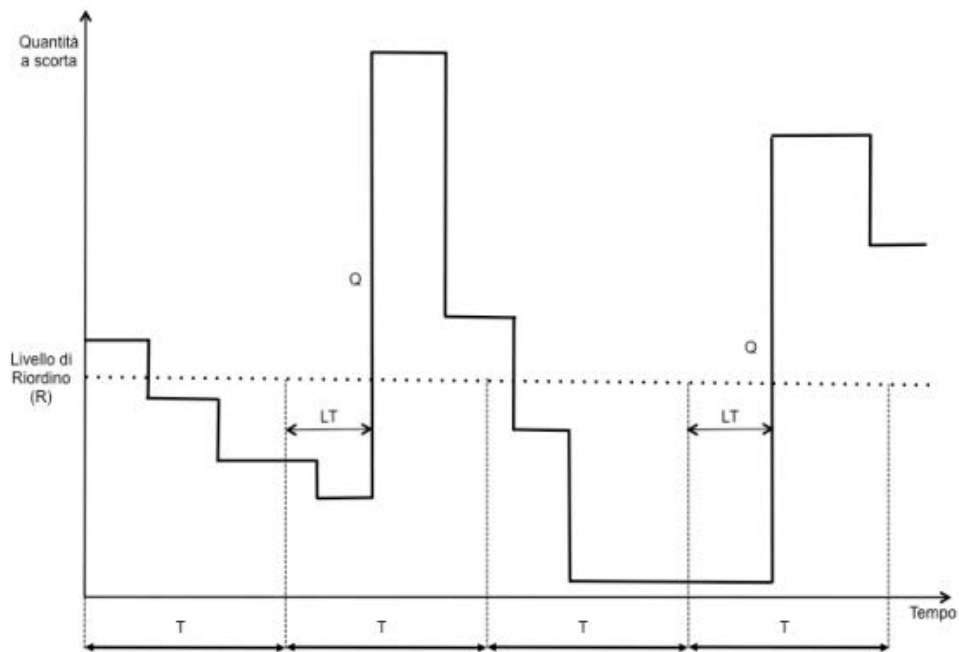


Figura 2.6 – Profilo della giacenza in un sistema ROP a periodicità fissa (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

### 2.3.4 Il Min Max System a periodicità fissa (S,R,T)

Il Min Max System a periodicità fissa si differenzia dal Min Max tradizionale per l'introduzione di un intervallo di riordino  $T$ . La giacenza viene quindi revisionata periodicamente e, se in fase di revisione risulta essere inferiore al livello di riordino  $R$ , viene ripristinata tramite l'ordine di una quantità  $Q$  variabile e pari alla quantità necessaria per riportare la giacenza al valore massimo  $S$ . Anche in questo caso l'introduzione di un intervallo di riordino va a modificare le formule per il calcolo del livello di riordino e della scorta di sicurezza in maniera analoga a quanto già visto per il ROP a periodicità fissa. Il profilo della giacenza è il seguente:

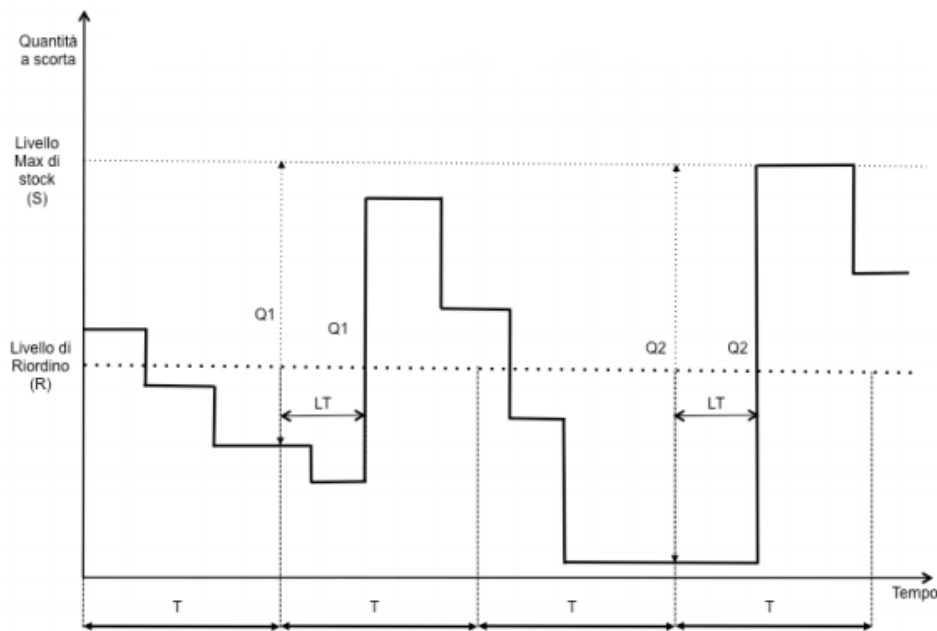


Figura 2.7 – Andamento della giacenza in un sistema Min Max a periodicità fissa (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

### 2.3.5 Il Max System a periodicità fissa (S,T)

Nel Max System a periodicità fissa non è previsto un livello di riordino R, ma solamente un valore massimo di giacenza S. Il sistema, ad ogni intervallo di riordino T, andrà a ripristinare la giacenza emettendo un ordine di quantità variabile in modo tale da riportare la giacenza ad S. In questo modo ad ogni istante T verrà emesso un ordine, ad esclusione del caso in cui nell'intervallo di riordino a monte della revisione non si abbia avuto alcun consumo, con la giacenza rimasta al valore massimo S. Il valore di S può essere calcolato con:

$$S = (LT + T) \cdot d + SS$$

Dove:

S = giacenza massima a magazzino;

LT = lead time di riordino;

d = domanda media nell'unità di tempo;

SS = scorta di sicurezza;

T = periodo fisso di revisione (intervallo di riordino).

Il parametro  $S$  viene cioè posto pari al valore che assumeva il livello di riordino nei sistemi a periodicità fissa precedentemente illustrati; ne consegue che rispetto a tali sistemi il Max System a periodicità fissa consente di mantenere un livello di giacenza mediamente inferiore. La scorta di sicurezza viene calcolata in maniera analoga agli altri sistemi a periodicità fissa.

### **2.3.6 I sistemi di gestione a scorta basati su copertura totale e copertura libera**

Nei sistemi di gestione a scorta precedentemente illustrati la variabile di confronto con il livello di riordino per determinare o meno la necessità di emissione di un ordine era costituita dalla scorta fisica. Tuttavia, questo modo di operare non risulta applicabile “tutte le volte che il lotto di riordino non riesce a coprire il consumo complessivo che si manifesta durante il lead time di riordino” (De Toni, Panizzolo 2018), ovvero quando vale:

$$Q < d \cdot LT$$

In tali situazioni, infatti, si assiste ad una progressiva riduzione della giacenza fino a portare il sistema in condizioni di stock out.

La soluzione è quella di introdurre una nuova grandezza, la copertura totale, così definita:

$$\text{Copertura Totale} = \text{Scorta fisica} + \text{Ordini in sospeso}$$

Tale grandezza, se utilizzata come variabile di confronto per valutare l'emissione di un ordine, fa in modo che il rilascio degli ordini venga anticipato, garantendo il corretto funzionamento del sistema senza dover aumentare la quantità di riordino  $Q$ .

Un ulteriore situazione che rende poco robusti i sistemi presentati, basati indifferentemente sulla scorta fisica o sulla copertura totale, è quella in cui in cui la domanda è caratterizzata da elevata variabilità, in particolare “quando essa presenta dei consumi puntuali elevati in alcuni periodi dell'anno dovuti ad esempio a promozioni commerciali, acquisizione di ordini particolari, ecc.” (De Toni, Panizzolo 2018).

In questo caso la soluzione è quella di introdurre una terza grandezza, la copertura libera, così definita:

$$\text{Copertura Libera} = \text{Scorta fisica} + \text{Ordini in sospeso} - \text{fabbisogni calcolati}$$

I fabbisogni vengono calcolati periodicamente e devono far riferimento ad un orizzonte temporale pari almeno al lead time di riordino, a partire dall'istante di revisione. L'introduzione dei fabbisogni calcolati rende i sistemi che si basano sulla copertura libera un ibrido tra una logica di tipo look back e una di tipo look ahead.

Un ultimo sviluppo nei sistemi di gestione a scorta è costituito dal passaggio dal punto di riordino basato sulla copertura libera al punto di riordino tempificato (Time Phased Order Point – TPOP). Mentre nel calcolo della copertura libera i fabbisogni vengono considerati in maniera cumulata, il Time Phased Order Point si basa sulla suddivisione dell'orizzonte temporale in singoli periodi, detti bucket temporali, per ognuno dei quali viene previsto il relativo fabbisogno. In questo modo il sistema può funzionare senza dover calcolare alcun punto di riordino, con gli ordini che vengono emessi tenendo conto dei fabbisogni di ciascun periodo e degli ordini aperti, per fare in modo che la scorta non risulti mai inferiore a quella di sicurezza. Il TPOP viene gestito tramite una struttura tabellare che prende il nome di record TPOP, riportata in figura 2.8.

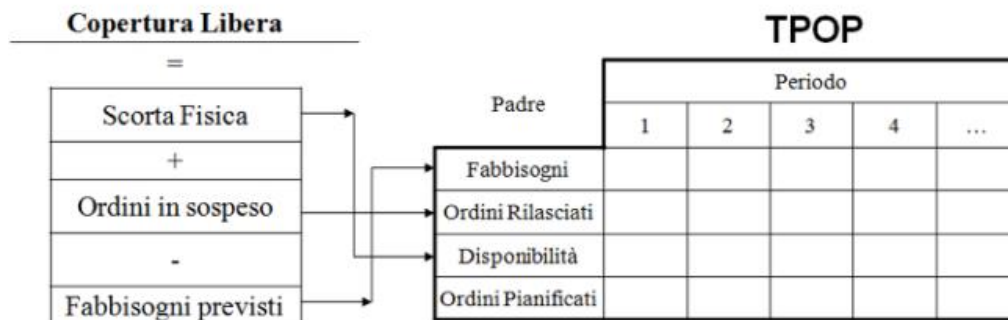


Figura 2.8 – Dalla copertura libera al record TPOP (fonte: De Toni, Panizzolo 2018)

Il record TPOP costituisce la base per la creazione dei piani di produzione (Production plan, MPS e FAS) che possono essere considerati appartenenti ad una terza categoria di sistemi di gestione dei materiali, la gestione a piano. I sistemi di gestione a piano sono dedicati esclusivamente alla gestione dei codici a domanda indipendente e pertanto, essendo questo lavoro di tesi basato sulla

gestione dei semilavorati, non verranno descritti. La logica di funzionamento del record TPOP risulterà comunque più chiara al termine della lettura del prossimo paragrafo dedicato al sistema MRP, dal momento che il TPOP può essere pensato come ad un'estensione dell'MRP ai codici a domanda indipendente.

## **2.4 I sistemi di gestione a fabbisogno: l'MRP**

La gestione dei materiali a fabbisogno avviene tramite la procedura MRP (Material Requirement Planning).

Tale procedura, a partire dagli ordini pianificati di un determinato codice padre, calcola in maniera esatta i fabbisogni di tutti i codici figlio presenti nella sua distinta e, se necessario, ne pianifica l'emissione di un ordine.

### **2.4.1 Lo schema generale dell'MRP**

Le informazioni che devono essere date in input ad un sistema MRP affinché funzioni in maniera completa sono le seguenti (De Toni, Panizzolo 2018):

- *Distinta base.* La distinta base è costituita dall'elenco di tutti i codici che compongono un prodotto finito (sotto-assiemi, componenti e materie prime). Ogni codice è caratterizzato da un coefficiente di impiego, che si definisce come "la quantità del codice figlio che viene impiegata per produrre o assemblare una singola unità del codice padre" (Romano, 2009)<sup>3</sup>. La distinta base, inoltre, è organizzata in maniera gerarchica, con i codici distribuiti in più livelli: il livello 0 è convenzionalmente costituito dal prodotto finito, seguono poi, a scendere, gli altri livelli. Una distinta base, quindi, oltre a fornire le indicazioni circa i codici che compongono un prodotto finito con le rispettive quantità, consente di anche di definire quella che è la loro sequenza di impiego.
- *Anagrafica articoli.* È un database contenente tutte le informazioni necessarie ad identificare in maniera univoca un articolo all'interno dell'azienda. Con riferimento all'MRP le informazioni rilevanti contenute in essa sono: codice articolo, tipo articolo (Make se di

---

<sup>3</sup> Romano P., 2009, *Gestione dei materiali nelle operations*, Cedam

produzione interna, Buy se di acquisto), unità di misura, lead time, politica di riordino.

- *Giacenza a magazzino.* È rilevante soprattutto l'informazione relativa alla giacenza disponibile, ovvero liberamente utilizzabile in quanto non già assegnata o allocata.
- *Ordini rilasciati.* Ordini di produzione o d'acquisto non ancora versati a magazzino (chiusi) per i quali il sistema deve conoscere quale sarà la data effettiva di completamento.
- *Piano di produzione (MPS/FAS).* I piani di produzione pianificano la produzione dei prodotti finiti a domanda indipendente; come già anticipato, sarà sulla base di tali ordini pianificati che l'MRP andrà a calcolare i fabbisogni per i codici a domanda dipendente.

Le informazioni che un MRP genera come output, invece, sono le seguenti:

- *Ordini pianificati di produzione.* Rappresentano delle proposte di riordino che l'MRP genera quando la giacenza disponibile non è in grado di soddisfare i fabbisogni calcolati. Tali ordini fino a che non vengono convertiti da pianificati a rilasciati potranno subire modifiche o essere addirittura cancellati a fronte di successive elaborazioni sulla base delle variazioni subite dalla domanda e dalla disponibilità a magazzino.
- *Ordini pianificati d'acquisto.* Valgono le considerazioni effettuate per gli ordini di produzione, ma per codici acquistati presso fornitori esterni.
- *Segnalazioni e suggerimenti.* Una serie di messaggi che l'MRP rilascia ai pianificatori per segnalare situazioni problematiche riscontrate durante l'elaborazione come, ad esempio, messaggi di rischedulazione degli ordini.

#### **2.4.2 La logica di calcolo**

I sistemi MRP generano gli ordini pianificati basandosi sul calcolo di record simili a quello fornito nel prossimo esempio.



Tabella 2.1 - Esempio di calcolo di record MRP con  $LT=1$ ;  $SS=0$ ; politica di riordino a fabbisogno

<b>Periodo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Fabbisogni lordi</b>	0	30	15	21	18
<b>Ordini aperti</b>	0	15	0	0	12
<b>Giacenze</b>	20	5	0	0	0
<b>Ordini pianificati</b>	0	10	21	6	0

Tale record viene calcolato assumendo le seguenti convenzioni (Romano, 2009)<sup>4</sup>:

- i fabbisogni si generano durante il periodo;
- la quantità relativa agli ordini aperti ed agli ordini pianificati viene versata a magazzino all'inizio del periodo;
- la giacenza a magazzino si riferisce alla fine del periodo.

I fabbisogni lordi nel periodo  $i$ -esimo sono generati dagli ordini pianificati del codice padre nello stesso periodo; gli ordini aperti nel periodo  $i$ -esimo, invece, rappresentano degli ordini precedentemente rilasciati che verranno versati a magazzino in tale periodo. Posizionandosi in un generico periodo  $i$  la giacenza alla fine di tale periodo è così calcolata:

$$\text{giacenza (i)} = \text{giacenza (i-1)} + \text{ordini aperti (i)} - \text{fabbisogni lordi (i)}$$

Qualora la giacenza così calcolata dovesse risultare negativa si crea un fabbisogno netto, pari a:

$$\text{fabbisogno netto (i)} = \text{fabbisogno lordo (i)} - \text{giacenza (i-1)} - \text{ordini aperti (i)}$$

Il fabbisogno netto dovrà quindi essere soddisfatto mediante l'emissione di un ordine pianificato che verrà emesso con un numero di periodi di anticipo pari al lead time, si ha cioè:

---

<sup>4</sup> Romano P., 2009, *Gestione dei materiali nelle operations*, Cedam

$$\text{ordine pianificato (i - LT)} = \text{fabbisogno netto (i)}$$

In questo caso l'ordine pianificato è emesso di una quantità pari a quella strettamente necessaria alla copertura del fabbisogno netto: la politica di riordino è a fabbisogno. Altre politiche di riordino diffuse nella pratica sono le seguenti (Romano, 2009)<sup>5</sup>:

- *Quantità d'ordine minima.* Il lotto ordinato non può mai scendere al di sotto di una certa quantità minima anche se il fabbisogno netto risulta essere inferiore. È questo il caso di codici d'acquisto in cui è il fornitore stesso ad imporre un lotto minimo di vendita o di codici di produzione interna vincolati da tempi di set-up molto elevati.
- *Quantità d'ordine massima.* Il lotto ordinato non può mai essere superiore ad una certa quantità massima. Si verifica generalmente quando vi sono vincoli di capacità a magazzino o problematiche di trasporto.
- *Riordino con lotto multiplo.* Il lotto ordinato dovrà sempre essere un multiplo di una determinata quantità. Un caso particolare è costituito dal riordino a lotto fisso in cui il lotto sarà sempre pari ad una quantità costante e prefissata, tipicamente pari al lotto economico.
- *Riordino con periodo di copertura fisso.* Il lotto ordinato non è finalizzato a coprire i fabbisogni di un singolo periodo, bensì di un numero di periodi pari al valore del periodo di copertura. Tale politica di riordino non si pone in alternativa alle precedenti, ma a complemento di esse.

A conclusione del paragrafo va sottolineato che, spesso, la procedura di calcolo del record MRP viene modificata per rendere il sistema più robusto nei confronti delle situazioni di incertezza a cui è sottoposto.

Come nel caso dei sistemi di gestione a scorta questa incertezza può essere di due tipi: sulla domanda e sul riordino. Nel primo caso le situazioni che possono verificarsi sono dei fabbisogni lordi differenti da quelli previsti in termini di

---

<sup>5</sup> Romano P., 2009, *Gestione dei materiali nelle operations*, Cedam

quantità o dei fabbisogni lordi che si concretizzano in un periodo differente rispetto a quello pianificato. Nel secondo caso le situazioni che possono verificarsi sono degli ordini evasi con quantità differenti rispetto a quelle ordinate o ordini evasi con tempistiche differenti rispetto al lead time considerato.

Nello specifico la procedura di calcolo del record MRP può essere variata mediante l'integrazione di:

- *Scorta di sicurezza.* Il fabbisogno netto non si genera quando la giacenza al termine del periodo risulta essere negativa, ma quando essa scende al di sotto della scorta di sicurezza.
- *Lead time di sicurezza.* L'emissione degli ordini pianificati viene anticipata di un numero di periodi pari al lead time di sicurezza.

## 2.5 La gestione a Kanban

Kanban è un termine giapponese che in italiano viene tradotto con “cartellino” (Kan sta per “visuale”, Ban sta per “insegna”) e indica un sistema di riordino del materiale che vede le sue origini in Toyota, sviluppato tra gli anni '50 e '70 dall'ingegnere giapponese Taichi Ohno.

L'uso del Kanban consente di rendere operativo un controllo di produzione operante con logica pull, secondo il quale “si lascia che sia la fase a valle di un processo o di un network di fornitura a richiedere i componenti necessari al sistema, anziché far sì che sia la fase a monte a “spingere” tali componenti verso la fase a valle” (Slack *et al.*, 2013)<sup>6</sup>.

In particolare, la finalità del Kanban è quella di fornire un'indicazione visiva al processo a monte del fatto che nel processo a valle vi sia stato un consumo di un determinato componente, innescando quindi il ripristino del materiale. Tale indicazione può essere di varia natura; nella maggior parte dei casi è costituita, come suggerisce la traduzione, da un cartellino (il sistema tradizionale, in realtà, prevede l'uso di due cartellini, ma il sistema ad un cartellino è il più diffuso), ma potrebbe essere costituita anche da un contenitore pieno o vuoto (sistemi a vuoto

---

<sup>6</sup> Slack N., Brandon-Jones A., Johntston R., Betts A., Vinelli A., Romano P., Danese P., 2013, *Gestione delle operations e dei processi*, Pearson

per pieno), da uno spazio pieno o vuoto o da un segnale elettronico. Al di là della forma che il Kanban può assumere, il suo funzionamento, in linea generale, è il seguente: in una generica fase di un processo produttivo avviene il consumo di un materiale che è stoccato all'interno di contenitori standard posizionati a monte del centro di lavoro stesso, in un'area di stoccaggio che, comunemente, viene definita supermarket; ad ogni contenitore è associato un cartellino contenente tutte le informazioni sul prodotto contenuto. Nel momento in cui avviene il consumo di tutti i componenti stoccati all'interno di un contenitore, il contenitore vuoto ed il suo cartellino vengono trasferiti al processo produttivo a monte incaricato dell'approvvigionamento del materiale in cui avverrà la sostituzione del contenitore vuoto con uno pieno da inviare nuovamente al processo a valle. Nel capitolo 4 verrà spiegata in maniera più dettagliata la logica di funzionamento del Kanban in Carel.

### 2.5.1 Calcolo del numero ottimale di cartellini

Nell'implementare un sistema di gestione a Kanban per un determinato articolo è fondamentale il calcolo del numero di cartellini da predisporre che, a sua volta, corrisponde al numero di contenitori standard che verranno utilizzati. Il numero di cartellini stabilito, quindi, determina il valore della scorta massima per un articolo gestito a Kanban. La predisposizione di un elevato numero di cartellini, pertanto, consente di ridurre il rischio di rottura di scorta, ma d'altro canto va ad incrementare i costi di giacenza legati a quell'articolo. "Si tratta quindi di raggiungere il miglior compromesso fra oneri legati allo stoccaggio ed oneri legati alle mancate produzioni" (De Toni, Panizzolo 2018).

Il modello più diffuso per l'identificazione del numero di cartellini da predisporre è il seguente (De Toni, Panizzolo 2018):

$$\text{Numero di cartellini} \geq \frac{\text{domanda media} \cdot \text{tempo di copertura} \cdot (1 + \text{fattore di sicurezza})}{\text{Quantità standard contenitore}}$$

Il numeratore della formula è costituito dalla quantità totale di pezzi da mantenere a stock per far fronte ai consumi in un predefinito periodo di copertura, maggiorata di una scorta di sicurezza in grado di far fronte ad eventuali variazioni della domanda (in Toyota tale scorta viene determinata scegliendo un fattore di sicurezza pari al 10%). Il numero di cartellini Kanban viene quindi determinato dividendo tale grandezza per la quantità di pezzi di un

contenitore standard, che deve essere determinata tenendo conto delle normative vigenti sul peso dei carichi sollevabili da un operatore e facendo in modo che il contenitore risulti facile da stoccare e movimentare; si tenga presente che il risultato dell'equazione risulterà essere un valore teorico che dovrà poi essere arrotondato per eccesso all'intero successivo.

Il modello di riferimento per il calcolo del numero di cartellini Kanban utilizzato in Carel, tuttavia, è quello proposto Smalley in "Creating Level Pull" del 2004. Secondo tale modello il numero di cartellini Kanban viene definito tramite la formula:

$$\text{Numero di cartellini} \geq \frac{\text{Cycle Stock} + \text{Buffer Stock} + \text{Safety Stock}}{\text{Quantità Standard del contenitore}}$$

Tale modello si differenzia da quello precedentemente esposto per il calcolo della quantità totale, che è definita dalla somma di tre fattori:

- *Cycle Stock*: definita dal prodotto tra il consumo medio dell'articolo ed il suo lead time di riordino;
- *Buffer Stock*: quantità necessaria per cautelarsi contro situazioni di incertezza esterna (scostamenti della domanda dal valore medio o errori di previsione)
- *Safety Stock*: quantità necessaria per cautelarsi contro situazioni di incertezza interna (irregolarità nel processo produttivo che fanno incrementare il lead time di riordino).

### **2.5.2 Vantaggi e prerequisiti fondamentali del sistema Kanban**

I vantaggi derivanti dall'implementazione di un sistema Kanban sono molteplici. In primo luogo, viene eliminata la sovrapproduzione, che viene considerata da Taichi Ohno come la principale fonte di spreco che si possa avere in un sistema produttivo. Il Kanban consente inoltre di migliorare flessibilità ed integrazione tra gli attori del processo produttivo, che sono spinti ad una maggior collaborazione tra di loro. Infine, semplifica il sistema informativo a supporto della produzione e permette un controllo maggiore di ciò che sta avvenendo al suo interno, in particolare il numero di cartellini Kanban moltiplicato per la

quantità di ciascun contenitore, permette di conoscere sempre l'ammontare delle scorte inter-operazionali (Work in Process).

Affinché un sistema di gestione a Kanban possa funzionare in maniera corretta, potendo garantire i vantaggi sopra citati, è necessario che vengano rispettate le seguenti condizioni al contorno (De Toni, Panizzolo 2018):

- i tempi di attrezzaggio dei macchinari non devono essere troppo elevati;
- i cicli di lavoro devono essere standardizzati;
- lo stabilimento produttivo deve essere organizzato con un layout tale da individuare celle e linee produttive in cui sono presenti macchinari dedicati alla produzione della stessa famiglia di prodotto;
- i macchinari e gli impianti devono essere caratterizzati da elevati valori di affidabilità e disponibilità per essere sempre in grado di rispondere prontamente alle richieste dei centri a valle;
- il grado di coinvolgimento e la flessibilità della manodopera devono essere elevate;
- i problemi che si verificano all'interno del processo devono essere affrontati il più possibile dalle persone direttamente coinvolte nel processo stesso, evitando di affidarsi a specialisti esterne;
- la produzione deve essere il più possibile livellata evitando sovra-carichi e sotto-carichi delle risorse.

## **3 IL CASO CAREL**

L'obiettivo di questo capitolo è, in primo luogo, quello di presentare il problema che ha portato a questo lavoro di tesi (paragrafo 3.1). I successivi paragrafi, invece, sono dedicati alla spiegazione della situazione di partenza da cui hanno avuto origine i miglioramenti proposti per la sua soluzione.

### **3.1 Il Problem Statement**

Si è già detto di come il Lean Journey di Carel abbia portato l'azienda ad un'importante trasformazione organizzativa (capitolo 1), passando da una struttura funzionale ad una struttura per Value Stream.

Più nello specifico, la produzione nell'Headquarter di Brugine, è suddivisa in 7 Value Stream a cui, da qui in avanti, si farà riferimento tramite la seguente codifica:

- VS1: Controllori parametrici;
- VS2: Value Stream Miscellanea;
- VS3: Controllori programmabili;
- VAL: Valvole;
- VS5: Inverter;
- VS7: Quadri elettrici;
- UM1: Umidificazione.

Ogni Value Stream è adibita alla produzione di una particolare categoria di prodotti finiti, destinati alla vendita per i clienti del Gruppo Carel. Non solo, ogni Value Stream, infatti, produce anche, in numero più o meno elevato, una serie di codici destinati ad essere utilizzati in altre Value Stream come materiali in input ai relativi processi produttivi: sono questi quelli che d'ora in avanti verranno definiti come semilavorati inter-Value Stream. Ciò significa che ogni Value Stream risulta essere cliente e allo stesso tempo fornitore di altre Value Stream. Il progetto su cui si basa questa tesi nasce dall'esigenza di migliorare il livello di servizio sulla fornitura di semilavorati inter-Value Stream in Carel. Le varie

Value Stream, infatti, lamentano ritardi e scarsa visibilità sulla fornitura dei semilavorati provenienti da altre Value Stream, causando ritardi e difficoltà di schedulazione per quanto riguarda la produzione dei rispettivi prodotti finiti.

Una delle principali cause alla base del problema è da ritrovarsi nel fatto che, ad oggi, le Value Stream sono valutate sulla base del raggiungimento di un certo valore target per quanto riguarda il tasso di rispetto sugli ordini di lavoro, ma nel KPI utilizzato a tale scopo, tuttavia, si tiene conto solamente degli ordini di lavoro sui prodotti finiti. Questo fa sì che le Value Stream tendendo a penalizzare la produzione di semilavorati per “dare la precedenza” al lancio in produzione di prodotti finiti, generando i ritardi di cui sopra. Questa prassi, volta alla massimizzazione degli indicatori delle singole Value Stream, penalizza la produzione nel suo insieme. Un ritardo su un semilavorato proveniente da un'altra Value Stream, infatti, andrà a generare a sua volta un ritardo su un prodotto finito della Value Stream cliente che, tendenzialmente, sarà caratterizzato da un maggior valore rispetto ai prodotti finiti della Value Stream fornitore ai quali si è data precedenza; del resto, come affermato da Slack (2013)<sup>7</sup>, “trattare i clienti interni con la stessa attenzione e cura riservata ai clienti esterni migliora l'efficacia di tutte le operations”.

Il prossimo paragrafo è dedicato all'illustrazione della procedura con la quale sono stati individuati e mappati i semilavorati inter-Value Stream in Carel; si tenga presente che per quanto il processo, per come esposto, possa risultare alquanto lineare, questa fase è stata una delle più onerose nell'ambito dell'intero progetto e si è arrivati ad una sua completa definizione solamente dopo una serie di numerosi tentativi. L'ultimo paragrafo del capitolo tratterà i principali metodi di gestione dedicati a questi semilavorati in Carel, mentre il prossimo capitolo sarà interamente dedicato all'esposizione degli interventi correttivi apportati al fine di migliorare lo stato corrente, con particolare riferimento alla Value Stream Umidificazione.

### **3.2 Identificazione dei semilavorati inter-Value stream**

La situazione di partenza per l'individuazione dei semilavorati oggetto di studio non è banale.

---

<sup>7</sup> Slack N., Brandon-Jones A., Johnstson R., Betts A., Vinelli A., Romano P., Danese P., 2013, *Gestione delle operations e dei processi*, Pearson



La maggior parte dei semilavorati, in Carel, è caratterizzata da una particolare codifica (98C\*\*\*\*\*), ma essa non li contraddistingue nella loro totalità; inoltre, tale codifica interessa anche una serie di codici d'acquisto, che non devono essere considerati nell'analisi. Una serie di semilavorati, poi, proviene da terzisti a cui vengono affidate determinate attività in conto lavoro.

Alcuni semilavorati oltre che ad essere utilizzati nella produzione interna vengono anche venduti, con la vendita che può avvenire verso clienti esterni, come parti di ricambio, o verso altri plant Carel, in termini di fornitura regolare o "a spot", in contesti d'emergenza. Vengono poi utilizzati come semilavorati anche una serie di articoli codificati come prodotti finiti e pertanto anch'essi soggetti a vendite.

Il punto di partenza per l'identificazione dei semilavorati che ogni Value Stream cliente riceve da altre Value Stream è stato l'interrogazione delle distinte base di tutti i codici prodotti in Carel. Interrogare una distinta base significa elaborare i dati in essa contenuti al fine di disporli in un formato utile a prendere decisioni operative (Romano, 2009)<sup>8</sup>. L'approccio adottato nell'interrogazione è stato quello dell'esplosione delle distinte che, con logica top-down, individua tutti i codici figlio presenti nella distinta di un determinato codice padre.

L'estrazione delle distinte è stata effettuata da "Oracle", il software ERP utilizzato in Carel; al fine di rendere più snello il processo da un punto di vista computazionale sono state effettuate sette estrazioni indipendenti, ognuna dedicata ai codici prodotti in una determinata Value Stream. In figura 3.1 è riportata, in maniera semplificata e a titolo di esempio, una porzione di distinta base di un generico prodotto finito realizzato in Value Stream 1 (Controllori Parametrici). Nella prima colonna è riportato il nome del codice a cui fa riferimento la distinta (first\_item), seguono poi a cascata i codici che popolano gli altri livelli (item\_level1, item\_level2, ecc.) con il rispettivo coefficiente di impiego (qty1, qty2, ecc.). Altre informazioni rilevanti sono: un codice che identifica in maniera univoca la linea produttiva in cui il codice padre viene realizzato (prod\_line), il tipo di articolo (tipo\_art) che può essere Make o Buy e il campo material control (material\_control) che può essere di tipo Operation Pull, Assembly Pull, Phantom, Push, Supplier.

---

<sup>8</sup> Romano P., 2009, *Gestione dei materiali nelle operations*, Cedam

first_item	prod_line	item_level1	qty1	item_level2	qty2	item_level3	qty3	last_item	tipo_art	material_control
PJEZSNP000	C24EZ							PJEZSNP000	Make	
PJEZSNP000	C24EZ	+050004145	1					+05000414	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	18C538A006	2					18C538A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	18C614A016						18C614A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	21C669A023	1					21C669A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	2219803AXX	1					2219803A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	2219904AXX	1					2219904A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	6235130AXX	21052632					6235130A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627A100	1					98C627A10	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627A100	1	18C627A00	1			18C627A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627A100	1	62C614A00	1			62C614A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627A100	1	62C614A00	1			62C614A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1					98C627C20	Buy	Phantom
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	18C627A00	1			18C627A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	2219834A0	1			2219834A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	52C627A00	1			52C627A00	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	0100235A0	1			0100235A0	Buy	Phantom
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	0100235A0	1	0100235AXX	1	0100235A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	2219901A0	1			2219901A0	Buy	Phantom
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	2219901A0	1	2219901AXX	1	2219901A0	Buy	Operation Pull
PJEZSNP000	C24EZ	98C627C222	1	5626746A0	1			5626746A0	Buy	Operation Pull

Figura 3.1 – Esempio semplificato di parte dell’esplosione della distinta base di un prodotto Carel

Ciascuna estrazione contenente le distinte base dei codici prodotti in una determinata Value Stream è stata importata in un distinto foglio Excel. Per ognuno di essi il modello di riferimento rimane quello di figura 3.1, ma considerando solamente i campi item\_level1, tipo\_art e material\_control (qualora un codice di interesse ai fini dell’analisi fosse presente in un livello successivo al primo esso comparirebbe comunque nel primo livello della distinta base del suo codice padre). Ad ogni codice sono state poi associate le relative Value Stream utilizzatrice (la Value Stream cliente) e produttrice (la Value Stream fornitore); la prima altro non è che la Value Stream a cui fa riferimento l’ estrazione che si sta considerando (banalmente, il codice viene utilizzato nella Value Stream che produce il suo codice padre), la seconda è stata importata tramite un CERCA.VERT dall’anagrafica articoli di Carel. Non solo, con riferimento alla Value stream produttrice è stato poi aggiunto il campo contenente l’informazione relativa alla linea di produzione che effettivamente realizza il codice, anche in questo caso l’informazione proviene dall’anagrafica articoli.

L’ultimo campo aggiunto è stato poi quello relativo allo stato del codice, importato anch’esso tramite un CERCA.VERT dall’anagrafica articoli. I principali stati che un articolo può assumere in Carel sono:

- ACTIVE: il codice viene regolarmente utilizzato senza alcun tipo di limitazione;

- DEAD: il codice veniva regolarmente utilizzato in passato, ma ora non può più essere utilizzato in alcun modo;
- PHASE OUT: il codice viene ancora utilizzato, ma nel giro di breve tempo il suo stato verrà convertito in DEAD;
- PHASE IN: indica un codice non ancora utilizzato, ma nel giro di breve tempo il suo stato verrà convertito in ACTIVE;
- NEW BETA: il codice non è ancora del tutto definito da un punto di vista tecnico; se si tratta di un prodotto finito non è ancora vendibile, se si tratta di un codice d'acquisto non è ancora acquistabile;
- DEROG: il codice può venire acquistato solamente tramite procedure particolari;
- CONTROLLED: codice regolarmente utilizzato, ma la cui vendita è controllata;
- BLOCKED: il codice è temporaneamente bloccato per quanto riguarda il suo utilizzo/acquisto/ vendita;
- INACTIVE: il codice non viene più utilizzato, alla stregua dello stato DEAD;

A questo punto è stata creata un'unica base dati accorpendo i fogli dedicati alle singole Value Stream e, a partire da essa, è stato applicato un processo di scrematura che ha portato all'individuazione dei soli codici di interesse ai fini del progetto. Il processo di scrematura è avvenuto tramite le seguenti fasi:

- *Eliminazione dei codici di tipo Buy.* Chiaramente, dal momento che l'analisi è focalizzata su semilavorati di produzione interna, vanno esclusi tutti i codici acquistati da fornitori esterni;
- *Eliminazione dei codici in stato DEAD e INACTIVE.* Si è deciso di eliminare dall'analisi tutti i codici non più utilizzati; si è deciso, al contrario, di includere nell'analisi i codici in stato PHASE-OUT, anche se, come già argomentato, il loro stato è prossimo alla variazione in DEAD;
- *Eliminazione dei preformati.* I preformati sono semilavorati "banali", per la cui produzione è richiesto uno scarso impiego di risorse. Il caso tipico è quello di un componente elettronico che

subisce un'operazione di taglio o modellazione dei piedini (pin), necessario per poterlo saldare al circuito stampato su cui va inserito. Si è deciso di eliminare dall'analisi tali semilavorati dal momento che, per loro natura, non risultano essere componenti particolarmente critici. L'identificazione e la conseguente eliminazione dalla base dati è stata agevolata dalla loro singolare codifica, che comprende le lettere AB o K.

- *Eliminazione dei codici Phantom.* I codici fantasma sono codici che vengono prodotti a flusso con il codice padre e per i quali non è quindi previsto alcun tipo di stoccaggio. Un esempio di codice fantasma, in Carel, è rappresentato da schede elettroniche neutre che vengono utilizzate all'interno di sistemi di controllo customizzati. Anche i codici fantasma sono stati giudicati poco rilevanti per l'analisi in essere.
- *Eliminazione dei codici in conto lavoro.* Carel, per la realizzazione di determinate lavorazioni (il processo di brasatura per la produzione di valvole è, a titolo di esempio, uno di questi) si avvale del contributo di terzisti esterni. Il terzista riceve da Carel parte delle materie prime, l'acquisto delle restanti è, invece, a carico del terzista stesso che, una volta effettuata la lavorazione restituisce a Carel il semilavorato completo. I semilavorati in conto lavoro sono comunque di tipo Make, ma non risultano associati ad alcuna Value Stream Produttrice, sono comunque facilmente identificabili dal momento che nel campo linea produttrice è presente la codifica -EX.
- *Eliminazione dei codici prodotti ed utilizzati nella stessa Value Stream.* Si è detto di come l'analisi in essere risulti essere focalizzata sui semilavorati che ogni Value Stream cliente riceve da altre Value Stream; l'ultimo step per l'identificazione di tali semilavorati è quindi costituito dall'eliminazione di tutti quei codici aventi Value Stream produttrice ed utilizzatrice coincidenti.

L'output a valle del processo descritto risulta quindi costituito da una base dati contenente tutti i semilavorati che, in Carel, vengono prodotti in una determinata Value Stream ed utilizzati in una Value Stream cliente differente. Per come è

stata creata, la base dati conterrà un record per ogni associazione tra semilavorato e Value Stream utilizzatrice, purché differente da quella in cui esso viene prodotto. Ad esempio, se un generico semilavorato risultasse prodotto in VS1 ed utilizzato in VS1, VS2 e VS3, nella base dati esso comparirebbe in due record, uno relativo alla Value Stream cliente VS2 ed uno relativo alla Value Stream cliente VS3. In figura 3.2 è riportata, a titolo di esempio, parte della base dati creata, in cui figurano due ulteriori colonne riportanti l'indice di rotazione dei codici e un'indicazione circa il loro avvenuto consumo o meno negli ultimi sei mesi (se ne parlerà più avanti nella trattazione). Come si può notare il codice cerchiato in rosso, prodotto nella Value Stream Umidificazione, viene riportato in due record distinti dal momento che viene utilizzato nelle Value Stream 2 e 3.

articolo	LINEA PRODUTTRICE	VS PRODUTTRICE	VS UTILIZZATRICE	STATO	INDICE DI ROTAZIONE	Consumato negli ultimi 6 mesi
1800306AXX	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	14,53042704	si
18C614A133	LNPLAST01	UM1	VS1	ACTIVE	28,36654856	si
18C686A522	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	1,667599366	si
18C686A523	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	6,237299744	si
18C686A525	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	6,592703991	si
18C700A152	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	31,3602358	si
18C700A155	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	0,169555399	si
18C708A321	LNPLAST01	UM1	VS7	ACTIVE	1,016398634	si
18C724A502	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	3,851775888	si
18C724A502	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	3,851775888	si
18C724A503	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	0,712949964	si
18C724A503	LNPLAST01	UM1	VS1	ACTIVE	0,712949964	si
18C724A504	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	2,494054348	si
18C724A511	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	3,725453023	si
18C724A512	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	0,686539434	si
18C724A512	LNPLAST01	UM1	VS1	ACTIVE	0,686539434	si
18C724A557	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	7,891000802	si
18C724A560	LNPLAST01	UM1	VS3	ACTIVE	0,215727758	si
18C727A016	LNPLAST01	UM1	VS5	ACTIVE	5,134463407	si
18C745A301	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	1,299347095	si
18C745A350	LNPLAST01	UM1	VS2	ACTIVE	0,601267386	si

Figura 3.2 - Parte della base dati creata per identificare i semilavorati che le Value Stream clienti ricevono dalle altre Value Stream

A partire dalla base dati così ottenuta sono state create delle tabelle per ottenere una più precisa mappatura circa lo stato corrente dei semilavorati inter-Value Stream in Carel.

In tabella 3.1 si nota come le Value Stream che producono più semilavorati per altre Value Stream, come ci si potrebbe aspettare, siano le Value Stream 1, 2, 3, e 5, dedicate alla produzione elettronica. Ciò che balza immediatamente all'occhio è un forte sbilanciamento della produzione di semilavorati in Value Stream 2; essa è effettivamente la Value Stream un cui viene prodotto il maggior numero di semilavorati, ma il dato risulta essere così elevato dal momento che, in essa, vi è una linea in cui vengono stampati su placchette in plastica vari loghi

Carel destinati per la maggiore ai prodotti finiti della Value Stream 3 (è, infatti, la seconda Value Stream per numero di codici utilizzati).

Anche la Value Stream Umidificazione produce un buon numero di semilavorati per altre Value Stream dal momento che in essa, in Linea Plastiche, avviene lo stampaggio a iniezione di parte dei componenti in plastica utilizzati nei prodotti Carel. Le Value Stream che, invece, utilizzano più semilavorati (vedi tab. 3.2) sono le Value Stream 3 (Controllori Programmabili) e Value Stream 7 (Quadri Elettrici). In particolare, il numero così elevato di semilavorati utilizzati in quest'ultima Value Stream è imputabile all'elevata customizzazione dei prodotti realizzati, che la porta a dover gestire un'elevata varietà di codici in volumi ridotti.

*Tabella 3.1 – Numero di semilavorati che ogni Value Stream produce per altre Value Stream*

<b>CHI NE PRODUCE DI PIÙ</b>	
<b>Value Stream</b>	<b>Articoli</b>
<b>UM1</b>	33
<b>VAL</b>	4
<b>VS1</b>	55
<b>VS2</b>	215
<b>VS3</b>	84
<b>VS5</b>	31
<b>VS7</b>	1

*Tabella 3.2 – Numero di semilavorati che ogni Value Stream cliente riceve da altre Value Stream*

<b>CHI NE UTILIZZA DI PIÙ</b>	
<b>Value Stream</b>	<b>Articoli</b>
<b>UM1</b>	52
<b>VAL</b>	2
<b>VS1</b>	42
<b>VS2</b>	27
<b>VS3</b>	139
<b>VS5</b>	12
<b>VS7</b>	158

La seguente tabella (tab. 3.3), invece, riporta i legami di dipendenza che ogni Value Stream cliente ha con le altre Value Stream in termini di fornitura di semilavorati.

Tabella 3.3 – Dipendenza di ogni Value Stream cliente dalle altre Value Stream

<b>DA CHI DIPENDE OGNI VALUE STREAM</b>	
<b>Value stream cliente</b>	<b>Value Stream fornitore</b>
<b>UM1</b>	VS2
	VS3
	VS5
<b>VAL</b>	UM1
<b>VS1</b>	UM1
	VS2
	VS3
	VS5
<b>VS2</b>	UM1
	VS1
	VS3
	VS5
<b>VS3</b>	UM1
	VAL
	VS1
	VS2
	VS5
	VS7
<b>VS5</b>	UM1
	VS1
	VS2
	VS3
	VS7
<b>VS7</b>	UM1
	VAL
	VS1
	VS2
	VS3
	VS5

Infine, si riportano sette tabelle, una per ogni Value Stream, in cui vengono riportate, per ogni linea produttiva, le Value Stream clienti che vanno a rifornire (da tab. 3.4 a tab. 3.10).

Tabella 3.4 – Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 1

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM 1</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VS1</b>	<b>LINEA00VS1</b>	VS2
		VS5
		VS7
	<b>LINEA13</b>	VS3
		VS7
	<b>LINEA14</b>	VS7
	<b>LINEA20</b>	VS7
	<b>LINEA21</b>	VS7
	<b>LINEA22</b>	VS3
		VS7
	<b>LINEA23</b>	VS7
	<b>LINEA24</b>	VS3
		VS7

Tabella 3.5 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 5

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM 5</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VS5</b>	<b>LINEA05</b>	VS3
	<b>LINEA07</b>	VS3
	<b>LINEA16</b>	VS7
	<b>LINEA58</b>	UM1
		VS1
		VS2
		VS3
		VS7
	<b>LINEA60</b>	UM1
		VS2
		VS3
		VS7



Tabella 3.6 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 2

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM 2</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VS2</b>	<b>LINEA00</b>	UM1
		VS1
		VS3
		VS5
		VS7
	<b>LINEA01</b>	UM1
		VS1
		VS3
		VS7
	<b>LINEA02</b>	UM1
		VS3
		VS7
	<b>LINEA04</b>	UM1
		VS1
		VS3
		VS7
	<b>LINEA06</b>	UM1
		VS1
		VS7
	<b>LINEA08</b>	UM1
		VS3
		VS7
	<b>LINEA15</b>	UM1
		VS3
		VS7
	<b>LINEA19</b>	UM1
		VS3
		VS7
<b>LINEA70</b>	UM1	
	VS1	
	VS3	
	VS5	
	VS7	

Tabella 3.7 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 3

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM 3</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VS3</b>	<b>LINEA00VS3</b>	VS2
		VS5
		VS7
	<b>LINEA63</b>	VS7
	<b>LINEA80</b>	VS1
		VS7
	<b>LINEAGA1</b>	VS7
	<b>LINEAGA2</b>	VS7
	<b>LINEAGA3</b>	VS7
	<b>LINEAGC</b>	VS7
	<b>LINEAGC6</b>	UM1
		VS2
		VS7
	<b>LINEAP01</b>	VS7
	<b>LINEAP02</b>	VS7
	<b>LINEAP03</b>	VS7
	<b>LINEAP04</b>	UM1
		VS7
	<b>LINEAP05</b>	UM1
		VS7

Tabella 3.5 – Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream 7

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM 7</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VS7</b>	<b>PLINETS000</b>	VS3
		VS5

Tabella 3.6 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream Umidificazione

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM UMIDIFICAZIONE</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>UM1</b>	<b>LNPLAST01</b>	VAL
		VS1
		VS2
		VS3
		VS5
		VS7
	<b>UMLINEA03</b>	VAL
		VS1
		VS2
	<b>UMLINEA05</b>	VS7
	<b>UMLINEA06</b>	VS2
		VS7
	<b>UMLINEA00</b>	VS7

Tabella 3.7 - Value Stream clienti rifornite dalle linee della Value Stream Valvole

<b>PER CHI PRODUCE LA VALUE STREAM VALVOLE</b>		
<b>Value Stream produttrice</b>	<b>Linea produttrice</b>	<b>Value Stream cliente</b>
<b>VAL</b>	<b>VALV_LINE1</b>	VS3
		VS7
	<b>VALV_LINE2</b>	VS3
		VS7

A conclusione del paragrafo viene riportato uno schema riassuntivo in grado di fornire una rappresentazione grafica circa flussi di semilavorati tra Value Stream in Carel. Ogni Value Stream è rappresentata da una circonferenza le cui dimensioni vogliono essere il più possibile proporzionali al numero di semilavorati prodotti. Ogni freccia, invece, indica l'esistenza di un flusso di semilavorati tra due Value Stream: la Value Stream fornitore è quella relativa alla circonferenza da cui la freccia è uscente, la Value Stream cliente quella relativa alla circonferenza in cui la freccia è entrante; alla base di ogni freccia, inoltre, è indicato il numero di codici scambiato.

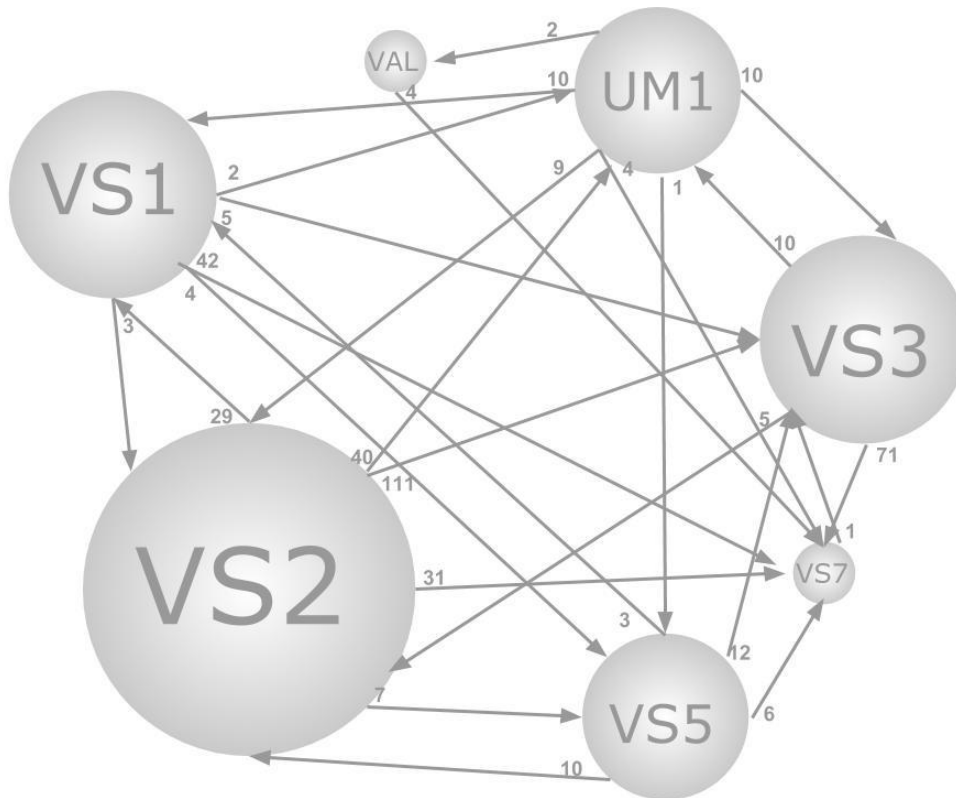


Figura 3.3 – Flussi di semilavorati scambiati tra Value Stream

### 3.3 La gestione dei semilavorati in Carel

In Carel i sistemi utilizzati per la gestione dei semilavorati sono tre: la gestione con metodo tradizionale, la gestione a Min Max e la gestione a Kanban, questo paragrafo è dedicato alla spiegazione di ciascuno di essi.

#### 3.3.1 La gestione a metodo tradizionale

La gestione dei semilavorati con metodo tradizionale si basa sulle logiche dell'MRP, adottando una politica di riordino a fabbisogno (vedi paragrafo 2.4). Non appena viene rilasciato un ordine di lavoro (OdL) per un generico prodotto finito vengono rilasciati, a cascata, gli ordini di lavoro dei semilavorati presenti nella sua distinta base. Partendo dalla data di inizio schedulato del codice padre, gli OdL dei semilavorati presenti nella sua distinta vengono aperti a ritroso, seguendo la sequenza di impiego fornita dalla distinta base e a seconda del loro lead time fisso impostato a sistema (definiamo il LT fisso come parte del LT di

produzione indipendente dalla quantità ordinata, ma solo dai vincoli tecnologici legati al prodotto in questione); lo schema di riferimento è quello di figura 3.3.

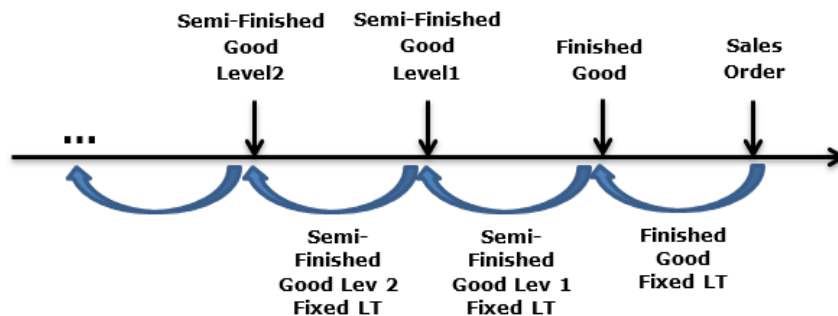


Figura 3.4 – Logica di apertura degli OdL dei semilavorati gestiti a metodo tradizionale (fonte interna Carel)

### 3.3.2 La gestione a Min Max

La gestione a Min Max, in Carel, è regolata da un preciso standard ad essa dedicato e assume caratteristiche differenti a seconda che il codice in oggetto sia un prodotto finito o un semilavorato.

I parametri che devono essere definiti ed impostati a sistema per la gestione di un codice a Min Max sono:

- Quantità minima;
- Quantità massima;
- Quantità ordine minima;
- Quantità ordine massima;
- Multiplo lotto fisso.

Per quanto riguarda la gestione dei semilavorati, i parametri vengono impostati come segue:

- Quantità minima = 0;
- Quantità massima = 0;
- Quantità ordine minima =  $LT * D$
- Nessun vincolo di quantità ordine massima;
- Multiplo lotto fisso definito sulla base delle caratteristiche dell'articolo.

Le quantità minima e massima vengono poste pari a zero con l'obiettivo di minimizzare le scorte di semilavorati. La quantità ordine minima, invece viene posta pari al prodotto tra il lead time (LT) e la domanda media nell'unità di tempo (D). Il sistema è a periodicità fissa; ciò significa che, come già argomentato nel precedente capitolo, vi è la presenza di un intervallo di riordino che, per la gestione dei semilavorati, è posto pari ad uno ( $T = 1$ ). Il sistema, inoltre, si basa sulla copertura libera (vedi paragrafo 2.3.6) e per il calcolo dei fabbisogni cumulati considera un orizzonte temporale di nove giorni a partire dalla data di revisione della giacenza. Il sistema, in pratica, opera un controllo giornaliero di giacenza, ordini aperti e fabbisogni futuri (che corrispondono agli ordini aperti dei codici padre del semilavorato) e, qualora la giacenza, sommata degli ordini aperti, non sia in grado di soddisfare i fabbisogni calcolati per i successivi nove giorni, viene rilasciato un ordine di lavoro a copertura degli stessi.

Nella gestione a Min Max dei prodotti finiti, invece, le quantità minima e massima vengono impostate con valori diversi da zero. Generalmente tale gestione è riservata a tutti quei prodotti finiti destinati a clienti con i quali si è concordato il mantenimento di un buffer stock; le quantità da mantenere a scorta vengono definite in accordo con il cliente stesso. L'intervallo di riordino è superiore ad 1 (generalmente la revisione della giacenza avviene il lunedì, il mercoledì ed il venerdì); l'orizzonte temporale per il calcolo dei fabbisogni futuri è pari a venti giorni; gli ordini di lavoro non vengono rilasciati in maniera automatica dal sistema, ma ad ogni revisione della giacenza viene inviata una mail al reparto Pianificazione con l'elenco dei codici a Min Max che necessitano approvvigionamento, sarà poi compito della Pianificazione stessa rilasciare gli OdL a copertura dei fabbisogni segnalati. Questa precisazione sulla gestione a Min Max dei prodotti finiti è necessaria dal momento che, come si vedrà in seguito, verranno gestiti con questo metodo dei codici che vengono venduti come prodotti finiti, ma altresì utilizzati come semilavorati nella produzione di altri codici.

### **3.3.3 La gestione a Kanban in Carel**

Nel paragrafo 2.5 è stata presentata la logica di funzionamento generale del Kanban, verrà ora descritta, in maniera più dettagliata, la logica di funzionamento del sistema Kanban in Carel.

Si è già detto di come, sebbene il metodo tradizionale preveda l'utilizzo di due cartellini (uno di movimentazione ed uno di produzione), il sistema più diffuso prevede l'utilizzo di un solo cartellino: è questa la logica adottata in Carel.

I pezzi di un codice gestito a Kanban sono stoccati, in quantità predefinita, in appositi contenitori standard (generalmente ceste o rack) posti a monte della linea nella quale devono essere impiegati. Ad ogni contenitore è associato un cartellino, sul quale è presente: codice numerico che identifica univocamente il cartellino, codice articolo, descrizione articolo, quantità del contenitore ed un codice a barre. In figura 3.4 è riportato un esempio di cartellino Kanban utilizzato in Carel.



*Figura 3.5 – Esempio di cartellino Kanban utilizzato in Carel*

Non appena un contenitore esaurisce i suoi pezzi avviene quella che nel gergo aziendale viene definita “sparata” Kanban tramite la quale l’operatore, mediante un apposito lettore di codici a barre, effettua una scansione del barcode posto sul cartellino della cesta vuota. La scansione genera, nel giro di qualche minuto, il rilascio di un ordine di lavoro del codice in oggetto, di una quantità pari a quella necessaria per il riempimento del contenitore; le date di avvio e completamento schedulato dell’OdL sono coincidenti alla data di rilascio dell’OdL stesso, ciò significa che, ad esempio, una sparata Kanban in data 05/03, genererà un OdL con data rilascio 05/03, data avvio schedulato 05/03, data completamento schedulato 05/03.

A questo punto l’operatore addetto all’alimentazione delle linee si occuperà di portare il contenitore vuoto, con il rispettivo cartellino, nell’area di stoccaggio a valle della linea in cui viene prodotto il relativo codice (l’alimentatore effettua il

giro completo di tutte le linee con frequenza di circa due ore). Una volta giunto a destinazione il cartellino viene prelevato e attaccato alla lavagna Kanban, che ha lo scopo di indicare agli operatori della linea la sequenza dei lotti da produrre. La lavagna Kanban è organizzata in colonne e ognuna di esse corrisponde ad un codice. Le colonne, inoltre, sono suddivise in tre zone, verde, gialla e rossa, indicando la priorità dei lanci in produzione di un determinato codice. Se non è ancora presente nessun cartellino sulla lavagna il primo cartellino verrà posizionato in zona verde, i successivi cartellini, una volta portata a saturazione la zona verde, andranno ad occupare la zona gialla ed eventualmente, se non è ancora stato effettuato il lancio, la zona rossa. In figura 3.5 è riportato un esempio di lavagna Kanban utilizzata in Carel.



*Figura 3.6 – Esempio di lavagna Kanban utilizzata in Carel*

Una volta effettuato il lancio in produzione le ceste, nuovamente piene e con i rispettivi cartellini, vengono portate dall'alimentatore nell'area di stoccaggio a monte della linea che vanno ad alimentare, chiudendo il cerchio.



## 4 REVISIONE DEI METODI DI APPROVVIGIONAMENTO

Questo capitolo è dedicato all'esposizione del lavoro di revisione dei metodi di approvvigionamento che è stato effettuato sui semilavorati oggetto di analisi. Il capitolo è articolato seguendo lo schema cronologico del lavoro svolto: in primo luogo sono stati individuati i codici indicati per una gestione a Kanban (paragrafo 4.1), per i quali è stato poi effettuato il calcolo del numero ottimale di cartellini (paragrafo 4.2); infine si è definito il metodo di approvvigionamento più appropriato per i rimanenti codici (paragrafo 4.3).

### 4.1 Scelta dei semilavorati indicati per la gestione a Kanban

I semilavorati indicati per una gestione a Kanban sono quelli maggiormente alto rotanti, caratterizzati da consumi elevati e con ridotta variabilità; il processo che ha portato alla loro identificazione e che verrà ora descritto è stato guidato da un apposito standard Carel dedicato alla gestione a Kanban dei semilavorati.

Il punto di partenza per l'identificazione di tali codici è stato un'estrazione di tutte le transazioni di tipo *WIP Issue* avvenute nei sei mesi (26 settimane) antecedenti alla data di estrazione stessa, dove per transazione di tipo *WIP* si intende la movimentazione di una quantità di materiale avvenuta a causa di un ordine di lavoro rilasciato.

Dall'estrazione sono state considerate solamente le transazioni relative ai codici di interesse, presenti nella base dati creata (paragrafo 3.2), e a partire da esse è stata realizzata una tabella pivot per individuare, per ciascun codice, il profilo del consumo settimanale nei sei mesi di riferimento.

Sulla base di tali consumi i semilavorati oggetto di analisi sono stati raggruppati in tre classi di consumo tramite un'analisi ABC basata sul volume d'impiego. Dopo aver ordinato i codici per volume d'impiego decrescente (i consumi complessivi nell'arco dei sei mesi) e calcolati volume d'impiego in % e volume d'impiego in % cumulato (il volume d'impiego % dell'articolo a cui vengono sommati tutti i valori d'impiego % degli articoli che lo precedono), le classi sono state così definite:

- *Classe A: volume d'impiego in % cumulato  $\leq 80\%$*

- *Classe B: 80% < volume d'impiego in % cumulato ≤ 95%*
- *Classe C: 95% < volume d'impiego in % cumulato ≤ 100%*

Per ogni articolo, con riferimento ai consumi settimanali, sono poi stati calcolati media (D), deviazione standard ( $\sigma_D$ ) e coefficiente di variazione (v), quest'ultimo così definito:

$$v = \frac{\sigma_D}{D}$$

Il coefficiente di variazione è un parametro adimensionale che consente di valutare la dispersione dei valori di una misura attorno al suo valore medio, indipendentemente dall'unità di misura stessa. Un elevato valore di v indica un elevato grado di dispersione dei valori attorno al valore medio, al contrario, un ridotto valore di v indica che i valori tendono a concentrarsi maggiormente in prossimità del valore medio. In questo caso, quindi, l'utilizzo del coefficiente di variazione consente di confrontare la variabilità del consumo di articoli di differente natura.

Sulla base dei valori assunti dal coefficiente di variazione è stato possibile suddividere i codici oggetto di analisi in due ulteriori categorie, così definite:

- *Bassa variabilità di consumo:  $v \leq 1,00$*
- *Alta variabilità di consumo:  $v > 1,00$*

Una volta stabiliti, per ciascun codice, classe di consumo e variabilità di consumo, il modello utilizzato per identificare i codici indicati per una gestione a Kanban è quello di figura 4.1.

Tra i 423 codici di partenza, in questo modo, sono stato individuati 41 codici indicati per una gestione a Kanban, aventi tutti, peraltro, una frequenza di consumo superiore all'80% (il consumo è avvenuto almeno in 21 settimane sulle 26 di analisi).

L'individuazione di questi codici, tuttavia, si è basata esclusivamente su dati relativi a consumi passati, non tenendo conto in alcun modo di possibili variazioni che essi potrebbero avere in futuro; si è pertanto deciso, in tal senso,

di operare una verifica includendo nell'analisi anche il forecast relativo ai consumi futuri.

Per ogni codice è stato confrontato il consumo complessivo nei sei mesi passati con il dato dimezzato relativo al consumo previsto per i dodici mesi a venire ed è stato seguito lo schema logico di fig. 4.2.

SEMILAVORATI		VARIABILITÀ DEL CONSUMO	
		$v \leq 1,00$	$v > 1,00$
CLASSE DI CONSUMO	Classe A	kanban	Non a kanban
	Classe B	kanban	Non a kanban
	Classe C	Non a Kanban	Non a Kanban

Figura 4.1 – Modello per l'individuazione dei semilavorati indicati ad una gestione a Kanban

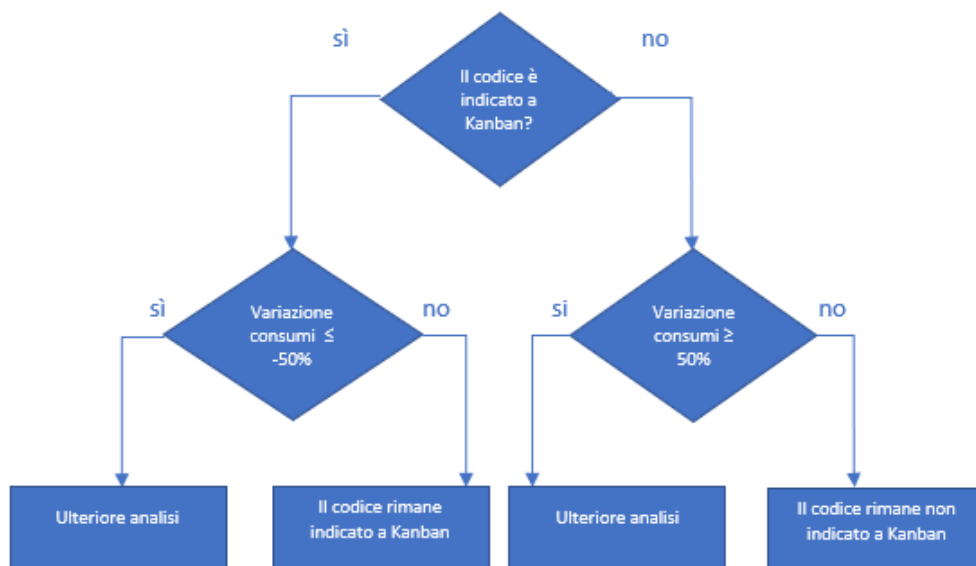


Figura 4.2 – Schema logico per la scelta del metodo di approvvigionamento basata sul forecast

In sostanza si è deciso di effettuare un'analisi ad hoc per ogni codice con rilevanti variazioni dei consumi previsti rispetto a quelli passati. Nel caso dei codici indicati per una gestione a Kanban è stata definita rilevante una riduzione dei consumi previsti superiore del 50% rispetto ai consumi passati, al contrario, per i codici non indicati ad una gestione a Kanban è stato definito rilevante un incremento dei consumi previsti superiore del 50% rispetto ai consumi passati. I codici indicati per una gestione a Kanban dall'analisi sui consumi passati con rilevanti riduzioni dei consumi previsti sono sei e per tutti si è deciso di non dedicare una gestione a Kanban, con le seguenti motivazioni (per motivi di riservatezza il codice non viene riportato in maniera completa):

- 18C\*\*\*\*152, 98C\*\*\*\*D51, 98C\*\*\*\*051: a breve la produzione della famiglia di prodotti finiti nella quale vengono impiegati verrà trasferita da CID (Plant italiano) a CHR (Plant croato);
- 98C\*\*\*\*075, 98C\*\*\*\*076: anch'essi impiegati in una famiglia di prodotti finiti che verrà trasferita da CID a CHR;
- 98C\*\*\*\*041: impiegato in un codice di prodotto finito convertito da poco in stato DEAD.

I codici non indicati per una gestione a Kanban dall'analisi sui consumi passati con rilevanti incrementi dei consumi previsti, invece, sono molti di più: per la precisione 194. Per 188 di questi codici, nonostante la rilevazione di un incremento dei consumi previsti, è stato valutato il non sussistere delle condizioni per una gestione a Kanban, nello specifico le motivazioni sono le seguenti:

- 122 codici oltre che ad essere utilizzati come semilavorati vengono anche venduti come prodotti finiti; l'incremento del forecast rispetto ai consumi passati è quindi dovuto alla presenza della componente di vendita diretta ai clienti che, al contrario, non era stata considerata nell'analisi dei consumi passati in quanto, come già illustrato, si sono correttamente considerate solamente le transazioni di tipo WIP;
- 58 codici sono soggetti ad un rilevante incremento dei consumi in termini percentuali, ma con quantità assolute non tali da giustificare una gestione

a Kanban. Questo dato, del resto, è ampiamente prevedibile dal momento che un incremento di poche unità del consumo di un codice di classe C può dar luogo ad importanti variazioni del consumo in termini percentuali, ma tale incremento non è sempre tale da giustificare una gestione a Kanban del codice (banalmente, un codice avente un consumo di 1 unità nei sei mesi passati e un consumo previsto per i sei mesi a venire di 2 unità sarà soggetto ad un incremento percentuale del 100%, ma, ovviamente, il consumo previsto in termini assoluti non giustifica una gestione a Kanban).

- 6 codici con scarsa attendibilità delle previsioni, si è preferito non considerarli per una gestione a Kanban;
- 2 codici per i quali l'incremento sui consumi previsti è attendibile, ma tali consumi risultano essere altamente variabili dal momento che è altrettanto variabile la domanda di prodotti finiti nei quali vengono impiegati;

Per i rimanenti 6 codici, invece, si è valutato il sussistere delle condizioni necessarie per una gestione a Kanban; i codici, con le rispettive motivazioni, sono i seguenti:

- 98H\*\*\*\*001, 98H\*\*\*\*003: la famiglia di prodotti finiti in cui vengono impiegati è in crescita e caratterizzata da consumi non eccessivamente variabili. Il Kanban verrà dimensionato sui soli consumi degli ultimi tre mesi;
- CM\*\*\*\*001: anche in questo caso l'incremento dei consumi è attendibile con il codice che, peraltro, è già gestito a Kanban. Il Kanban verrà dimensionato sui consumi degli ultimi tre mesi;
- 98C\*\*\*\*320, 98C\*\*\*\*323: codici convertiti da poco in stato ACTIVE, a sostituzione di codici che sono stati convertiti in stato DEAD. Il Kanban verrà dimensionato sui consumi dei codici sostituiti;
- 18C\*\*\*\*016: la produzione della famiglia di prodotti finiti in cui viene impiegato è passata da poco da CHR a CID. Il Kanban verrà

dimensionato sui consumi che il codice ha avuto negli ultimi sei mesi nel Plant croato.

## 4.2 Calcolo del numero di cartellini Kanban

La scelta dei codici indicati per la gestione a Kanban è stata effettuata considerando i consumi in maniera complessiva, senza alcun riferimento alla Value Stream cliente che ha generato il consumo di semilavorato. Nel capitolo 3, tuttavia, si è detto di come un semilavorato prodotto in una certa Value Stream possa essere utilizzato in più Value Stream clienti; il calcolo del numero di cartellini Kanban, pertanto, è stato effettuato per ogni singola Value Stream cliente, considerando solamente i consumi di semilavorato da essa generati.

Per fare ciò si è dovuto individuare, per ogni movimentazione di semilavorato (transazione WIP), la Value Stream in cui è avvenuto il suo impiego. È stata quindi effettuata un'estrazione da Oracle con i dati relativi agli ordini di lavoro rilasciati nei sei mesi di riferimento. Conoscendo l'ordine di lavoro che ha generato la movimentazione del semilavorato è stato quindi possibile associare ad ogni transazione l'articolo che, con il suo lancio in produzione, l'ha generata. A questi articoli, poi, è stata associata la relativa Value Stream produttrice, ricavata dall'anagrafica articoli, che rappresenta, in conclusione, la Value Stream cliente del semilavorato oggetto della transazione. La figura 4.3 può essere d'aiuto nella comprensione del procedimento seguito.

articolo	sotmag dt_trans	WEEK	tipo_tr	numero_ord	odl	PF	VALUE STREAM UTILIZZATRICE
1800306AXX	1 01-mar-18	9	WIP Issue	Job 5661068, Id 323647281	5661068	IROPZDSP05	VS2
1800306AXX	1 05-mar-18	10	WIP Issue	Job 5661069, Id 324841227	5661069	IROPZDSP05	VS2
1800306AXX	1 05-mar-18	10	WIP Issue	Job 5661069, Id 324841226	5661069	IROPZDSP05	VS2
1800306AXX	1 06-mar-18	10	WIP Issue	Job 5657601, Id 324953915	5657601	IROPZDSP05	VS2
1800306AXX	1 06-mar-18	10	WIP Issue	Job 5657601, Id 324996264	5657601	IROPZDSP05	VS2
1800306AXX	1 06-mar-18	10	WIP Issue	Job 5657601, Id 325030727	5657601	IROPZDSP05	VS2

Figura 4.3 – Procedimento seguito per ricavare la Value Stream cliente che ha generato il consumo di semilavorato

In questo modo, per ogni semilavorato utilizzato in più di una Value Stream cliente, si sono potuti calcolare i valori di media ( $D$ ) e deviazione standard ( $\sigma_D$ ) del consumo settimanale relativi ad ognuna di esse.

L'ultimo parametro necessario ai fini del calcolo del numero di cartellini Kanban è il lead time di riordino (LT). Per i codici già gestiti a Kanban tale parametro è stato ricavato a partire dall'estrazione sugli ordini di lavoro menzionata che, per ogni OdL, contiene le informazioni relative a data di rilascio, date di inizio e completamento schedulato e date di inizio e completamento effettivo. Si è detto di come la gestione a Kanban, in Carel, preveda il rilascio di un ordine di lavoro ad ogni "sparata" di un cartellino Kanban, la data di rilascio dell'OdL rappresenta quindi la data in cui si è generato il fabbisogno del codice, contestualmente allo svuotamento di un contenitore standard. L'istante in cui il fabbisogno viene soddisfatto, invece, è quello in corrispondenza della data di completamento effettivo. Il lead time di riordino di un codice attualmente gestito a Kanban, quindi, è stato ricavato dal valore medio del numero di giorni lavorativi intercorsi tra la data di rilascio e la data di completamento effettivo di ciascuno degli ordini di lavoro rilasciati negli ultimi sei mesi. Il lead time di riordino dei codici non già gestiti a Kanban, invece, è stato definito sulla base di indicazioni fornite dagli schedulatori di Value Stream.

Il calcolo del numero di cartellini Kanban per ogni Value Stream cliente è stato effettuato, come già anticipato, seguendo il modello di Smalley, che prevede il calcolo di tre parametri: Cycle Stock, Buffer Stock e Safety Stock (fig. 4.4).

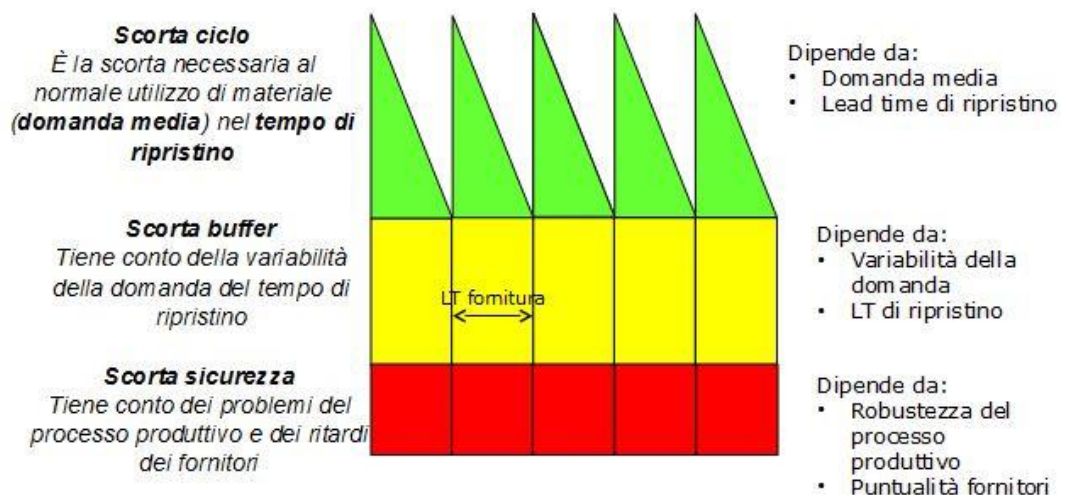


Figura 4.4 – Componenti della giacenza di un generico codice gestito a Kanban (fonte interna Carel)

La scorta ciclo si ottiene dalla seguente relazione:

$$Cycle\ Stock = D \cdot LT$$

La scorta Buffer, necessaria per fronteggiare la variabilità sul consumo del codice durante il lead time di riordino, è stata calcolata tramite la formula:

$$Buffer\ Stock = k \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{LT}$$

La formula, così definita, ipotizza una distribuzione normale dei consumi, con il valore del coefficiente k definito a seconda del livello di servizio desiderato. In Carel, il valore di k per i codici gestiti a Kanban viene posto pari a 2, corrispondente ad un livello di servizio desiderato del 97,7% (la probabilità che si verifichi una rottura di scorta durante il lead time di riordino è pari al 2,3%). La scorta di sicurezza, terza componente della giacenza totale, necessaria per fronteggiare l'incertezza sul lead time di riordino dovuta ad inefficienze interne, viene calcolata, in Carel, come il 10% della somma delle precedenti componenti, ovvero tramite la formula:

$$Safety\ Stock = 0,1 \cdot (Cycle\ Stock + Buffer\ Stock)$$

È stata così definita la giacenza totale:

$$Total\ inventory = Cycle\ Stock + Buffer\ Stock + Safety\ Stock$$

Da qui, il numero teorico di cartellini è stato calcolato tramite la relazione:

$$Num.\ cartellini\ teorico = \frac{Total\ Inventory}{Quantità\ contenitore}$$

Il numero effettivo di cartellini da predisporre è stato poi ricavato arrotondando per eccesso il valore teorico e tenendo conto del fatto che è desiderabile gestire un numero di cartellini compreso tra tre e sei. L'utilizzo di due cartellini non garantirebbe una buona rotazione dei contenitori, mentre un numero di cartellini superiore a sei renderebbe complessa la gestione di un altrettanto elevato numero di contenitori.



### 4.3 Scelta del metodo di gestione per i codici non a Kanban

Una volta identificati i semilavorati indicati per la gestione a Kanban si è passati alla scelta del metodo di gestione per i restanti codici, caratterizzati quindi da consumi ridotti e/o variabili. I metodi considerati sono stati la gestione a metodo tradizionale e la gestione a Min Max (vedi paragrafo 3.3).

Il modello ideato per identificare il metodo di gestione più appropriato è il seguente (fig. 4.5).



Figura 4.5 – Modello per la scelta del metodo di gestione per i semilavorati non a Kanban

Si è già detto di come la gestione a Min Max per i semilavorati, in Carel, preveda di impostare a zero le quantità minima e massima, con l'obiettivo di minimizzarne le scorte. Rispetto alla gestione con metodo tradizionale, tuttavia, la quantità mediamente a stock sarà comunque più elevata dal momento che gli ordini di lavoro vengono rilasciati a copertura dei fabbisogni di nove giorni. Per questo motivo si è deciso di riservare la gestione a Min Max solamente ai codici caratterizzati da basso valore d'impiego, per i quali il mantenimento di una

giacenza media più elevata non risulta essere particolarmente oneroso, e contemporaneamente, elevata frequenza di consumo.

Il valore d'impiego dei codici è stato ottenuto moltiplicando il volume di impiego complessivo nei sei mesi di analisi per il parametro Ind Fisc Cost. L'Ind Fisc Cost è il parametro utilizzato in Carel per le decisioni aziendali e la valorizzazione delle giacenze e rappresenta il valore medio degli ultimi sei mesi del costo di prodotto comprensivo dei soli costi diretti (es. manodopera, materie prime). È stata quindi effettuata un'ulteriore analisi ABC, questa volta dedicata ai soli codici non indicati per una gestione a Kanban e basata sul valore d'impiego anziché sul volume d'impiego, e sulla base della classe di appartenenza i codici sono stati così suddivisi:

- *Alto valore d'impiego*: codici di classe A e B;
- *Basso valore d'impiego*: codici di classe C.

La suddivisione relativa alla frequenza di consumo, invece, è stata così definita:

- *Bassa frequenza di consumo*:  $freq. \% < 70\%$ ;
- *Alta frequenza di consumo*:  $freq. \geq 70\%$ ;

Si precisa che una frequenza di consumo superiore al 70% equivale ad un consumo di semilavorato avvenuto almeno in 19 settimane sulle 26 di analisi.

In questo modo, la maggior parte dei 382 semilavorati non indicati per una gestione a Kanban è risultata indicata per una gestione con metodo tradizionale: 354 codici indicati per tale gestione ed i rimanenti 28 indicati per la gestione a Min Max.

## 5 PROGETTO PILOTA VALUE STREAM UMIDIFICAZIONE: OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE DEI SEMILAVORATI A KANBAN

A valle della revisione dei metodi di approvvigionamento, effettuata per tutti i semilavorati inter-Value Stream, l'attenzione si è concentrata sui codici utilizzati dall'Umidificazione. L'obiettivo del capitolo è quello di descrivere un progetto di miglioramento implementato per i semilavorati utilizzati da questa Value Stream gestiti a Kanban.

### 5.1 I semilavorati utilizzati dalla Value Stream Umidificazione

I semilavorati prodotti in altre Value Stream ed utilizzati dalla Value Stream umidificazione risultano essere in totale 52, così suddivisi a valle della revisione dei metodi di approvvigionamento:

- 6 codici indicati per la gestione a Min Max (fig.5.1)
- 36 codici indicati per la gestione con metodo tradizionale (fig. 5.2)
- 10 codici indicati per la gestione a Kanban (fig. 5.3)

In figura 5.1 sono riportati i codici indicati per la gestione a Min Max. Quattro di essi erano essi erano gestiti a Min Max anche prima della revisione dei metodi di approvvigionamento, mentre per due di essi è stata dismessa la gestione a Kanban.

Articolo	Precedente gestione	Descrizione	D (pz./sett)	LT (sett.)	LT * D	Lotto minimo
98C617P002	Min Max	SCHEDA DOPPIO FILTRO X MC MODULANTE (H)	9,04	1,22	11,0269	12
98C565P020	Kanban	SEM. CORNICE PGD UEW	7,92	0,38	2,97115	3
98C564C002	Min Max	SEM.COLL.SCHEDA TASTIERA HOMESTEAM	6,27	0,84	5,26615	6
98C474C001	Min Max	S.CTRL.UMID.EL.TOP COLL. V=1.9 24/02/11 CHK=E6F8	4,38	0,70	3,09011	4
98C615P057	Kanban	SEM. LASER GUSCIO SUP. 10M APERTO DIN PERS. UEX PLUS	7,85	0,37	2,86385	3
HYHU000000	Min Max	SONDA DI UMIDITA' COMPATTA PER HUMISONIC UU%	5,00	1,19	5,95	6

Figura 5.1 – Semilavorati utilizzati dall'Umidificazione indicati per la gestione a Min Max

Articolo	Precedente gestione	Descrizione articolo
98C530C001	Tradizionale	S.CTRLUMID.EL.STULZ COLL. V=6.2 CHK=76ECh 07/09/11
98C530C002	Tradizionale	S.SCHINTUMID.EL.STULZ COLL.
98C715C020	Min Max	SEMILAY.PGD1BUZZER NO WHITE - FRONT GLASS AND BLACK KEYPAD
P+500B0A000;	Min Max	PC05+ EXTRALARGE, FB/BMS NO OPTO, NO USB, NO PACKAGING
98C655C010	Min Max	SEM. COLL. SCHEDA BASE COMPACTSTEAM CON POMPA
98C530C003	Tradizionale	S.SCHINTUMID.EL.STULZ COLL. NO TAM
PC03000AM2	Tradizionale	PC03 MEDIUM BOARD - SENZA IMBALLO - PER OPTIMIST
98C474C004	Tradizionale	S.SCHINTUMID.ELETT.COLL.
98C565P021	Kanban	SEMILAY. CORNICE PGD UEV - DSC ALT'AIR
PGF04U00FAl	Kanban	PGDX 4,3 PER UMIDIFICATORI CAREL - PANEL FRONT NO FRAME IN TEMP-SERIAL RJ12 - NO RTC
98C615P360	Tradizionale	SEMIFINISHGOOD FRONTAL FRAME THERMOSTEAM PGD DARK GREY FOR UEX
98C460C001	Tradizionale	S.CTRL UMID.RES.TOP COLL. V=2.0 CHK=491E
PGF04U00RA	Kanban	PGDX 4,3 PER UMIDIFICATORI CAREL - PANEL REAR IN TEMP-SERIAL RJ12 - NO RTC
UAKDER4000	Tradizionale	CASSET.DERIV.7 ELETTROVALV.
UAKDER2000	Tradizionale	CASSET.DERIV.5 ELETTROVALV.
98C460C006	Tradizionale	S.SCHINTUMID.RIAJU COLL.
98C615C078	Tradizionale	NEW SEM. SCHEDA TERMINALE UEY BASIC FRANCE AIR
98C615P268	Tradizionale	SEMIFINISHGOOD FRONTAL FRAME AIR BLUE (SWEGOM) PGD DARK GREY FOR UEX
98C474C005	Tradizionale	S.SCHINTUMI.EL.NO TAMCOLL.
98C615C074	Min Max	SEM. COLL. SCHEDA CONTROLLO UEY CHINA
98C639C048	Min Max	SEM.COLL.SCHEDA CONTROLLO CPY
98C705C027	Kanban	SEM. COLL. SCHEDA POWER & CPU X UMIDIF. ULTRAS. 4 PIEZO
98C749C130	Kanban	NUOVO CONTROLLO UMIDIFICATORE CON STM32 VERSIONE ESPANSA
P+500B0A000;	Tradizionale	PC05+ EXTRALARGE, FB/BMS NO OPTO, NO USB
PGD1000F02	Tradizionale	PGD1132X64 PIXEL, PANEL MOUNTING SENZA IMBALLO
98C731C001	Kanban	S.CTRL UMID.RES.TOP COLL. V=3.0 CHK=34AA
98C731P001	Kanban	SEMIL. PLANCIA FRONTALE PER CONTROLLO UR CON LOGO
98C615P094	Kanban	SEM. CORNICE PERSONA. DIGI VAP FRONTALE TERM.PGD GRIGIO ANTRACITE PER UEX
98C731P042	Tradizionale	SEMIFINISHGOOD FRONTAL FRAME AIR BLUE (SWEGOM) PGD DARK GREY FOR UR
DPDC10000	Min Max PF	DUCT SENSOR TEMP. -10T60GR.C. (OUT 0-1VDC - 4-20MA) / HUMID. RH 10-90% (OUT 0-1VDC - 4-20MA)
PC03000A20	Tradizionale	PC03 EXTRA LARGE BOARD
98C585C001	Tradizionale	S.CTRL UMID.ATOMIZZ.COLL. UAXXXHD2XX
UUKD1000000	Min Max PF	DISPLAY PER HUMISONIC UUX
98C615C075	Kanban	SEM. COLL. SCHEDA CONTROLLO UEY BASIC
98C731P041	Kanban	SEMILAY. CORNICE PGD HEATERSTEAM
98C615C076	Kanban	NEW SEM. SCHEDA TERMINALE UEY BASIC

Figura 5.2 – Semilavorati utilizzati dall'Umidificazione indicati per la gestione con metodo tradizionale

Articolo	Descrizione	Già a KB	VS	PROD.	D (pz./sett.)	σ (pz./sett.)	LT (sett.)	Cycle Stock	Buffer Stock	Safety Stock	Total Inventory	Num. cartellini teorico	Num cartellini Quantità
98C743C001	DRIVER MULTIPIEZO	si	VS2		126,076923	85,9878896	1,06567	134,356602	177,5329585	31,188956	343,0785161	8,576962903	40
98C615C065	SEMILAV.PGD1.WHITENOBUIZZER	si	VS3		65,9230769	24,1102006	0,35962	23,7069527	28,91678139	5,2623734	57,88610745	1,286357943	21
98C613P056	SEM.LASER.GUSCIO.SUP..10M.CHIUSO.DIN.PERS.UJEX.PLUS	si	VS2		28,8461538	14,4746258	0,43529	12,5565611	19,09979653	3,16563576	34,82199338	1,289703459	12
98C565P019	SEM.CORNICE.PGD.UJEX	si	VS2		21,3461538	10,7736941	0,34222	7,30512821	12,60512992	1,99102992	21,9013291	0,365022152	8
98C745C120	NUOVO CONTROLLO UMIDIFICATORE VERSIONE BASE CON MORSETTI CON STI	si	VS2		36,8846154	13,8100491	1,08133	39,8845641	28,72136083	6,86059249	75,46651743	6,288876452	12
98C743C004	SEM.COIL.SCHEDA.DI.CONTROLLO.PER.UMID.ULTRAS.	si	VS2		33,9615385	27,16820518	1,43846	48,8523669	65,1689639	11,4021331	125,4234638	8,361564256	15
98C453C099	SEM.COIL.SCH.ALIMI.24AC/DC.NEW	si	VS2		24,6923077	10,3543719	0,64444	15,9128205	16,62441983	3,25372403	35,790966438	1,491290182	24
98C714C001	SEM.COIL.SCHEDA.ESPANSIONE.X.UMIDIF.CATORE.ULTRASUONI	si	VS2		19,1923077	14,9769547	1,3625	26,1495192	34,96405276	6,1113572	67,22492919	2,489812192	27
98C615C320	NEW.SEMIFINISHED.UJEX.BASIC.TERMINAL.BOARD.STULZ.WETMASTER	no	VS2		28,7945288	28,5819697	1,17517	33,8384264	61,96687958	9,5807106	105,3878166	5,269390828	20
98C615C323	SEM.COIL.SCHEDA.CONTROLLO.UJEX.STULZ	no	VS2		25,3846154	28,5819697	1,22336	31,0518784	63,2238291	9,42757075	103,7032782	5,18516591	20

Figura 5.3 – Semilavorati utilizzati dall'Umificazione indicati per la gestione a Kanban

In figura 5.2 sono invece riportati i codici indicati per la gestione a metodo tradizionale. Diciotto di essi erano gestiti con metodo tradizionale anche prima della revisione dei metodi di approvvigionamento, per undici di essi è stata dismessa la gestione a Kanban, mentre per cinque di essi è avvenuto il passaggio da Min Max a tradizionale. Rimangono due codici (evidenziati in rosso in figura 5.2) per i quali non è stato effettuato il cambio di gestione. Tali codici, oltre che ad essere utilizzati come semilavorati, vengono anche venduti come prodotti finiti ad alcuni clienti e, attualmente, risultano essere gestiti tramite il Min Max dedicato ai prodotti finiti (paragrafo 3.3.2); per praticità di gestione si è quindi deciso di non effettuare il passaggio a metodo tradizionale mantenendo inalterato l'attuale metodo di approvvigionamento.

In figura 5.3 sono infine riportati i codici indicati per la gestione a Kanban, con i relativi calcoli effettuati al fine di individuarne il numero ottimale di cartellini. Otto di questi codici erano gestiti a Kanban anche prima della revisione dei metodi di approvvigionamento, mentre i restanti due codici erano gestiti con metodo tradizionale. C'è tuttavia da sottolineare come questi ultimi due codici siano stati da poco convertiti in stato ACTIVE, andando a sostituire due codici gestiti a Kanban che, contestualmente, sono stati convertiti in stato DEAD. Questo capitolo, come già anticipato, sarà interamente dedicato all'esposizione di una proposta di miglioramento che è stata sviluppata ed implementata proprio per la gestione dei semilavorati a Kanban utilizzati dall'Umidificazione e prodotti in altre Value Stream.

L'elemento da cui è scaturita la proposta di miglioramento è stato l'analisi dei Lead Time dei suddetti codici, riportati in tabella 5.1 (si precisa che il lead time dei due codici non attualmente a Kanban è stato considerato pari al lead time dei due codici sostituiti dal momento che, tra di essi, non vi sono rilevanti variazioni tecnologiche).

Ciò che emerge è che sei codici sui dieci in analisi presentano un Lead Time di ripristino superiore ad una settimana (in rosso in tabella), estremamente elevato per la natura dei codici stessi.

I semilavorati in questione, ad eccezione dei codici 98C615P056 e 98C615P056 (si noti nel codice la presenza della lettera P anziché della lettera C), sono infatti schede elettroniche che costituiscono il sistema di controllo degli umidificatori in cui vengono impiegate e sono caratterizzate da un tempo ciclo medio di 5 min/pz (200 min per un lotto di 40 pz). Considerando che in Carel la produzione avviene su due turni giornalieri da 7,5 ore/turno si può ragionevolmente ritenere

“adeguato”, per questi codici, un Lead Time di ripristino non superiore ai 2 giorni (0,4 settimane).

*Tabella 5.1 Lead Time dei semilavorati a Kanban utilizzati dall’Umidificazione*

<b>Articolo</b>	<b>LT (sett.)</b>
98C743C001	1,065672
98C615C065	0,359615
98C615P056	0,435294
98C615P056	0,342222
98C749C120	1,081333
98C743C004	1,438462
98C453C099	0,644444
98C714C001	1,3625
98C615C320	1,175169
98C615C323	1,223256

D’altro canto, un delta così elevato tra Lead Time effettivo e Lead Time atteso rappresenta una chiara evidenza quantitativa del menzionato problema sui ritardi di semilavorati inter-Value Stream (paragrafo 3.1). È chiaro che, essendo i codici gestiti a Kanban quelli consumati maggiormente e con più frequenza, un ritardo nella loro fornitura può causare grossi problemi nelle linee alimentate, con conseguenti ritardi sul lancio in produzione degli OdL di prodotti finiti. Inoltre, non va dimenticato di come ci si aspetti che la gestione a Kanban sia la modalità in grado di garantire la maggior disponibilità di semilavorati, al punto tale che la simulazione di Available To Promise (ATP), su cui si basa il sistema Oracle per verificare se è possibile o meno garantire la data di evasione richiesta dal cliente al momento dell’inserimento di un ordine, non effettua alcun controllo sui codici gestiti a Kanban, considerandoli sempre disponibili.

A questo punto ci si è trovati di fronte ad un bivio. La prima strada percorribile sarebbe stata il dimensionamento del Kanban sulla base dei Lead Time effettivi (i calcoli riportati in figura 5.3 fanno riferimento a questa ipotesi), a cui sarebbe corrisposto, per la maggior parte dei codici, un incremento della Total Inventory gestita. Questa scelta, tuttavia, avrebbe indicato la volontà di “appoggiarsi” al problema in essere, tentando solamente di limitarne parzialmente le conseguenze.

La strada che si è voluto di percorrere, quindi, è stata differente. Si è deciso di definire un Lead Time target pari a 2 giorni per tutti i codici che non presentano

tale requisito (tabella 5.2), individuare e risolvere la causa alla base dell'attuale dilatazione dei Lead Time effettivi e dimensionare il Kanban dei semilavorati sulla base del nuovo valore Target.

Tabella 5.2 – Confronto tra Lead Time effettivo e Lead Time Target

Articolo	LT (sett.)	LT Target (sett.)
98C743C001	1,065672	0,4
98C749C120	1,081333	0,4
98C743C004	1,438462	0,4
98C453C099	0,644444	0,4
98C714C001	1,3625	0,4
98C615C320	1,175169	0,4
98C615C323	1,223256	0,4

## 5.2 Il problema della mancanza di semilavorati SMD

Come già anticipato, i codici in esame, per i quali si è definito il raggiungimento di un Lead Time Target, sono costituiti da schede elettroniche utilizzate per il controllo degli umidificatori in cui vengono impiegate.

Con riferimento al reparto elettronica di Carel, l'assemblaggio di una scheda elettronica si compone essenzialmente di due fasi: la fase SMT e la fase PTH. Nella fase SMT (Surface Mount Technology) i componenti di dimensioni minori vengono assemblati in maniera automatica sul circuito stampato (PCB), che diventa così un semilavorato SMD (Surface Mounting Device); nella fase PTH (Pin Through Hole), invece, i componenti di dimensioni maggiori vengono assemblati manualmente sul semilavorato SMD, che a valle del processo diventa così un semilavorato PTH (figura 5.4) o un prodotto finito, a seconda dei casi.



Figura 5.4 – Dal circuito stampato al Semilavorato PTH



Tutti i codici riportati in tabella 5.2, per i quali si è prefissato il raggiungimento del Lead Time Target, fanno riferimento a semilavorati PTH. Da una prima analisi qualitativa del processo ci si è resi conto di come la principale causa alla base degli attuali Lead Time così elevati, per tali codici, sia dovuta ad una frequente mancanza di semilavorati SMD.

Per meglio comprendere la problematica in essere è stata effettuata un'analisi più dettagliata del processo che, a partire dal circuito stampato, porta alla produzione di questi semilavorati, con particolare attenzione alle logiche che ne regolano il flusso informativo. Il prossimo sotto-paragrafo (5.2.1) fornisce quindi una spiegazione più dettagliata dei processi SMT e PTH, con riferimento al reparto elettronica di Carel (VS1, VS2 e VS3), mentre nel sotto-paragrafo 5.2.2 viene analizzato il flusso informativo su cui si basano tali processi con riferimento ai semilavorati in analisi, nel sotto-paragrafo 5.2.3 le informazioni ricavate vengono infine sintetizzate nella Current State Map di processo.

### **5.2.1 I processi SMT e PTH: il flusso fisico**

Il processo SMT, che a partire dal circuito stampato porta ad ottenere un semilavorato SMD, si compone delle seguenti macro-fasi:

- *Serigrafia.* Consiste nel posizionamento e nella stesura di un'apposita pasta saldante sul circuito stampato ad opera di una macchina serigrafica. I semilavorati in analisi sono caratterizzati, mediamente, dai seguenti valori di tempo ciclo e tempo set-up:  $T_c = 0,4 \text{ min/pz}$ ;  $T_{\text{set-up}} = 15 \text{ min/lotto}$ .
- *Pick and Place.* È la fase più automatizzata del processo e consiste nel posizionamento, tramite macchinari Pick and Place, dei microcomponenti sul circuito stampato precedentemente serigrafato. Per comprendere al meglio quanto verrà esposto nei prossimi paragrafi è opportuno spendere qualche parola sulle attività di set-up che hanno luogo in questa fase. I componenti che alimentano la macchina Pick and Place sono avvolti in bobine (ad ogni componente è dedicata una bobina) che vengono inserite nella macchina per mezzo di appositi caricatori (ad ogni bobina è dedicato un caricatore); l'attività di set-up di una macchina Pick and Place comprende quindi l'inserimento nella macchina di tanti

caricatori, con le rispettive bobine, quanti sono i componenti che verranno assemblati sul PCB, nella corretta sequenza. Generalmente l'operazione è facilitata dalla preparazione di un apposito carrello (figura 5.5), che viene direttamente inserito nella macchina, contenente tutti i caricatori e le bobine necessari alla realizzazione del semilavorato. Sulla base dell'attività di set-up, i semilavorati SMD vengono suddivisi in due categorie: i codici a set-up fisso e i codici a set-up variabile. I codici a set-up fisso rappresentano tutti quei semilavorati SMD per i quali viene predisposto un carrello di set-up con un set di caricatori dedicato, in cui l'unica attività effettuata, al di là dell'inserimento del carrello nella macchina, è la sostituzione delle bobine al loro esaurimento. I codici a set-up variabile, invece, rappresentano tutti quei semilavorati SMD per i quali non è predisposto un carrello di set-up dedicato e, pertanto, ogni lancio in produzione deve essere preceduto dalla fase di preparazione dei caricatori, in cui viene allestito l'apposito carrello di set-up. Dal momento che i caricatori sono attrezzature dal costo molto elevato, la predisposizione di un set di caricatori dedicato avviene per i soli codici dai consumi altrettanto elevati, l'eventuale acquisto deve avvenire solo a valle di un'attenta analisi che deve essere peraltro approvata dal Plant Manager stesso.

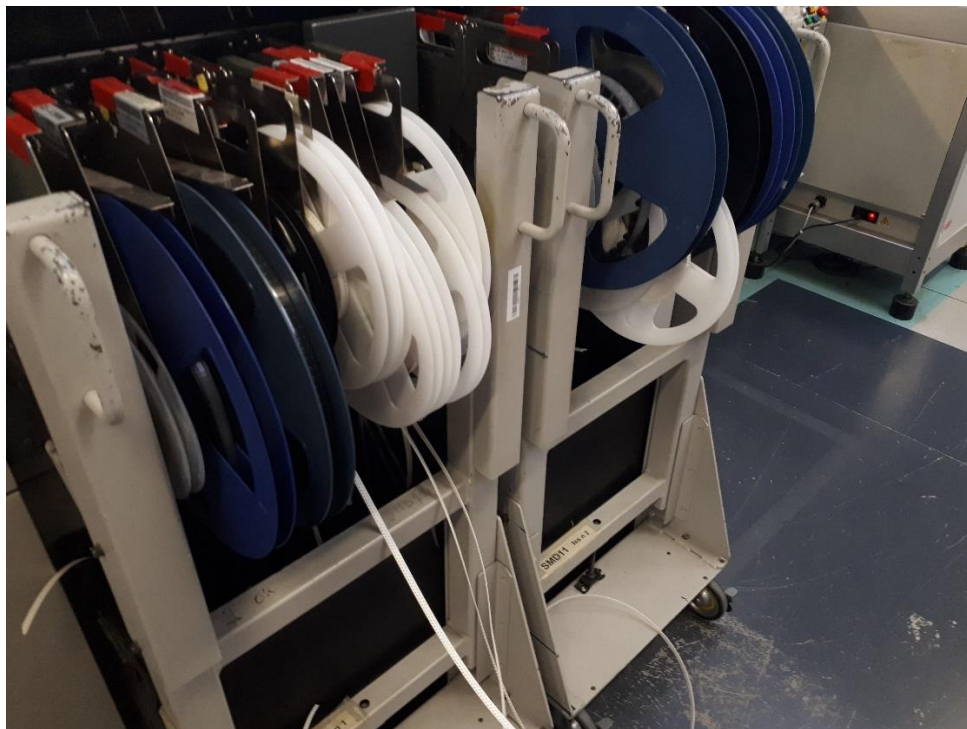
I semilavorati in analisi, in questa fase, sono caratterizzati mediamente dai seguenti valori di tempo ciclo e tempo set-up (con riferimento al solo set-up della macchina):  $T_c = 0,5 \text{ min/pz}$ ,  $T_{\text{set-up}} = 20 \text{ min/lotto}$ .

I sette codici in analisi, inoltre, sono a set-up variabile, con un tempo di preparazione dei caricatori estremamente variabile a seconda della complessità del semilavorato (si stimano due minuti a caricatore), volendo riportare comunque un dato medio:  $T_{\text{prep.caricatori}} = 120 \text{ min/lotto}$ .

- *Forno.* Dopo la fase di Pick and Place le schede entrano in un forno in cui avviene l'effettiva saldatura dei componenti sul PCB grazie alla rifusione della pasta saldante. Per questa fase, così come per la successiva, non vengono indicati i valori di tempo ciclo e tempo set-up dal momento che vengono considerate come attività di movimentazione.
- *Spaginata.* Consiste nella suddivisione del quadrotto nelle singole schede che lo compongono. Il quadrotto altro non è che un insieme di circuiti stampati aventi la dimensione delle schede che varranno

realizzate. In questa fase avviene anche un controllo sia visivo, da parte dell'operatore, che automatico (per ogni scheda o a campione) per individuare eventuali difetti nei semilavorati prodotti.

I semilavorati SMD prodotti vengono quindi riposti in appositi Rack a valle della linea in attesa di essere prelevati per la successiva fase di montaggio PTH.



*Figura 5.5 – Carrello set-up di una macchina Pick and Place in Carel*

In figura 5.3 è riportato, a titolo di esempio, il layout di una linea SMT con riferimento alla Value Stream 1 (Controllori Parametrici).

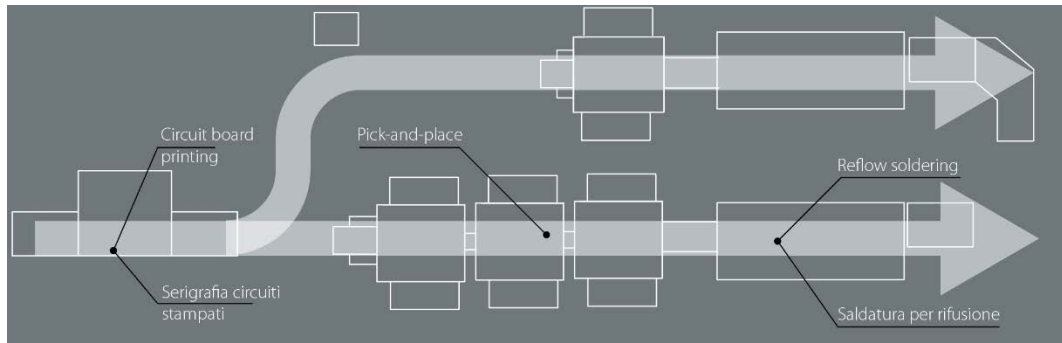


Figura 5.6 – Layout linea SMT Controllori Parametrici (fonte interna Carel)

Il processo PTH, che a partire da un semilavorato SMD porta ad ottenere un semilavorato PTH o un prodotto finito, è invece composto dalle seguenti macro-fasi:

- *Assemblaggio iniziale.* Durante questa fase avviene il posizionamento manuale dei componenti di dimensioni maggiori sul semilavorato SMD. Gli operatori sono guidati nell'attività da sistemi Pick to Light che illuminano i vani da cui devono essere prelevati i componenti seguendo il ciclo di assemblaggio del prodotto finito o del semilavorato.
- *Saldatura e raffreddamento.* Nella fase di saldatura le schede vengono convogliate all'interno di una saldatrice ad onda, in essa vengono fatte scorrere sulla "cresta" di una lega saldante fusa che, penetrando nei fori del PCB, crea i giunti di saldatura tra i pedini (pin) dei componenti elettronici e il PCB stesso. A valle della saldatura vi è poi una fase di raffreddamento per convezione forzata tramite l'utilizzo di ventole.
- *Test e programmazione.* Una volta raffreddate, le schede vengono programmate e testate. Il test può essere costituito da una parte In-circuit che misura i valori delle caratteristiche fisiche dei componenti (es. capacità dei condensatori, valori delle resistenze ecc.) e/o da una parte funzionale che verifica il funzionamento completo del prodotto.
- *Resinatura.* In questa fase avviene il rivestimento del PCB e dei relativi componenti con una resina isolante in grado di proteggere la scheda da agenti esterni. Si precisa, tuttavia, che questa fase non è sempre

necessaria e non lo è, in particolare, per i semilavorati oggetto di analisi in questo capitolo.

- *Montaggio del guscio e del frontalino.* Fase dedicata per la maggiore ai prodotti finiti, in cui avviene l'assemblaggio manuale delle plastiche alla scheda elettronica. Si precisa che solamente due dei sette semilavorati oggetto di analisi in questo capitolo vengono sottoposti a questa fase (viene montato solamente il guscio), mentre i rimanenti cinque sono costituiti da sole schede neutre.
- *Accessori e imballo.* Fase dedicata ai soli prodotti finiti che vengono inseriti all'interno degli appositi imballi con i relativi accessori.
- *Stoccaggio.* I prodotti finiti, con i relativi imballi, vengono posizionati a valle della linea in attesa di essere trasportati nelle zone di stoccaggio e spedizione. I semilavorati, invece, vengono stoccati all'interno di rack o ceste (sono i contenitori standard dei codici gestiti a Kanban) in attesa di essere trasportati dall'alimentatore a monte della linea in cui verranno utilizzati.

La fase PTH, nel suo complesso, è caratterizzata dal seguente tempo ciclo medio per i semilavorati in analisi:  $T_c = 5 \text{ min/pz}$ . Per quanto riguarda le attività di set-up, è bene sottolineare come le linee PTH siano strutturate per poter garantire il one-piece-flow. A tal fine, nelle fasi di assemblaggio, avviene l'utilizzo di set-up mobili, ovvero di carrelli facilmente movimentabili contenenti tutti i componenti necessari all'assemblaggio di una determinata famiglia di prodotti, in grado di consentire con relativa facilità il passaggio dall'assemblaggio di un prodotto ad un altro. Il set-up di una linea PTH, quindi, avviene al solo cambio di famiglia produttiva e consiste nell'appena citato cambio di set-up mobile a cui va ad aggiungersi il cambio del letto ad aghi utilizzato in fase di test. Complessivamente questa attività viene svolta in un tempo che varia tra i 5 e i 7 minuti, ma la scelta di Carel, con l'obiettivo di minimizzare il più possibile questo tempo, è stata quella di considerarlo comunque nullo:  $T_{\text{set-up}} = 0$ ; l'attività di set-up viene così considerata alla stregua di un'inefficienza.

In figura 5.7 è riportato, a titolo di esempio, il layout di due linee PTH, con riferimento alla Value Stream 1 (Controllori Parametrici). La figura riporta il

layout di due linee, anziché una, dal momento che la maggior parte delle linee PTH risultano essere accoppiate in un layout a W (o a doppia U), potendo così condividere una sola saldatrice, che in questo modo può essere più facilmente portata a saturazione e generare un risparmio in termini di spazio.

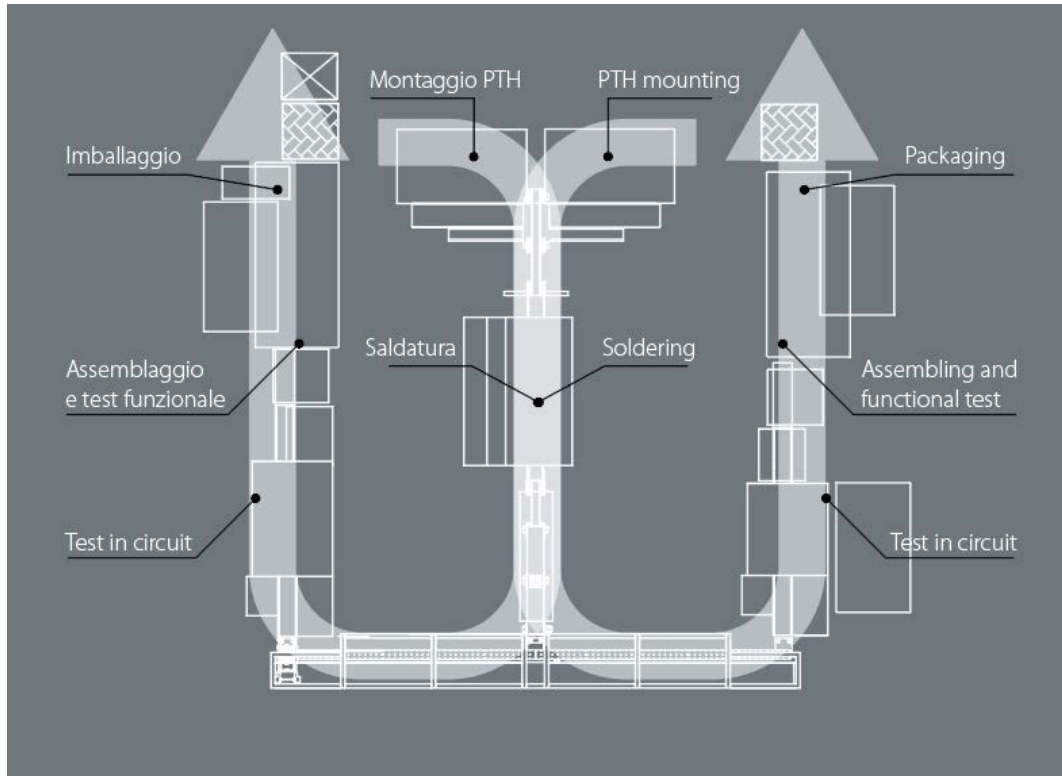


Figura 5.7 – Layout linee PTH Controllori Parametrici (fonte interna Carel)

### 5.2.2 I processi SMT e PTH: il flusso informativo

Con riferimento ai semilavorati in analisi, il processo descritto nel precedente sotto-paragrafo ha origine con il rilascio di un ordine di lavoro di semilavorato PTH, che avviene in corrispondenza dello svuotamento di un contenitore standard a monte delle linee dell'Umidificazione, con conseguente “sparata” Kanban (si ricorda che gli ordini di lavoro rilasciati a valle di una sparata Kanban sono caratterizzati da data di inizio e completamento schedulato coincidenti alla data di rilascio).

Nel caso in cui, al momento del rilascio dell'OdL di semilavorato PTH, sia presente a giacenza una quantità di semilavorato SMD sufficiente al

completamento dell'OdL, esso viene completato entro due giorni dalla data di rilascio.

Nel caso in cui, al momento del rilascio dell'OdL di semilavorato PTH, non sia presente a giacenza una quantità di semilavorato SMD sufficiente al completamento dell'OdL, si genera un fabbisogno di semilavorato SMD. I semilavorati SMD, per i codici in questione, risultano essere tutti gestiti con metodo tradizionale e pertanto la notte, al lancio dell'MRP, avviene il rilascio di un OdL di semilavorato SMD di una quantità pari a quella del fabbisogno netto. A questo punto, ciò che si è riscontrato, è il potersi verificare di due distinti scenari, strettamente legati al carico delle linee e guidati dalla discrezionalità dello schedatore di Value Stream, ma entrambi caratterizzati dalla volontà di minimizzare il più possibile le attività di set-up legate all'assemblaggio SMT; i due scenari sono i seguenti:

- *Scenario A: scarsa richiesta di SMD.* Nel caso in cui l'OdL di semilavorato SMD venga rilasciato in un periodo caratterizzato da scarsa richiesta di prodotti finiti, a cui corrisponde una scarsa richiesta di semilavorati SMD, l'OdL viene lanciato in produzione, ma lo schedatore di Value Stream apre "a mano" uno o più OdL dello stesso codice per mandare in produzione un lotto di dimensioni maggiori rispetto al fabbisogno reale. Lo schedatore cerca quindi di "creare una scorta" di SMD a copertura dei fabbisogni futuri con il lancio in produzione di un unico lotto. Una volta creata la disponibilità di semilavorati SMD, avviene a cascata la produzione dell'OdL di semilavorato PTH.
- *Scenario B: elevata richiesta di SMD.* Nel caso in cui l'OdL di semilavorato SMD venga rilasciato in un periodo caratterizzato da elevata richiesta di prodotti finiti, risulterà altrettanto elevata la richiesta di semilavorati SMD. In questo caso la priorità viene data alla produzione di semilavorati SMD destinati all'impiego in prodotti finiti, con l'OdL in questione che rimane in attesa del lancio in produzione. Nel frattempo, durante l'attesa, verranno rilasciati altri OdL di semilavorati PTH grazie alle separate Kanban provenienti dall'Umidificazione che, a loro volta, andranno a generare il rilascio di altrettanti OdL di semilavorati SMD. In queste situazioni lo schedatore cerca, per quanto possibile, di tenere monitorata, grazie alle maschera

dedicata in Oracle “Carel View Supply/Demand”, la richiesta di semilavorati PTH dalle linee dell’Umidificazione, lanciando in produzione tutti gli OdL, accorpati in un unico lotto (a cui segue la produzione di tutti gli OdL di semilavorato PTH), prima che il codice diventi mancante. È chiaro che questa attività di monitoraggio, lasciata alla discrezionalità dello schedulatore, non avviene con frequenza regolare e molto spesso è la stessa Value Stream Umidificazione a sollecitare la fornitura di semilavorati che, nel peggiore dei casi, non riuscirà ad essere garantita prima che il codice diventi mancante.

In figura 5.8 è riportato un diagramma di flusso che sintetizza la logica del processo.



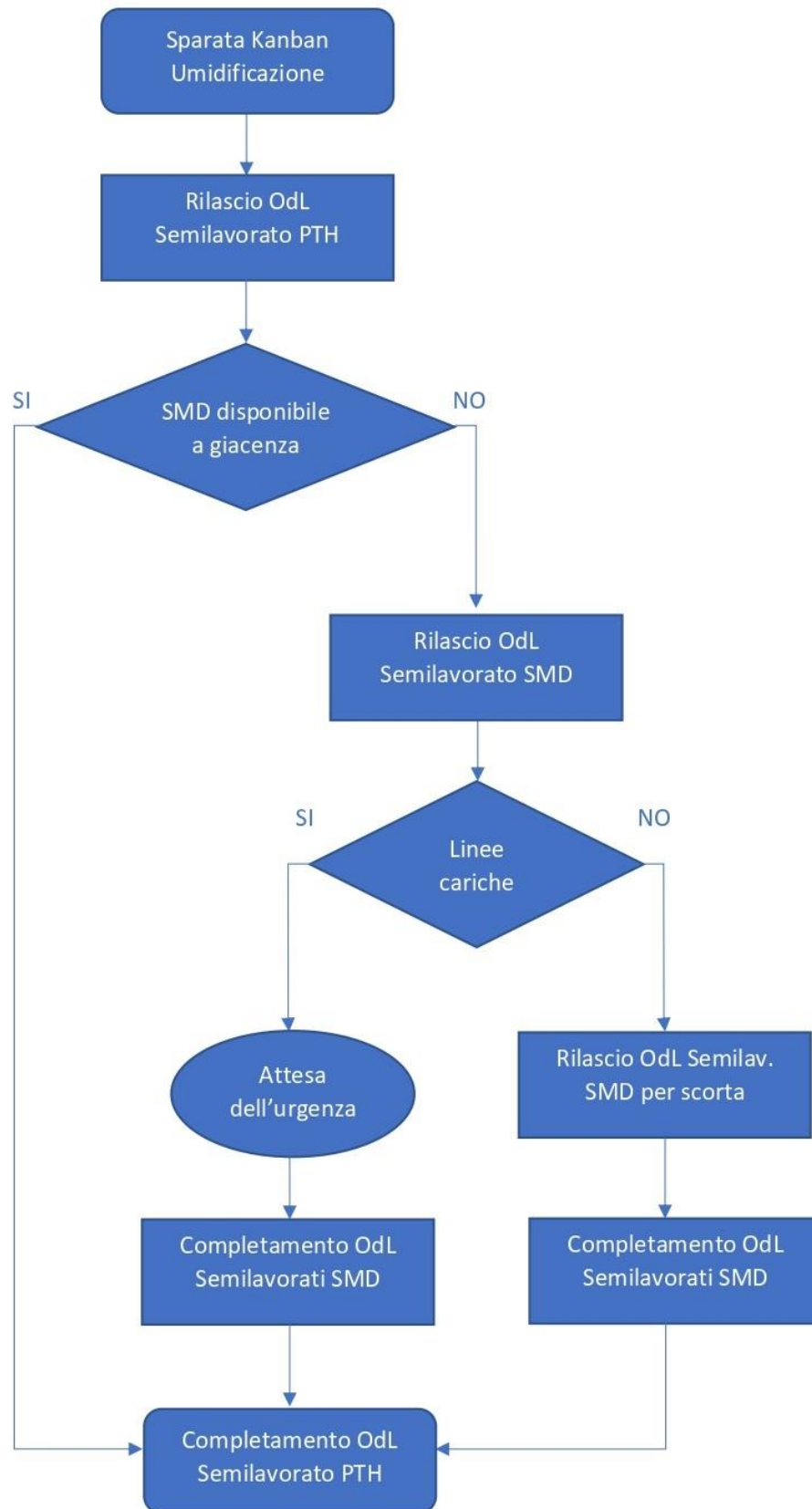


Figura 5.8 – Schema logico dei processi SMT e PTH per i semilavorati in analisi

### 5.2.3 I processi SMT e PTH: la Current State Map

A partire dalle informazioni riportate nei precedenti sotto-paragrafi è possibile realizzare la Current State Map dei processi SMT e PTH, con riferimento ai codici oggetto di analisi (figura 5.9); in figura 5.8 è riportata la legenda che guida alla lettura della mappa

È importante sottolineare come i tempi riportati nella mappa facciano riferimento a valori medi. Si precisa inoltre che nel tempo di set-up relativo alla fase di assemblaggio SMT è stato considerato anche il tempo di preparazione dei caricatori. Sebbene quest'attività rappresenti un set-up esterno, effettuabile a macchina funzionante, si è comunque deciso di darle evidenza per la sua elevata onerosità e per il fatto che la volontà di minimizzare quest'attività influenzi fortemente le politiche di lottizzazione dei semilavorati SMD.

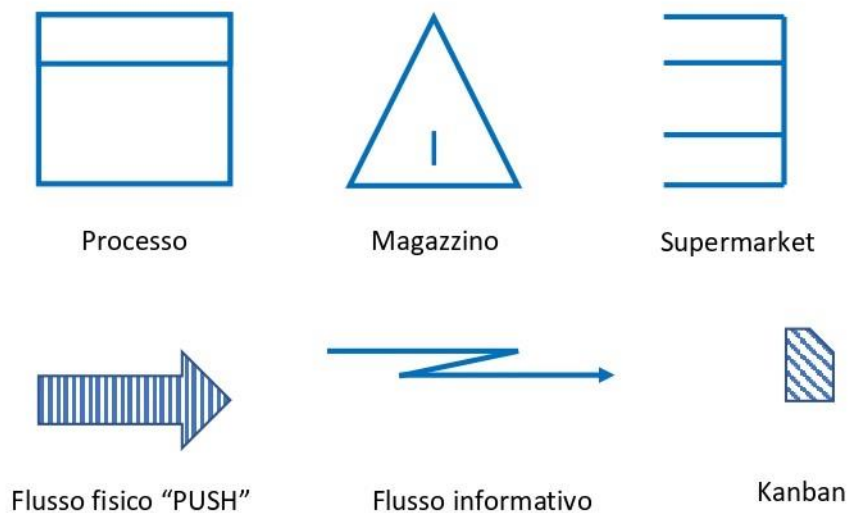


Figura 5.9 – Legenda Current State Map dei processi SMT e PTH

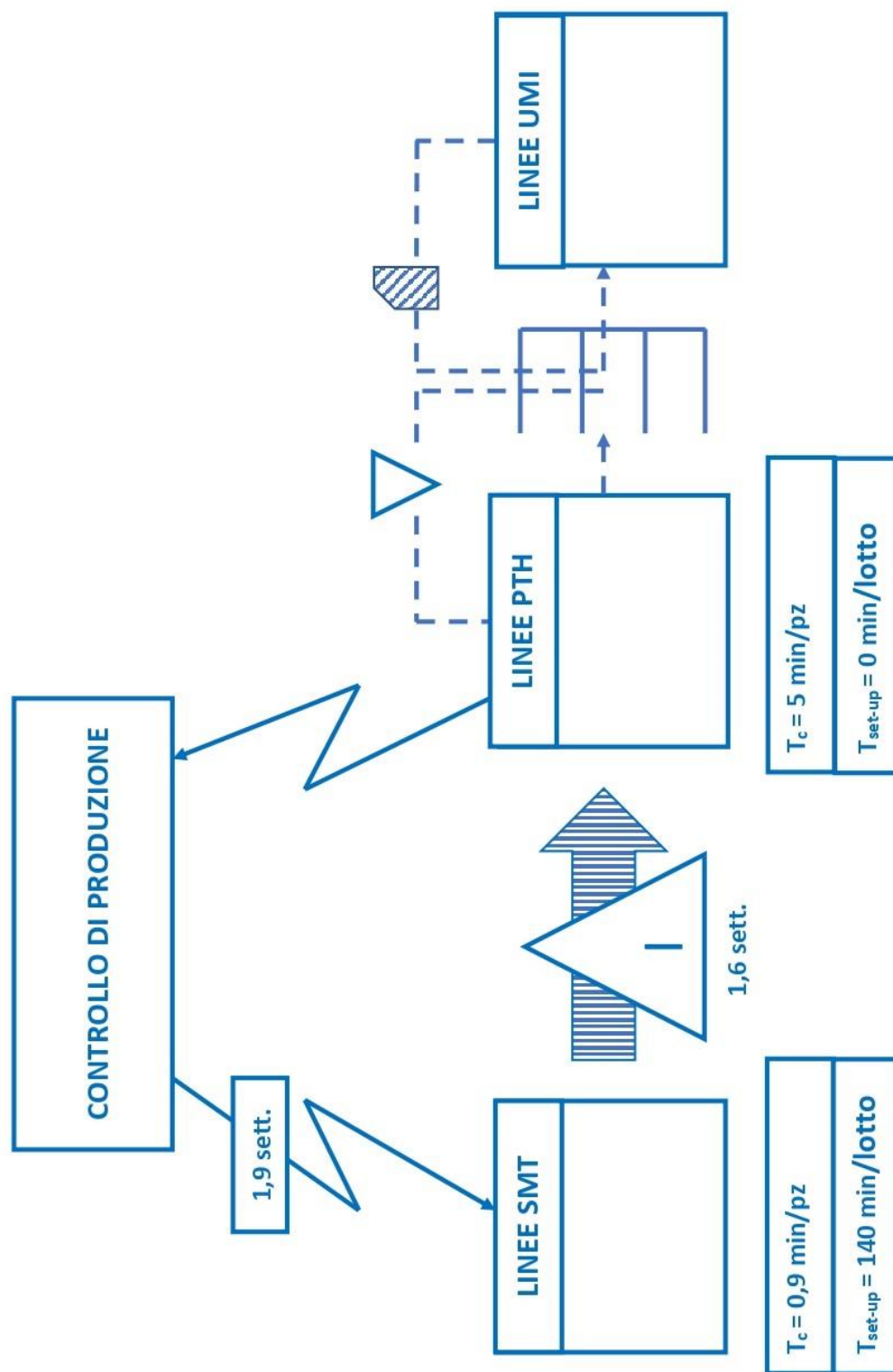


Figura 5.10 – Current State Map dei processi SMT – PTH per i semilavorati in analisi

Come si può notare, è stato inoltre calcolato il tempo medio intercorrente tra l'emissione di due lanci in produzione di semilavorati SMD (TBO – Time Between Orders), calcolato sulla base dei lanci in produzione avvenuti nell'ultimo anno:

$$TBO = \frac{N \text{ lanci in produzione}_{\text{anno}}}{N \text{ giorni lavorativi}_{\text{anno}}}$$

Accanto a questo dato è stata poi calcolata la quantità media ( $Q_{\text{media}}$ ) dei lotti lanciati in produzione (la quantità del singolo lotto è individuata dalla somma delle quantità degli OdL aventi la stessa data di inizio effettivo). La seguente tabella (tabella 5.3) riporta, per ogni semilavorato PTH, il relativo semilavorato SMD con i valori di TBO e  $Q_{\text{media}}$ .

Tabella 5.3 – TBO e  $Q_{\text{media}}$  dei semilavorati SMD oggetto di analisi

Semilavorato PTH	Semilavorato SMD	TBO (sett.)	$Q_{\text{media}}$ (pz)
98C743C001	98C743SD01	1,5	268,0
98C749C120	98C749SD121	2,9	93,4
98C743C004	98C743SD04	1,7	58,3
98C453C099	98C453SD99	2,1	62,3
98C714C001	98C714SD01	2,1	43,8
98C615C320	98C615SD03	1,8	105,3
98C615C323	98C639SD47	1,2	221,3

La mappatura effettuata ha permesso quindi di rilevare come l'intero processo sia fortemente influenzato dalla volontà di minimizzare le fasi di set-up relative all'assemblaggio SMT. Il lancio in produzione dei semilavorati SMD avviene così in lotti di grandi dimensioni, ottenute dall'”accorpamento” di più ordini di lavoro, tali da “giustificare” un set-up SMT; quest'esigenza risulta particolarmente stringente per i codici analizzati in quanto, essendo a set-up variabile, al set-up dei macchinari va ad aggiungersi l'onerosa attività di preparazione dei caricatori. Il fatto che questa attività di accorpamento degli OdL venga regolata esclusivamente dalla discrezionalità dello schedulatore fa sì che a periodi di elevata disponibilità di SMD (meno frequenti) si alternino periodi in cui il codice è mancante (più frequenti), generando i ritardi sulla produzione di semilavorati PTH, messi in risalto dai loro elevati Lead Time effettivi.

È chiaro quindi che il raggiungimento del valore target di 2 giorni, per quanto riguarda il lead time di ripristino dei semilavorati PTH, sia possibile solo andando a garantire una disponibilità costante di semilavorati SMD.

### 5.3 La gestione a scorta dei semilavorati SMD

La garanzia di disponibilità di semilavorati SMD, per i codici in analisi, è stata ottenuta tramite la variazione del metodo di approvvigionamento, passando da una gestione tradizionale ad una gestione a punto di riordino.

Il calcolo dei parametri necessari alla definizione del sistema è stato effettuato considerando, anche in questo caso, i valori di media ( $D$ ) e deviazione standard ( $\sigma_D$ ) della domanda su base settimanale, con riferimento alle transazioni di tipo Wip avvenute negli ultimi sei mesi.

La scelta della quantità di riordino  $Q$ , invece, è stata dettata dalla necessità di lanciare in produzione un lotto di dimensioni tali da giustificare un set-up SMT, eliminando così la pratica di accorpamento degli OdL. Si è pertanto deciso di impostare la quantità  $Q$  pari alla quantità media attualmente lanciata in produzione, ovvero:

$$Q = Q_{media}$$

Il valore di  $Q$  è stato poi modificato tenendo conto dei vincoli di lotto multiplo che devono essere rispettati per i codici in esame dal momento che, come già argomentato, i circuiti stampati su cui avviene l'assemblaggio SMT sono raggruppati in quadrotti, con l'attività di spaginatura che avviene solamente a valle della fase di assemblaggio. Le quantità  $Q$ , così definite, sono riportate in tabella 5.4.

Tabella 5.4 – Valori di  $Q$  per la gestione a punto di riordino dei codici SMD

Semilavorato SMD	Q media (pz)	Q (pz)
98C743SD01	268,0	240
98C749SD121	93,4	72
98C743SD04	58,3	58
98C453SD99	62,3	60
98C714SD01	43,8	40
98C615SD03	105,3	105
98C639SD47	221,3	220

Un'altra scelta importante per la corretta impostazione dei parametri del metodo è stata quella relativa al Lead Time su cui dimensionare il livello di riordino. Considerare l'attuale Lead Time di ripristino, ricavandolo da dati storici, avrebbe condotto ad un risultato fuorviante dal momento che l'attuale pratica di accorpamento degli OdL rende questi codici soggetti ad una forte irregolarità nei lanci in produzione.

La scelta effettuata, condivisa con gli schedulatori delle Value Stream interessate, è stata quella di considerare come nuovo Lead Time di ripristino (LT) l'EPEX della linea SMT in cui i codici vengono prodotti. L'EPEX è un parametro che indica in quanto tempo una linea può completare il mix di prodotti che vengono realizzati in essa ed è espresso dal rapporto fra il tempo di set-up necessario per produrre tutta la varietà di prodotti possibile e il tempo realmente a disposizione per fare questi set-up. Si può quindi ricavare dalla seguente formula<sup>9</sup>:

$$EPEX = \frac{\sum T_{set-up}}{(T_{disp} \cdot R_g)_{giornaliero} - (T_{lavoro})_{giornaliero}}$$

Dove:

$T_{set-up}$  = tempo di set-up

$R_g$  = rendimento globale della linea

$T_{disp}$  = tempo in cui la linea è disponibile a lavorare

$T_{lavoro}$  = tempo necessario per soddisfare la domanda giornaliera: pezzi richiesti per il relativo tempo ciclo

L'implementazione della gestione a punto di riordino è stata effettuata impostando a sistema, per i codici in questione, la gestione a Min Max dedicata ai semilavorati (paragrafo 3.3.2), con questa particolare impostazione dei parametri:

- Quantità massima = Quantità minima = Livello di riordino (R)
- Quantità ordine minima = Quantità di riordino (Q)

---

<sup>9</sup> Per i codici in questione il parametro EPEX non è stato calcolato, ma considerato pari al Lead Time fisso dal momento che, per standard Carel, il Lead Time fisso dei codici SMD deve essere posto pari all'EPEX della linea in cui vengono prodotti.

Si è detto di come tale gestione sia basata sulla copertura libera, per la quale il livello di riordino andrebbe impostato considerando la sola scorta di sicurezza. Tuttavia, dal momento che i codici padre di questi semilavorati risultano essere gestiti a Kanban, il sistema non ha visibilità sui fabbisogni futuri: l'OdL di semilavorato PTH che scarica la giacenza di semilavorato SMD viene rilasciato solo al momento della generazione del fabbisogno stesso, a valle della sparata Kanban. Sulla base di questa considerazione e del fatto che il sistema si basa su un controllo periodico della giacenza ( $T = 1$  giorno), il livello di riordino  $R$  è stato calcolato, coerentemente a quanto esposto nel terzo capitolo, come segue:

$$R = (LT + T) \cdot D + SS$$

Per quanto riguarda la scorta di sicurezza, la componente che fa fronte alle variazioni della domanda è stata calcolata con:

$$SS_D = k \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{LT + T}$$

in cui si è posto  $k=2$  (LS=97,7%).

Dal momento che il Lead Time di ripristino non è stato considerato su base storica, la componente che fa fronte alle variazioni del Lead Time non è stata considerata in maniera statistica ma, come nel calcolo dei cartellini Kanban, considerando un fattore di sicurezza del 10%:

$$SS_{LT} = 0,1 \cdot [(LT + T) \cdot D + SS_D]$$

La scorta di sicurezza complessiva è quindi data da:

$$SS = SS_D + SS_{LT}$$

Il sistema, quindi, andrà a rilasciare un ordine di lavoro di semilavorato SMD quando, al controllo della giacenza, rileverà un valore di copertura totale (scorta

fisica + ordini in sospeso) inferiore al livello di riordino R e la quantità dell'OdL rilasciato sarà pari a  $Q^{10}$ .

In figura 5.11 è riportato il foglio Excel utilizzato per lo svolgimento dei calcoli, con i relativi risultati.

CODICE SMD	D (pz./sett.)	$\sigma$ (pz./sett.)	Q (pz.)	T (sett.)	LT (sett.)	LT + T (sett.)	(LT+T)* D	$SS_D$	$SS_{LT}$	SS	R
98C743SD01	157,36	122,8455551	240	0,2	0,6	0,8	125,888	219,7528095	34,56408095	254,3168904	380
98C749SD121	58,4	40,98292327	72	0,2	1	1,2	70,08	89,7890862	15,98690862	105,7759948	176
98C743SD04	34,48	43,55421449	58	0,2	0,6	0,8	27,584	77,91214745	10,54961474	88,46176219	116
98C453SD99	25,8	23,33066651	60	0,2	0,6	0,6	15,48	36,14371315	5,162371315	41,30608446	57
98C714SD01	21,08	23,8460395	40	0,2	0,6	0,8	16,864	42,65709226	5,952109226	48,60920148	65
98C615SD03	54,28	39,15765059	105	0,2	0,6	0,8	43,424	70,04733485	11,34713349	81,39446834	125
98C639SD47	186,28	108,2421434	220	0,2	0,6	0,8	149,024	193,6294325	34,26534325	227,8947757	377

Figura 5.11- Foglio di calcolo utilizzato per il calcolo del livello di riordino

Una volta garantita la disponibilità di semilavorati SMD tramite la gestione a scorta si è potuto così procedere al dimensionamento del Kanban dei semilavorati PTH sul Lead Time Target di 2 giorni, che ha portato al seguente risultato (tabella 5.5).

Tabella 5.5 – Parametri gestione a Kanban per semilavorati PTH su un Lead Time di 2 giorni

PTH	Num. Cartellini	Quantità contenitore
98C743C001	5	40
98C749C120	3	12
98C743C004	4	15
98C453C099	3	10
98C714C001	3	12
98C615C320	3	20
98C615C323	3	20

<sup>10</sup> Il sistema andrà a rilasciare un OdL di una quantità tale da riportare la giacenza alla quantità massima impostata a sistema ma, dal momento che questa quantità è stata impostata pari al livello di riordino e la quantità ordine minima, pari a Q, è molto inferiore al consumo che avviene nel periodo di revisione della giacenza (T=1 giorno), la quantità dell'ordine sarà sempre pari a Q.



## 6 RISULTATI OTTENUTI E SVILUPPI FUTURI

L'obiettivo di questo capitolo è quello di riportare i risultati ottenuti con riferimento all'implementazione della gestione a scorta dei semilavorati SMD e successivo dimensionamento sul Lead Time Target dei semilavorati PTH. Vengono poi suggerite tre ulteriori proposte di miglioramento. Le prime due fanno riferimento ad una possibile estensione di quanto proposto all'intera popolazione di semilavorati e ad un certo numero di prodotti finiti con particolari caratteristiche; la terza indica la strada da percorrere per risolvere definitivamente la problematica dei ritardi dei semilavorati inter-Value Stream.

### 6.1 Risultati ottenuti

La gestione a punto di riordino dei semilavorati SMD, per come impostata, ha consentito di regolarizzare la pratica di accorpamento degli ordini di lavoro, non più lasciata alla discrezionalità dello schedatore. La creazione di una scorta di SMD rende sempre disponibili questi semilavorati per il lancio in produzione degli ordini di lavoro di semilavorati PTH, che possono così essere completati entro i due giorni sui quali è stato dimensionata la loro gestione Kanban. L'azione di miglioramento ha portato ad un'importante riduzione dei ritardi sulla fornitura dei semilavorati interessati, come si può notare da figura 6.1.

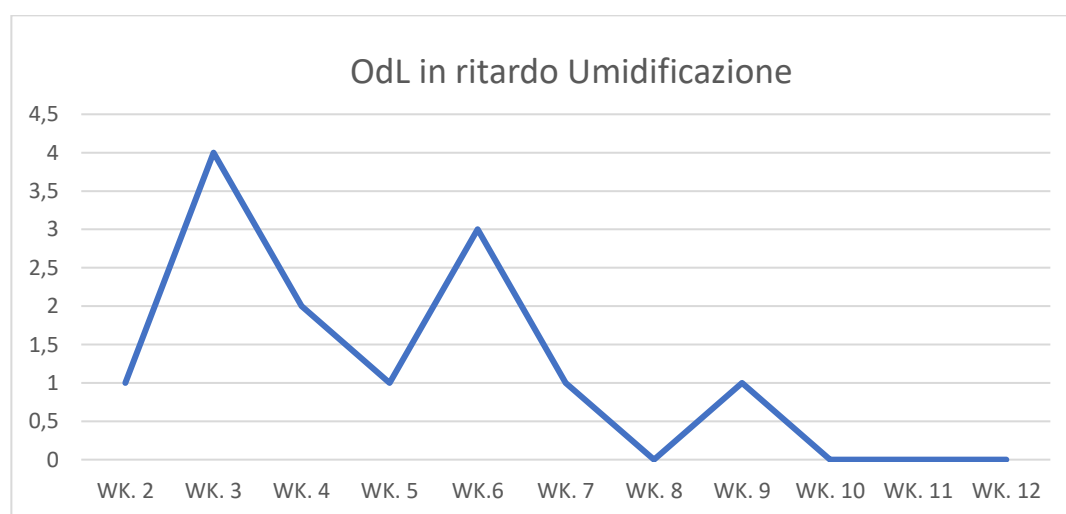


Figura 6.1 – Numero di OdL di prodotti finiti della VS Umidificazione completato in ritardo a causa della mancanza di un semilavorato a Kanban fornito da un'altra VS

Il grafico indica il dato relativo agli ordini di lavoro della Value Stream Umidificazione il cui completamento non è avvenuto entro la data schedulata a causa della mancanza di un semilavorato a Kanban fornito da un'altra Value Stream. L'implementazione delle nuove modalità di gestione per i codici interessati è avvenuta in Week 7 e, come si può notare, da tale istante il numero degli OdL completati in ritardo si riduce in maniera abbastanza evidente.

È chiaro che il dato riportato dal grafico rappresenta solamente la punta dell'iceberg di un fenomeno più ampio dal momento che, come precedentemente riportato (paragrafo 5.2.2), il ritardo di un ordine di lavoro di un prodotto finito a causa di un semilavorato mancante è anticipato da numerosi solleciti, con l'effettivo mancato completamento dell'OdL che avviene solo nel peggiore dei casi. Accanto a questo aspetto va poi considerato il fatto che, rimanendo non considerato il tasso di rispetto sugli ordini di lavoro di semilavorati, le Value Stream continueranno comunque a dare la precedenza agli ordini di lavoro di prodotti finiti. Tuttavia, la presenza di una scorta di SMD fa sì che, nel caso in cui si verifichi un sollecito da parte della Value Stream cliente per l'imminente mancanza di un semilavorato, si possa rispondere prontamente alla richiesta, potendo ora sfruttare la flessibilità delle linee PTH non più compromessa dalle lunghe attese sul completamento degli OdL di semilavorati SMD.

Un altro importante risultato da mettere in evidenza è quello legato alle conseguenze che il miglioramento ha avuto sui valori della giacenza media di semilavorati SMD e PTH.

Da un lato la gestione a scorta dei semilavorati SMD ha generato un incremento della giacenza media per questi codici, dall'altro il ridimensionamento del Kanban dei semilavorati PTH, sul valore target di due giorni, ha consentito di ridurre la Total Inventory gestita. Ciò che va considerato, inoltre, è il fatto che i semilavorati PTH hanno un valore unitario più elevato rispetto ai rispettivi semilavorati SMD, in quanto soggetti ad un'ulteriore attività di assemblaggio manuale. Nonostante ciò, valorizzando le giacenze medie dei semilavorati SMD e PTH analizzati, si è notato come il miglioramento proposto abbia condotto ad un incremento della giacenza totale, come dimostra il seguente grafico (figura 6.2).

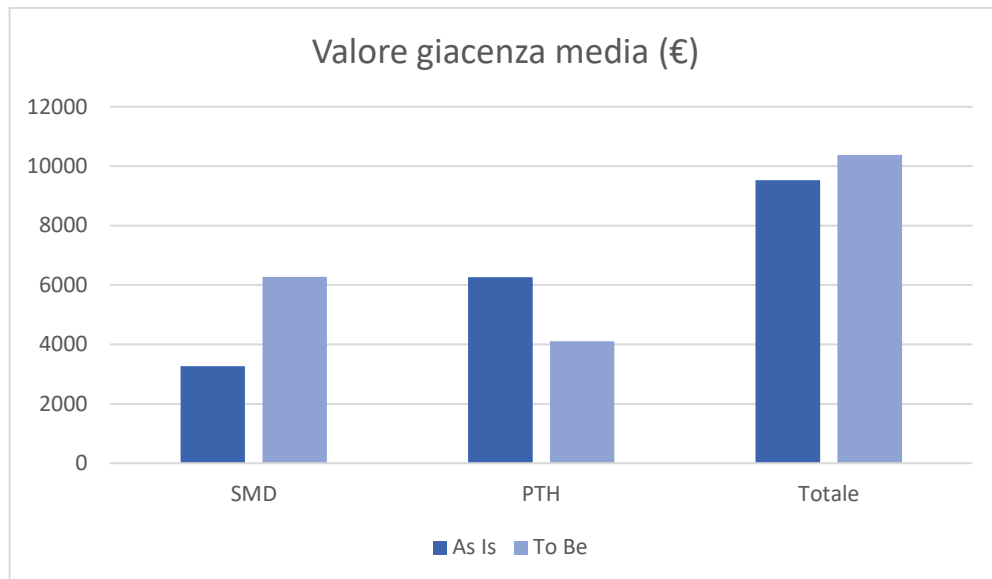


Figura 6.2 – Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra As Is e To Be

In tabella 6.1 sono riportati i valori su cui è basato il grafico. Essi rappresentano la somma delle giacenze medie valorizzate per cinque codici sui sette i analisi (si sono esclusi i semilavorati 98C615C320 e 98C615C323, con i relativi SMD, dal momento che essi non erano gestiti a Kanban prima dell’analisi). Si precisa che le giacenze medie, per i singoli codici, sono state calcolate come segue:

- Semilavorati SMD – As Is: estrazione del dato relativo alla giacenza media di questi codici nei 365 giorni antecedenti all’implementazione della nuova modalità di gestione;
- Semilavorati SMD – To Be: giacenza media prevista per la nuova gestione a punto di riordino, calcolata tramite la formula:  $\text{giacenza media} = SS + Q/2$ ;
- Semilavorati PTH – As Is: prodotto tra numero di cartellini Kanban e quantità di ciascun contenitore a monte dell’implementazione del miglioramento;
- Semilavorati PTH – To Be: prodotto tra numero di cartellini Kanban e quantità di ciascun contenitore ottenuti dal dimensionamento sul Lead Time Target di 2 giorni.

Tabella 6.1 - Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra As Is e To Be

Valore giacenza (€)	As Is	To Be
<b>SMD</b>	3266,944	6272,78
<b>PTH</b>	6264,598	4109,597
<b>Totale</b>	9531,541	10382,38

Il miglioramento proposto ha quindi causato, per i cinque codici, un incremento della giacenza totale di semilavorati PTH e relativi SMD pari a 850,83 €, il 9% della giacenza totale As Is.

Considerare esclusivamente questo risultato, tuttavia, risulterebbe fuorviante dal momento che, come si è ampiamente discusso, la situazione di partenza non poteva essere ritenuta accettabile per i frequenti ritardi causati sulla fornitura di questi semilavorati. La naturale conseguenza di una mancata implementazione del miglioramento proposto, quindi, non sarebbe stata il mantenimento dell'As Is, bensì il dimensionamento del Kanban dei semilavorati PTH sui Lead Time effettivi rilevati; il corretto benchmark su cui effettuare il confronto delle giacenze, pertanto, è rappresentato da quest'ultimo scenario (figura 6.3).

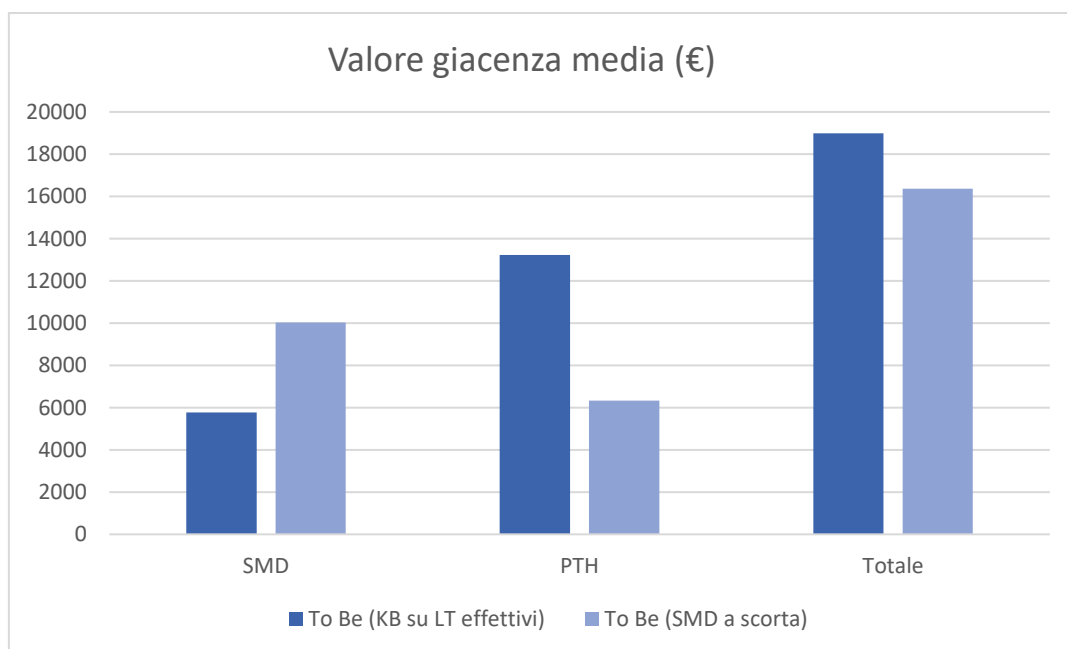


Figura 6.3 – Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra le possibili alternative di miglioramento

Anche in questo caso si riportano, in tabella 6.2, i dati su cui si basa il grafico. In questo caso, a differenza del precedente, è possibile includere nel confronto tutti e sette i semilavorati considerati.

Tabella 6.2 - Valorizzazione delle giacenze medie: confronto tra le possibili alternative di miglioramento

Valore giacenza (€)	To Be (KB su LT effettivi)	To Be (SMD a scorta)
<b>SMD</b>	5769,61936	10028,22306
<b>PTH</b>	13222,104	6336,3708
<b>Totale</b>	18991,72336	16364,59386

Ciò significa che, considerando tutti e sette i codici analizzati, l'implementazione del miglioramento proposto rispetto all'alternativa data dal mantenimento dell'attuale gestione dei semilavorati SMD e conseguente dimensionamento del Kanban PTH sui Lead Time in essere, ha consentito di ridurre di 2627,13 € l'investimento finanziario in scorte per questi semilavorati.

## 6.2 Sviluppi futuri

### 6.2.1 Estensione del miglioramento proposto all'intera popolazione di semilavorati inter-Value Stream

Il miglioramento proposto, come si è visto, ha generato un'importante riduzione dei ritardi sulla fornitura dei semilavorati a Kanban alla Value Stream Umidificazione. La bontà del risultato ottenuto, quindi, rende auspicabile l'estensione del miglioramento anche ai semilavorati utilizzati dalle altre Value Stream. Volendo indicare, anche in questo caso, il potenziale risparmio che si otterrebbe in termini di investimento finanziario in scorte, si può operare considerando i 52 codici utilizzati dalla Value Stream Umidificazione come un campione dell'intera popolazione di semilavorati inter-Value Stream. La somma delle giacenze medie valorizzate, per i codici dell'Umidificazione, ammonta a 21228,16 €, mentre lo stesso dato, riferito all'intera popolazione di semilavorati inter-Value Stream è pari a 339169,40 €. Nel caso dell'applicazione ai codici dell'Umidificazione, come si è detto, il risparmio individuato è pari a 2627,13 €; rapportando questo dato al valore della giacenza dell'intera popolazione si ottiene un risparmio potenziale di 41974,61 €. È chiaro che il ragionamento si basa sull'ipotesi, molto forte, che nell'intera popolazione vi sia una pari percentuale di codici, in termini di valore a giacenza, interessata al miglioramento (semilavorati PTH gestiti a Kanban) e che esso avvenga con la

stessa entità col quale è avvenuto nei codici del campione, ma il dato può comunque essere ritenuto indicativo per una prima grossolana stima.

### **6.2.2 Estensione del miglioramento proposto ai prodotti finiti gestiti a buffer stock**

Il miglioramento proposto, oltre che a ben adattarsi per una possibile estensione a tutti i semilavorati inter-Value Stream, può fornire anche un interessante spunto per il miglioramento della gestione dei codici di prodotto finito del reparto elettronica per i quali è previsto il mantenimento di un buffer stock.

La modalità di risposta al mercato di Carel è di tipo Assemble to Order (ATO), in cui l'assemblaggio dei prodotti finiti avviene solamente a valle dell'inserimento di un ordine da parte del cliente. Il lead time che può essere garantito tramite questa modalità di risposta, tuttavia, risulta essere inferiore rispetto a quello richiesto da alcuni clienti. Questi clienti generalmente rappresentano dei top-customer con i quali viene concordato, per l'appunto, il mantenimento di un buffer stock. L'assemblaggio dei prodotti finiti, in questo modo, avviene su previsione e rende possibile l'evasione degli ordini nelle tempistiche richieste; si può affermare che la modalità di risposta a questi clienti sia di tipo Make to Stock (MTS).

Con riferimento alla produzione elettronica, la gestione a scorta di questi prodotti finiti li rende soggetti a dinamiche del tutto analoghe a quelle analizzate per quanto riguarda la gestione a Kanban dei semilavorati PTH. Estendere il miglioramento proposto a questi codici comporterebbe, anche in questo caso, il disaccoppiamento della fase SMT dalla fase PTH grazie alla creazione di una scorta di semilavorati SMD, con conseguente riduzione del lead time sull'assemblaggio PTH dei prodotti finiti.

In questo caso, tuttavia, la riduzione del lead time potrebbe non tradursi solamente in una riduzione della quantità a stock di prodotti finiti. Infatti, qualora la riduzione sul lead time relativo all'assemblaggio PTH dei prodotti finiti fosse tale da renderlo inferiore al lead time richiesto dai clienti, sarebbe possibile pensare addirittura ad una totale eliminazione del buffer stock. In sostanza, lo stock si sposterebbe più a monte, andando a produrre i semilavorati SMD su previsione e completando l'assemblaggio PTH solo al momento dell'inserimento dell'ordine da parte del cliente. È chiaro che, rispetto all'applicazione del miglioramento ai semilavorati, il completo spostamento a monte della giacenza andrebbe a generare un notevole risparmio in termini di

investimenti finanziari in scorte. Questo risparmio potrebbe essere ancora maggiore se si considera che molti dei prodotti finiti gestiti in questo modo sono in realtà costituiti dallo stesso tipo di scheda elettronica, differenziandosi solamente per le plastiche a corredo. In questo caso, quindi, lo spostamento dello stock a monte, nella scorta di un unico codice SMD, equivarrebbe ad un processo di centralizzazione dei singoli buffer stock. Così facendo, la scorta di SMD può essere dimensionata sulla domanda aggregata; l'aggregazione della domanda fa sì che le fluttuazioni caratterizzanti le domande dei singoli prodotti finiti, dovute a fattori di natura casuale, si compensino, riducendo così la variabilità della domanda stessa. Il dimensionamento su una domanda con variabilità ridotta comporta, a parità di livello di servizio desiderato, una riduzione delle scorte di sicurezza e quindi una riduzione della scorta totale. In questo caso, quindi, il risparmio che si otterrebbe non sarebbe dovuto solamente ad una riduzione del valore dei codici a stock, ma anche da una riduzione della quantità a stock stessa. Le figure 6.4 e 6.5 riportano due schemi grafici per meglio comprendere quanto esposto in quest'ultimo caso; la prima fa riferimento alla situazione attuale, la seconda al cambiamento che si otterrebbe con l'applicazione del miglioramento proposto.

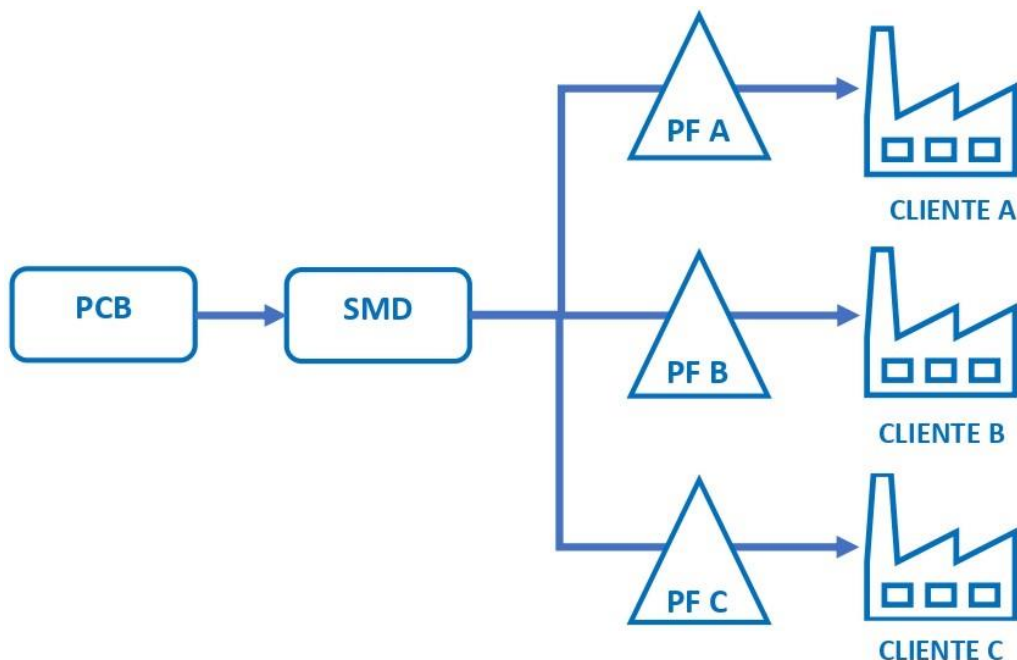
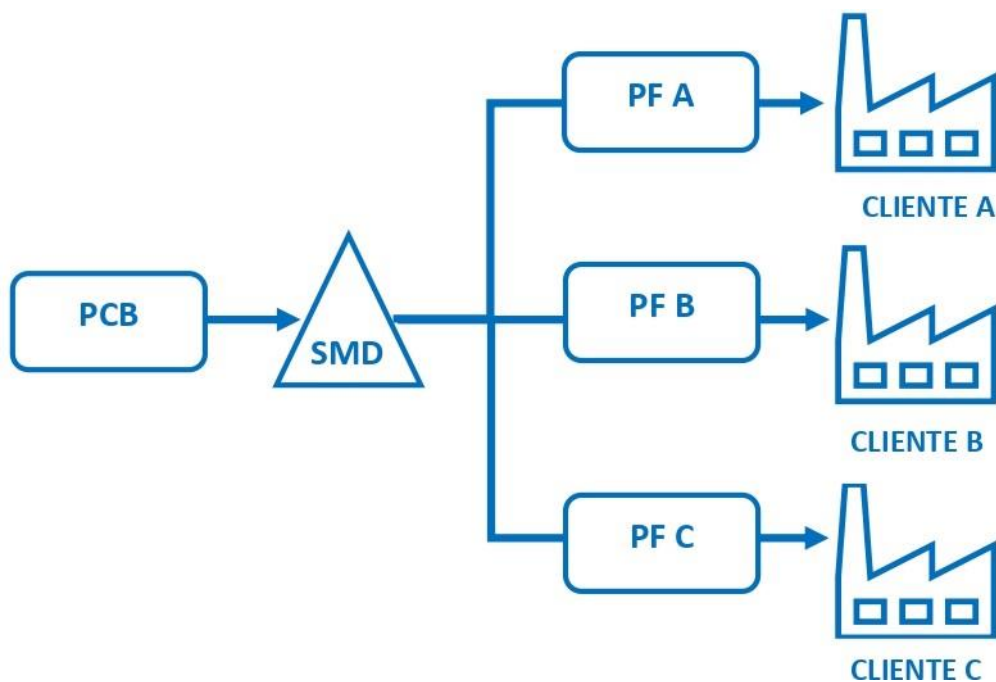


Figura 6.4 – Schema della gestione a Buffer Stock dei prodotti finiti



*Figura 6.5 – Schema della gestione a Buffer Stock a valle della possibile implementazione del miglioramento proposto*

### **6.2.3 Il KPI sul tasso di rispetto dei semilavorati**

L'implementazione del miglioramento proposto ha consentito di ridurre notevolmente il ritardo sulla fornitura dei semilavorati a Kanban nella Value Stream Umidificazione, ed è ragionevole pensare che una sua estensione a tutti i codici analoghi possa condurre a risultati equivalenti. Il risultato raggiunto, quindi, può considerarsi molto buono, specialmente in virtù del fatto che, come illustrato, il ritardo sulla fornitura di un semilavorato a Kanban possa generare grossi problemi alla Value Stream cliente. Nonostante ciò è evidente che, per come è stato presentato, il problema dei ritardi sulla fornitura dei semilavorati tra Value Stream non possa dirsi completamente risolto fino a che il lancio in produzione di questi codici non venga considerato alla stregua di un lancio in produzione di un prodotto finito.

In questo senso, la soluzione è inevitabilmente costituita dalla creazione di un KPI che monitori il tasso di rispetto degli ordini di lavoro sui semilavorati e sulla conseguente valutazione delle Value Stream sul raggiungimento di un determinato valore target per questo indicatore. Il presente lavoro di tesi ha permesso di evidenziare come questa esigenza sia particolarmente stringente e ha aperto la strada verso una sua futura implementazione.



In particolare, analizzando l'attuale foglio di calcolo utilizzato per determinare il tasso di rispetto sugli OdL di prodotti finiti si è rilevato come questo strumento, in realtà, sia già strutturato per il calcolo di un eventuale tasso di rispetto sugli OdL di semilavorati. Esso, infatti, è costituito da un foglio Excel in viene caricato, ogni giorno, il file .txt con i dati relativi agli ordini di lavoro del giorno precedente e, grazie all'esecuzione di una macro, il tasso di rispetto, per ogni Value Stream, viene calcolato come segue:

$$Tasso\ di\ rispetto\ OdL = \frac{Num.\ OdL\ Completati}{Num.\ OdL\ totali} \cdot 100$$

Il file presenta la possibilità di selezionare se riferire il calcolo ai soli OdL di prodotto finito, ai soli OdL di semilavorati o a tutti gli ordini di lavoro.

Si è inoltre riscontrato, tuttavia, come l'utilizzo di questo KPI, ad oggi, non sia possibile per quelle che sono le modalità di rilascio degli ordini di lavoro dei semilavorati a Kanban. Come si è visto, infatti, questi ordini di lavoro vengono rilasciati con date di inizio e completamento schedulato coincidenti con la data di rilascio, nonostante il loro completamento non sia effettivamente previsto per il giorno stesso, ma a seconda del lead time su cui il Kanban stesso è stato dimensionato. Ciò significa che, inevitabilmente, la maggior parte degli ordini di lavoro dei semilavorati a Kanban risulterebbe non rispettata, alterando in negativo il valore dell'indicatore. La soluzione, in questo senso, è costituita dall'apportare una modifica alla procedura di rilascio degli OdL dei codici a Kanban, facendo in modo che la data di completamento schedulata venga settata ad un numero di giorni dalla data di rilascio pari al lead time del codice. Tuttavia, si è appreso come la modifica, per essere attuata, richieda un importante intervento da parte dell'IT rappresentando un forte change rispetto agli standard di Oracle e pertanto non possa essere realizzata nell'immediato. È comunque importante sottolineare come, a conclusione di questo lavoro di tesi, si sia dato il via ad una serie di analisi di fattibilità per consentirne una futura implementazione.



## CONCLUSIONI

La problematica riscontrata è stata affrontata articolando il lavoro in tre fasi: l'individuazione dei codici interessati e la mappatura dei relativi flussi, la revisione dei metodi di approvvigionamento, l'ottimizzazione della gestione dei semilavorati PTH a Kanban utilizzati dalla Value Stream Umidificazione.

Le prime due fasi sono state fondamentali per inquadrare la problematica in essere e per “fare ordine” nella trascurata gestione di questi codici.

La terza fase, invece, ha consentito di ridurre drasticamente il ritardo sulla fornitura dei semilavorati a Kanban utilizzati dall'Umidificazione generando, peraltro, un risparmio in termini di giacenza.

Come discusso, è ragionevole pensare di poter estendere il miglioramento proposto per i codici dell'Umidificazione anche ai semilavorati con caratteristiche analoghe utilizzati da altre Value Stream, ottenendo risultati altrettanto soddisfacenti. Tuttavia, è importante sottolineare, ancora una volta, come una completa soluzione del problema non si avrà fino a che il lancio in produzione dei semilavorati destinati ad essere utilizzati in altre Value Stream non verrà considerato di pari importanza rispetto al lancio in produzione dei prodotti finiti. In questo senso, come suggerito, la strada da percorrere è quella dell'implementazione di un KPI sul tasso di rispetto dei semilavorati su cui poter valutare le singole Value Stream, al pari di quanto accade per i prodotti finiti.



## **BIBLIOGRAFIA**

Camuffo A., 2014, *L'arte di migliorare. Made in Lean Italy per tornare a competere*, Marsilio

De Toni A., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di gestione della produzione*, ISEDI

Romano P., 2009, *Gestione dei materiali nelle operations*, Cedam

Slack N., Brandon-Jones A., Johntston R., Betts A., Vinelli A., Romano P., Danese P., 2013, *Gestione delle operations e dei processi*, Pearson



## **SITOGRAFIA**

<https://www.carel.it/>

<http://www.ilnorddestquotidiano.it/2018/11/28/la-padovana-carel-industries-acquisisce-recuperator-spa/>

<https://www.venetoeconomia.it/2018/12/carel-hygromatik/>

<http://www.leanmath.com/blog-entry/every-part-every-interval-epei>

[https://www.electronics-notes.com/articles/electronic\\_components/surface-mount-technology-smd-smt/what-is-smt-primer-tutorial.php](https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/surface-mount-technology-smd-smt/what-is-smt-primer-tutorial.php)