

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di laurea

**Studio dei sistemi di parts feeding alle linee di assemblaggio e
presentazione di un possibile modello per la selezione della politica di
parts feeding ottimale. Il caso aziendale Samo S.p.A.**

**Relatore
Ch. mo Alessandro Persona**

**Laureando
Alessandro Secco**

Anno accademico 2021-2022

INDICE

<i>INTRODUZIONE</i>	9
<i>CAPITOLO 1: Introduzione ai sistemi di parts feeding alle linee di assemblaggio</i>	11
1.1. <i>Struttura del sistema di parts feeding</i>	11
1.1.1. <i>Stoccaggio delle parti</i>	12
1.1.2. <i>Trasporto delle parti</i>	19
1.1.3. <i>Politiche di parts feeding</i>	21
1.2. <i>Rassegna dalla letteratura delle politiche di parts feeding</i>	22
1.2.1. <i>Stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	23
1.2.1.1. <i>“Pallet to workstations”</i>	24
1.2.2. <i>Kitting</i>	26
1.2.2.1. <i>“Trolley to workstations”</i>	28
1.2.2.2. <i>“Kit to assembly line”</i>	29
1.2.3. <i>Feeding a kanban (“kanban-based feeding”)</i>	31
1.2.4. <i>Feeding ibrido</i>	32
1.3. <i>Confronto delle politiche di parts feeding</i>	33
<i>CAPITOLO 2: Modello quantitativo a supporto dell’assegnazione della politica di parts feeding ottimale per ciascun tipo di parte</i>	37
2.1. <i>Ipotesi di modellizzazione e notazione</i>	38
2.2. <i>Calcolo del costo marginale della forza lavoro</i>	40
2.2.1. <i>Politica di kitting</i>	40
2.2.2. <i>Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	42
2.2.3. <i>Politica di feeding a kanban (JIT)</i>	43
2.3. <i>Calcolo del costo marginale di investimento</i>	44
2.3.1. <i>Politica di kitting</i>	44
2.3.2. <i>Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	44
2.3.3. <i>Politica di feeding a kanban (JIT)</i>	45
2.4. <i>Calcolo del costo marginale di mantenimento dei WIP</i>	46
2.4.1. <i>Politica di kitting</i>	46
2.4.2. <i>Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	46
2.4.3. <i>Politica di feeding a kanban (JIT)</i>	46
2.5. <i>Calcolo del costo marginale di occupazione dello spazio</i>	47
2.5.1. <i>Politica di kitting</i>	47
2.5.2. <i>Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	47
2.5.3. <i>Politica di feeding a kanban (JIT)</i>	48
2.6. <i>Calcolo del costo marginale di correzione degli errori</i>	48
2.6.1. <i>Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)</i>	48
2.6.2. <i>Politica di feeding a kanban (JIT)</i>	50
2.7. <i>Modello di ottimizzazione</i>	51
2.8. <i>Analisi di sensitività e analisi parametrica</i>	52
2.8.1. <i>Analisi di sensitività</i>	53

2.8.2. <i>Analisi parametrica</i>	60
2.9. <i>Discussione e limitazioni del modello</i>	64
<i>CAPITOLO 3: Caso studio aziendale Samo S.p.A.</i>	67
3.1. <i>Presentazione dell'azienda</i>	67
3.1.1. <i>Mission e valori aziendali</i>	67
3.1.2. <i>Storia del Gruppo Samo Industries</i>	68
3.1.3. <i>Sedi e stabilimenti</i>	69
3.1.4. <i>Marchi del gruppo</i>	71
3.2. <i>Presentazione del progetto Samo</i>	72
3.2.1. <i>Analisi del layout attuale</i>	74
3.2.2. <i>Analisi degli attuali processi produttivi e delle relative criticità</i>	74
3.2.3. <i>Studio delle isole di lavoro e individuazione del nuovo modello produttivo</i> 81	
3.2.4. <i>Studio del feeding</i>	86
3.2.5. <i>Definizione del nuovo layout</i>	89
3.2.6. <i>Implementazione dei sistemi WMS/MES</i>	90
<i>CONCLUSIONI</i>	95
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	97
<i>SITOGRAFIA</i>	103

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1</i> Struttura del sistema di parts feeding.....	11
<i>Figura 2</i> I sottocomponenti dello “stoccaggio delle parti”	12
<i>Figura 3</i> Esempio di scaffalatura a ripiani a semplice profondità (dal catalogo della Bizzotto Scaffalature)	15
<i>Figura 4</i> Costi delle attività condotte in un magazzino.....	19
<i>Figura 5</i> I sottocomponenti del “trasporto delle parti”.....	20
<i>Figura 6</i> I sottocomponenti delle “politiche di parts feeding”	22
<i>Figura 7</i> Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)	23
<i>Figura 8</i> Euro Pallet ISO 1	25
<i>Figura 9</i> Politica “pallet to workstations”	26
<i>Figura 10</i> Politica di kitting (con “travelling kits”)	27
<i>Figura 11</i> Politica “trolley to workstations”	29
<i>Figura 12</i> Politica “kit to assembly line”	30
<i>Figura 13</i> Politica di feeding a kanban.....	31
<i>Figura 14</i> Grafico della classificazione ABC.....	33
<i>Figura 15</i> Schema degli errori in una politica di “line-side stocking”	48
<i>Figura 16</i> Schema degli errori in una politica JIT	50
<i>Figura 17</i> Costo totale di feeding vs costo unitario della parte.....	55
<i>Figura 18</i> Costo totale di feeding vs volume unitario della parte.....	56
<i>Figura 19</i> Costo totale di feeding vs peso unitario della parte.....	57
<i>Figura 20</i> Costo totale di feeding vs dimensioni del container.....	58
<i>Figura 21</i> Costo totale di feeding vs costo unitario della parte.....	58
<i>Figura 22</i> Costo totale di feeding vs volume unitario della parte.....	59
<i>Figura 23</i> Costo totale di feeding vs peso unitario della parte.....	59
<i>Figura 24</i> Costo totale di feeding vs dimensioni del container.....	59
<i>Figura 25</i> Mappatura della politica di feeding al minor costo nello “spazio delle caratteristiche delle parti” considerato	61
<i>Figura 26</i> Mappatura della politica di feeding al minor costo nello scenario considerato per le parti di tipo C (D = domanda giornaliera; C_{oh} = costo orario operatori; cd = costo specifico di mantenimento unitario).....	62
<i>Figura 27</i> Mappatura della politica di feeding al minor costo nello scenario considerato per le parti di tipo D	63
<i>Figura 28</i> Stabilimento di Bonavigo (VR)	69
<i>Figura 29</i> Stabilimento di Roverchiara (VR)	70
<i>Figura 30</i> Stabilimento di Pagazzano (BG)	70
<i>Figura 31</i> Il marchio di Samo	71
<i>Figura 32</i> Il marchio di inda	71
<i>Figura 33</i> Il marchio di Lineabeta	72
<i>Figura 34</i> Il marchio di Siro.....	72
<i>Figura 35</i> Layout attuale.....	74
<i>Figura 36</i> Layout attuale isola B01.....	75
<i>Figura 37</i> Isola B01.....	76
<i>Figura 38</i> Layout attuale isola B08.....	77
<i>Figura 39</i> Task di assemblaggio nell’isola B08.....	78
<i>Figura 40</i> Studio di “real time monitoring” sull’isola B06.....	79

<i>Figura 41 Task di assemblaggio nell'isola B06</i>	79
<i>Figura 42 Studio di "real time monitoring" sul reparto sacchetti/premontaggi</i>	80
<i>Figura 43 Studio di "real time monitoring" nel reparto vetri</i>	80
<i>Figura 44 Posizionamento della minuteria sotto il banco di lavoro (situazione as-is)</i> .	81
<i>Figura 45 Posizionamento della minuteria in cassette poste dietro il banco di lavoro (situazione as-is)</i>	82
<i>Figura 46 Posizionamento dei profili lunghi nell'intorno dell'isola di lavoro</i>	82
<i>Figura 47 Posizionamento delle lastre di vetro nelle vicinanze del banco di lavoro</i>	83
<i>Figura 48 Rastrelliere PF</i>	84
<i>Figura 49 Isole di lavoro allo stato futuro desiderato to-be</i>	85
<i>Figura 50 Carrellini minuteria</i>	88
<i>Figura 51 Carrellini profili lunghi</i>	88
<i>Figura 52 Ceste vetri</i>	89
<i>Figura 53 Layout futuro</i>	90
<i>Figura 54 Logica di un'azienda di tipo MTS</i>	91
<i>Figura 55 Modello logistico coperto e integrato dal software dipartimentale</i>	93
<i>Figura 56 Integrazione della soluzione software proposta</i>	94

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 Esempio di un ordine cliente</i>	16
<i>Tabella 2 Confronto delle performance delle politiche di parts feeding</i>	35
<i>Tabella 3 Rassegna letteraria sullo stato dell'arte nella tematica del parts feeding</i>	36
<i>Tabella 4 Valori nominali delle caratteristiche delle parti di tipo A e di tipo B</i>	53
<i>Tabella 5 Valori dei parametri del modello</i>	54
<i>Tabella 6 Valori nominali delle caratteristiche delle parti per l'analisi dello scenario economico</i>	62
<i>Tabella 7 Confronto economico delle politiche di feeding</i>	64
<i>Tabella 8 Confronto qualitativo delle performance delle politiche di feeding considerate</i>	65
<i>Tabella 9 Dati su produzione annua</i>	73
<i>Tabella 10 Studio di "real time monitoring" sull'isola B01</i>	76
<i>Tabella 11 Fabbisogni di materiali</i>	80
<i>Tabella 12 Analisi dati di feeding alle isole di assemblaggio (1 gg rappresentativo) ...</i>	86
<i>Tabella 13 Analisi dati di feeding al reparto premontaggi (1 gg rappresentativo)</i>	87
<i>Tabella 14 Analisi dati di feeding al reparto sacchetti (1 gg rappresentativo)</i>	87

INTRODUZIONE

Quando si trattano i sistemi di assemblaggio, una delle tematiche maggiormente impattanti sull'efficienza e flessibilità di questi è rappresentata dalla struttura dei sistemi di parts feeding, letteralmente i sistemi di alimentazione delle parti/componenti alle linee di assemblaggio.

Questa struttura include al suo interno una vasta gamma di processi, a partire innanzitutto dalle modalità con le quali si immagazzinano le parti, fino alle logiche con le quali queste sono prelevate e infine consegnate ai vari punti di utilizzo, rappresentati dalle workstations delle linee di assemblaggio.

Specialmente in epoca moderna, dove il mercato sta virando verso una sempre maggiore personalizzazione dei prodotti per far fronte alla crescente competizione tra le aziende in cerca di un vantaggio competitivo, diventa fondamentale rendere i propri sistemi di parts feeding efficienti e flessibili, in modo da ridurre il più possibile il lead time, ovvero l'intervallo di tempo che intercorre tra la ricezione di un ordine e il suo soddisfacimento.

Nel corso di questa tesi verranno innanzitutto esplorate dalla letteratura le principali logiche di parts feeding che le aziende hanno a loro disposizione, per poi analizzare un possibile modello quantitativo decisionale, trovato in letteratura, che fornisca supporto ai decisori aziendali per supportare l'assegnazione della politica di parts feeding ottimale per ciascun tipo di parte.

Infine, nella parte conclusiva della tesi verrà presentato il caso aziendale della Samo S.p.A., azienda di Bonavigo (VR) specializzata in produzione di cabine docce e altri accessori per l'arredobagno, nella quale il sottoscritto ha effettuato il tirocinio formativo.

In questa parte, dopo una prima presentazione del contesto e del business dell'azienda, verrà approfondito il progetto avviato verso novembre 2021 e in collaborazione con l'Università di Padova nel quale viene progettato un nuovo sistema produttivo dello stabilimento centrale di Bonavigo (VR) per tener conto delle nuove condizioni di mercato emerse e ormai dominanti negli ultimi anni.

CAPITOLO 1: Introduzione ai sistemi di parts feeding alle linee di assemblaggio

Quando parliamo di sistemi di assemblaggio, una delle tematiche cardine, che più di altre riesce ad impattare sull'efficienza e sulla flessibilità di questi, è rappresentata dalla struttura dei sistemi di parts feeding.

Questa struttura include al suo interno una vasta gamma di processi, a partire innanzitutto dalle modalità con le quali si immagazzinano le parti, fino alle logiche con le quali queste sono prelevate e consegnate ai vari punti di utilizzo, rappresentati per l'appunto dalle workstations delle linee di assemblaggio.

Come affermano (Choi & Lee, 2002), infatti, il parts feeding, letteralmente l'alimentazione delle parti dalle aree di stoccaggio alle workstations, è controllato dalle componenti dei sistemi di feeding, le quali verranno illustrate nel corso di questo Capitolo.

Questo tema è di fondamentale importanza specialmente nei sistemi di assemblaggio/produzione su ordine (ATO & MTO), nei quali il lead time, ossia l'intervallo di tempo che intercorre tra la ricezione dell'ordine e il suo soddisfacimento, deve essere il più basso possibile, in modo che l'azienda in questione riesca a essere veloce e soprattutto flessibile nell'accontentare il cliente.

Negli ultimi tempi, infatti, come sostenuto da (Battini et al., 2009), la produzione/assemblaggio si sta rendendo, anche in virtù della competizione in costante aumento tra le aziende, sempre più personalizzata e rivolta al cliente, anche grazie ai progressi raggiunti nelle tecnologie usate per la produzione e gestione dell'informazione aziendale.

In questo contesto, quindi, diventa così possibile assemblare o realizzare prodotti specificatamente in risposta a determinate richieste da parte di clienti o rivenditori. Come conseguenza di tale personalizzazione, diventa particolarmente cruciale la progettazione dell'intero sistema di parts feeding con il quale verrà fatto funzionare l'impianto produttivo, che deve tenere conto di diversi aspetti che verranno approfonditi nel corso di questo capitolo.

1.1. Struttura del sistema di parts feeding

Come mostrano (Kilic & Durmusoglu, 2015) in Figura 1, questo "parts feeding system" si compone di tre componenti principali, ovvero:

- stoccaggio delle parti
- trasporto delle parti
- politica di parts feeding

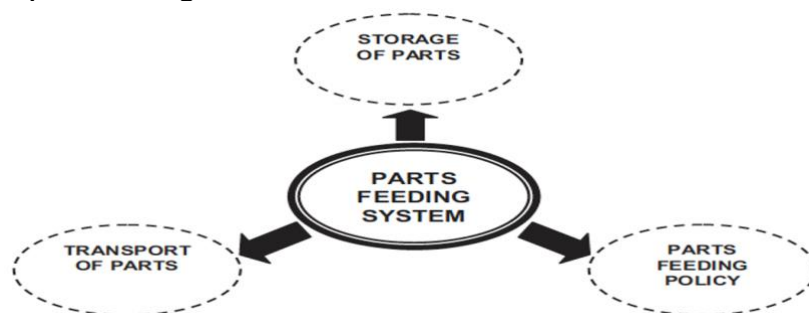


Figura 1 Struttura del sistema di parts feeding

Sempre (Kilic & Durmusoglu, 2015) sottolineano a più riprese come queste tre componenti non si devono considerare indipendenti le une dalle altre perché, al contrario, si influenzano a vicenda.

Le logiche con le quali si immagazzinano i componenti e anche le attrezzature necessarie per la loro movimentazione, infatti, possono cambiare a seconda della politica di feeding adottata.

Ad esempio, se si applica una politica di feeding basata sui principi della lean production, questa può richiedere l'utilizzo di un treno con rimorchio come veicolo per la movimentazione dei materiali richiesti, oltre a un'area di stoccaggio decentralizzata come tipologia di stoccaggio.

Approfondendo in letteratura queste tre componenti prese singolarmente, ci si può accorgere di come esista un notevole gap, a livello di studi condotti, tra le politiche di parts feeding e le altre due componenti.

In questa sezione verranno dapprima analizzate queste tre componenti una ad una in modo da avere un quadro generale di riferimento, per poi entrare nel dettaglio sulle politiche di parts feeding, le quali rivestono un ruolo fondamentale nella tematica presa in esame.

1.1.1. Stoccaggio delle parti

Per quanto riguarda questo 1° componente di un sistema di parts feeding, come illustrano (Kilic & Durmusoglu, 2015) in Figura 2, questo si esplicita a sua volta in quattro sottocomponenti, ovvero:

- Tipologia di stoccaggio
- Politica di stoccaggio
- Accessori per lo stoccaggio
- Metodi e politiche di prelievo dei componenti

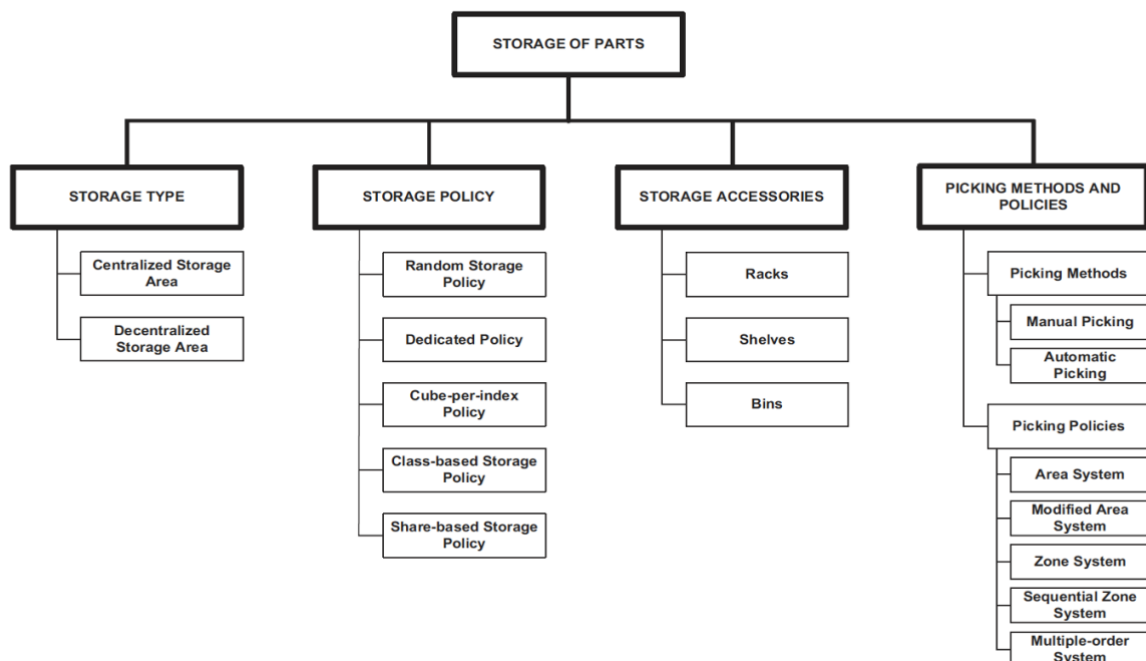


Figura 2 I sottocomponenti dello "stoccaggio delle parti"

Partendo dalla tipologia di stoccaggio (1° sottocomponente), sono disponibili 2 possibili alternative:

- Stoccaggio centralizzato
- Stoccaggio decentralizzato

La differenza tra le due risiede nel fatto che, a differenza della centralizzazione nella quale si riconosce un'unica area di stoccaggio, nell'opzione di decentralizzazione sono comprese molteplici aree di stoccaggio.

In letteratura troviamo numerosi studi che approfondiscono il confronto tra queste due alternative, come ad esempio quello di (Satoglu et al., 2006), nel quale, ai fini decisionali, vengono considerati aspetti quali la movimentazione dei materiali, il costo del lavoro, il controllo delle scorte e il lead time.

In particolare, le scelte di centralizzazione/decentralizzazione dei magazzini e relativa ubicazione rivestono una notevole importanza, poiché hanno un grande impatto sui costi a livello globale.

Come sostenuto in uno studio di (Battini et al., 2009), si tratta di valutare dei trade-off tra le due opzioni. Infatti, in caso di immagazzinamento delle parti nelle prossimità delle workstations (stoccaggio decentralizzato), ne consegue una fornitura rapida da cui si ha una riduzione al minimo dei costi di interruzione dell'assemblaggio dovuti alla mancanza delle parti necessarie, ma come controparte si genera anche un aumento dei livelli di scorta delle parti che potrebbe comportare un aumento dei costi di inventario. Al contrario, in caso di un'unica area di stoccaggio (stoccaggio centralizzato) o di un basso numero di aree di stoccaggio, si consente allo stesso magazzino di poter servire diverse workstations, riducendo lo stock medio di componenti (scorte di sicurezza) e liberando così più spazio nelle prossimità delle linee di assemblaggio. Ovviamente, questo tipo di opzione richiede anche tempi più lunghi di approvvigionamento e di rifornimento alle stazioni.

In letteratura sono stati sviluppati diversi modelli per calcolare il grado ottimale di centralizzazione/decentralizzazione all'interno dell'impianto industriale, e di conseguenza l'identificazione del numero e delle locazioni delle aree di stoccaggio delle parti sono state oggetto di molte discussioni.

In particolare, come affermato sempre da (Battini et al., 2009), la corretta scelta su questa tematica consente la minimizzazione dei costi di occupazione a livello globale e, quando risulta essere compatibile con una corretta politica di gestione dei materiali, consente ai sistemi di assemblaggio di essere allo stesso tempo flessibili ed efficienti. Già da queste semplici considerazioni si può intuire come questa tematica debba essere coinvolta all'interno di un quadro più ampio, comprendente anche le modalità di movimentazione delle parti e le politiche di asservimento alle linee, ovvero le altre due componenti del sistema di parts feeding.

Oltre alla tipologia, anche la relativa politica di stoccaggio (2° sottocomponente) è altrettanto importante nei sistemi di parts feeding.

Come affermato da (Heragu, 2018) e mostrato anche in Figura 2, esistono 5 tipi principali di politiche di stoccaggio, ma in seguito ci si concentrerà sulle tre politiche principali nonché le più riconosciute ed utilizzate, ovvero:

- Politica di stoccaggio random (“*random storage policy*”)
- Politica di stoccaggio a postazione fissa (“*dedicated storage policy*”)
- Politica di stoccaggio per classi (“*class-based storage policy*”)

La politica di stoccaggio random (“*random storage policy*”) consiste nel posizionare la referenza (SKU) in questione nella prima postazione vuota che si trova nel magazzino. Si tratta di una casistica che si presta bene con merce omogenea molto usata ad esempio nei magazzini automatici nei quali c’è tutta merce che si muove molto. La problematica è relativa al fatto che, con questa logica, i posti più comodi possono essere occupati o da merce che vi rimane a lungo o al contrario che viene prelevata e movimentata subito, ma in ogni caso nel lungo periodo si riempie di merce a basso indice di movimentazione, costringendo dunque le merci più movimentate a essere stoccate in postazioni più scomode, con un conseguente aumento del tempo di prelievo ed immissione.

Nella politica di stoccaggio a postazione fissa (“*dedicated storage policy*”), viene invece assegnata a ciascuna referenza un posto fisso che rimarrà tale per sempre, sulla base della giacenza massima di ciascuna SKU immagazzinabile nel magazzino, e derivante dai dati storici a disposizione.

Il vantaggio risiede nel fatto che la posizione di una determinata referenza è nota con certezza. Come controparte, ci sono una serie di svantaggi, tra i quali innanzitutto gli elevati tempi per trovare i materiali, dopodiché il fatto che in un generico momento si potrebbe essere nella condizione per cui ci potrebbero essere diverse allocazioni vuote, nel caso in cui le referenze non siano a magazzino nella loro giacenza massima, e come ultimo punto la necessità di disporre di un magazzino molto grande in grado di contenere tutte le giacenze massime di tutte le referenze. Il consiglio, infatti, è quello di rivedere la mappatura del magazzino ogni 6 mesi circa.

Infine, secondo la politica di stoccaggio per classi (“*class-based storage policy*”), si assegna una classe specifica ad ogni referenza sulla base dell’indice di accesso I_A di ciascuna SKU, e per ogni classe si attua una gestione random dei vari codici contenuti al suo interno.

Il decisore dovrà innanzitutto determinare il numero di classi (solitamente 2 o 3), dopodiché dovrà determinare come suddividere il magazzino in funzione delle classi, con l’obiettivo di ottimizzare le classi in modo da avere un $T_{A \text{ medio}}$ (tempo medio di accesso) minimo.

Ad esempio, nell’ipotesi di 2 classi, un articolo con un alto I_A dovrà essere collocato nella cosiddetta fascia rossa, ovvero nella classe contenente quelle SKU molto movimentate che andranno collocate nel magazzino in posizioni facili da raggiungere (cioè a basso tempo di accesso T_A), mentre al contrario le merci a basso I_A saranno da collocare in fascia verde, ovvero quella classe contenente le SKU poco movimentate e quindi collocabili in posizioni difficili da raggiungere (ad alto T_A).

I vantaggi di questa opzione risiedono nel fatto che si ha un miglior riempimento, con i vantaggi della soluzione random senza le relative problematiche.

Il 3° sottocomponente è rappresentato dagli accessori per lo stoccaggio, ovvero tutte le attrezzature necessarie utilizzate nello stoccaggio, ovvero:

- Scaffalature (“*racks*”)
- Ripiani (“*shelves*”)
- Contenitori/bidoni (“*bins*”)

Una scaffalatura¹ non è altro che un progetto strutturale in acciaio costituito da travi, montanti e traverse, utilizzato per lo stoccaggio delle merci nei magazzini.

La tipologia di magazzino per UDC più comunemente utilizzata dalle aziende, infatti, è proprio il magazzino tradizionale con scaffalature a ripiani a semplice profondità, il quale riesce a garantire accesso diretto alle UDC, come viene mostrato in Figura 3.



Figura 3 Esempio di scaffalatura a ripiani a semplice profondità (dal catalogo della Bizzotto Scaffalature)²

In questo tipo di magazzino possiamo distinguere due aree:

- Area stock
- Area picking

La differenza tra queste due aree risiede, come verrà spiegato a seguire, nella loro locazione e negli obiettivi prefissati.

Il piano terra, quindi poggiato a pavimento, viene utilizzato per il picking, e prende quindi il nome di area picking, mentre i piani superiori sono destinati allo stoccaggio delle UDC e infatti quest'ultima prende il nome di area stock.

Per quanto riguarda la terza attrezzatura citata da (Kilic & Durmusoglu, 2015), ovvero i “bins”³, si tratta di contenitori impilabili preposti allo stoccaggio e al trasporto delle merci, che, oltre ad avere dimensioni variabili a seconda delle necessità logistiche, possono anche essere composti da diversi materiali, come ad esempio legno, piuttosto che metallo o anche materiale plastico rigido ecc.

Solitamente la base è rettangolare e con misure compatibili con quelle del pallet europeo standard (“Euro Pallet ISO 1”), per poter quindi impilare i “bins” sul pallet e movimentarli con l’ausilio di carrelli elevatori, transpallet, e così via.

Come verrà spiegato nella sezione relativa alle politiche di parts feeding, l’uso dei contenitori contenenti i componenti/parti è di fondamentale importanza per il fatto che

¹ <https://www.saloodo.com/logistics-dictionary/rack/>

² <https://bizzottoscaffalature.it/portapallet-b110/21-portapallet-m11080.html>

³ <https://it.wikipedia.org/wiki/Bins>

questi determinano uno standard industriale per quanto riguarda lo stoccaggio in magazzino e il trasporto alle linee di assemblaggio.

Infine, il 4° ed ultimo sottocomponente dello stoccaggio delle parti è rappresentato dai metodi e dalle politiche di prelievo dei componenti.

Per quanto riguarda i metodi di prelievo (“*picking methods*”), come affermato da (Berg & Zijm, 1999), esistono 2 opzioni alternative:

- prelievo manuale
- prelievo automatico

Nei sistemi di prelievo manuale (“*picker-to-product systems*”), come spiegato da (Berg & Zijm, 1999), gioca un ruolo fondamentale l’addetto al picking, chiamato anche “*pickerista*”, il quale guidando un veicolo (ad esempio un carrello retrattile) lungo le posizioni di prelievo (piano terra del magazzino), provvede a prelevare i singoli colli dalle UDC posizionate al piano terra adibito alle operazioni di picking.

Quando si esaurisce una referenza al piano terra entra in gioco il carrellista che provvederà in primis a togliere il pallet vuoto che conteneva quella referenza, e in seguito sposterà una referenza dall’area di stoccaggio (piani superiori) all’area di picking al piano terra.

Il driver delle attività di picking sono le righe di un ordine cliente, ovvero il numero di prodotti diversi che il cliente desidera, il che definisce gli accessi del pickerista alle locazioni dei prodotti richiesti.

Se ad esempio, come visualizzato in Tabella 1, si ha un ordine con 3 righe e quindi sono richiesti 3 diversi prodotti con delle rispettive quantità, allora il pickerista dovrà effettuare 3 fermate alle 3 locazioni dei 3 prodotti richiesti per poter evadere l’ordine.

<i>Prodotto richiesto</i>	<i>Quantità del prodotto richiesto (pz)</i>
P1	3
P7	5
P15	1

Tabella 1 Esempio di un ordine cliente

Secondo (Berg & Zijm, 1999), si possono distinguere due regimi di funzionamento per il picking manuale:

- “*order picking*”
- “*batch picking*”

Nel 1° caso, a ciascun pickerista viene assegnata una lista di prelievo di uno specifico cliente, perciò si avrà che il pickerista 1 dovrà evadere l’intero ordine cliente 1, il pickerista 2 dovrà evadere l’intero ordine cliente 2, e così via.

Nel “*batch picking*”, invece, le liste di un certo insieme di clienti vengono raggruppate, secondo un qualche criterio, in un’unica lista combinata che sarà assegnata ed evasa da un singolo pickerista.

Con quest’ultima logica, molto utilizzata ad esempio nell’e-commerce quando si hanno tanti ordini con poche righe, si riesce a ridurre il tempo medio di viaggio per prelievo. Tuttavia, viene richiesto un successivo smistamento degli articoli prelevati secondo i rispettivi ordini cliente.

Esistono infatti 2 possibilità per il pickerista per evadere questa lista combinata:

- Picking massivo
- Sistemi put to light

Nella 1° casistica, il pickerista procede a prelevare tutti gli articoli richiesti e solamente in seguito provvede al loro smistamento in base agli specifici ordini cliente.

Nella 2° casistica, invece, il pickerista lavora con dei carrelli speciali contenenti tot vani destinati a raccogliere i prodotti dei tot clienti di cui si compone la lista aggregata, per cui il pickerista procede contemporaneamente, referenza per referenza, al prelievo e allo smistamento degli articoli richiesti negli appositi vani, per mezzo di un sistema a luci che indica, nel momento in cui viene prelevato un articolo, in che vano del carrello riporlo.

Nei sistemi di prelievo automatico, invece, come spiegato da (Berg & Zijm, 1999), al posto degli addetti al picking sono previsti dei robot pallettizzatori o delle macchine che scaricano la merce su dei sistemi di trasporto, come ad esempio un nastro trasportatore. Questo tipo di metodo per il prelievo si verifica quando si ha a che fare ad esempio con dei magazzini verticali automatici, nei quali gli articoli sono immagazzinati nelle loro UDC in dei vassoi disposti all'interno del magazzino verticale.

Questi sistemi, una volta ricevuto un determinato ordine cliente, attivano uno shuttle collocato all'interno del magazzino che si muove verticalmente in automatico portando i vassoi contenenti le referenze richieste al pickerista disposto a terra di fronte alla bocca d'uscita del magazzino verticale, il quale procederà poi al prelievo delle quantità strettamente richieste.

In realtà, più che parlare di prelievo automatico, gli autori (Berg & Zijm, 1999) definiscono questa configurazione come un sistema di prelievo automatizzato ("*product-to-picker systems*").

Il principale vantaggio di questi sistemi, rispetto ai precedenti sistemi di prelievo manuale, è che il pickerista non deve impiegare tempo nella ricerca delle locazioni dei prodotti richiesti, poiché questi gli vengono portati in automatico dallo shuttle del magazzino verticale.

Il pickerista, quindi, può utilizzare il tempo impiegato dallo shuttle per completare la missione, per svolgere altre attività quali ad esempio lo smistamento, l'imballaggio e l'etichettatura della merce ritirata, e nel mentre che il pickerista sta svolgendo queste attività, lo shuttle continua automaticamente ad estrarre i vassoi contenenti i prodotti richiesti, andando di conseguenza a ridurre i tempi di attesa, e quindi a non valore aggiunto, del pickerista collocato di fronte al magazzino verticale.

Per quanto riguarda invece le politiche di prelievo ("*picking policies*"), grazie agli studi condotti da (Sule, 2008), queste si possono raggruppare tramite diversi aspetti quali:

- sistema ad area
- sistema ad area modificato
- sistema a zone
- sistema a zone sequenziali
- sistema multi-ordine

Tutti questi sistemi dipendono fortemente dalla politica di percorso dei pickeristi adottata, che risulta essere particolarmente impattante sulla loro efficienza operativa, e che può essere di due tipologie:

- politiche di percorso “*traversal*”
- politiche di percorso “*return*”

Nel 1° caso le corsie vengono percorse in un unico senso, in modo tale che il pickerista sia costretto a percorrerle completamente.

Nel 2° caso, invece, viene permesso il doppio senso di marcia, perciò il pickerista entra in una corsia, esegue il picking su un lato e poi si sposta sull'altro, e infine esce dalla stessa entrata.

In ogni caso, comunque, è possibile cercare di ottimizzare il percorso del pickerista: a partire dai dati relativi al picking, infatti, è possibile ricavare l'importanza dei codici prodotto sulla base delle righe che hanno avuto in un certo periodo, e che rappresentano gli accessi alle locazioni di picking. In questo modo, grazie a una classificazione ABC dei codici prodotto, sarà quindi possibile ad esempio posizionare codici di classe A (i più movimentati) nelle locazioni più vicine alla partenza del pickerista, mentre i codici di classe C (i meno movimentati) saranno posizionati più distanti, in modo che il pickerista non si addentri troppo nella corsia.

In letteratura possiamo trovare di fatto numerosi studi condotti sulla tematica dello stoccaggio delle parti.

Ad esempio, (Berg & Zijm, 1999) hanno presentato una classificazione sui problemi di gestione del magazzino, tra i quali la relativa progettazione e pianificazione.

(Rouwenhorst et al., 2000), invece, si è concentrato sui problemi di progettazione del magazzino e relativo controllo per quanto concerne processi, risorse e organizzazione.

Un altro studio molto importante che possiamo citare è quello ad opera di (Gu et al., 2007), il quale ha fornito una descrizione molto accurata delle quattro attività principali condotte in un magazzino, ovvero ricevimento, stoccaggio, prelievo degli ordini e infine spedizione.

Una descrizione molto più semplice ma allo stesso tempo comunque indicativa, relativamente alle attività condotte in un magazzino, viene fornita anche da (Berg & Zijm, 1999), i quali considerano quello che è il flusso dei materiali all'interno di un magazzino. Alcune considerazioni di questo studio verranno approfondite a seguire, anche per entrare nell'ottica del 2° componente di un sistema di parts feeding, ovvero il trasporto delle parti.

Parte tutto dal ricevimento merci alle baie di carico/scarico. Sulle banchine riceventi vengono innanzitutto verificate le quantità, e dopodiché vengono eseguiti dei controlli di qualità a campione. In seguito, prima di essere trasportati alla zona di stoccaggio, ai carichi viene applicata un'etichetta, ad esempio un codice a barre, per poterli identificare in modo univoco.

Giunti alle aree di stoccaggio designate, ogni qualvolta che viene richiesto un prodotto, questo deve essere recuperato da quest'area tramite un processo di prelievo degli ordini (“*order picking*”), dove un ordine indica i prodotti e le rispettive quantità richieste da un cliente nel caso di un centro di distribuzione, o da una workstation nel caso di un magazzino di produzione.

Quando un ordine contiene molteplici referenze, queste devono essere prelevate e ordinate prima di poter essere trasportate all'area di spedizione o di produzione, a seconda del contesto in cui opera l'azienda in questione.

Grazie quindi a questo studio di (Berg & Zijm, 1999), siamo in grado di identificare le quattro attività principali condotte in un magazzino:

- ricevimento merci
- stoccaggio
- prelievo degli ordini (“order picking”)
- spedizione

Grazie inoltre a uno studio condotto da (Drury, 1988), si è dimostrato di come il prelievo degli ordini (“*order picking*”) sia tra tutte e quattro l’attività più costosa (vedi Figura 4), poiché a questa è riconducibile oltre il 60% dei costi operativi complessivi in un tipico magazzino.

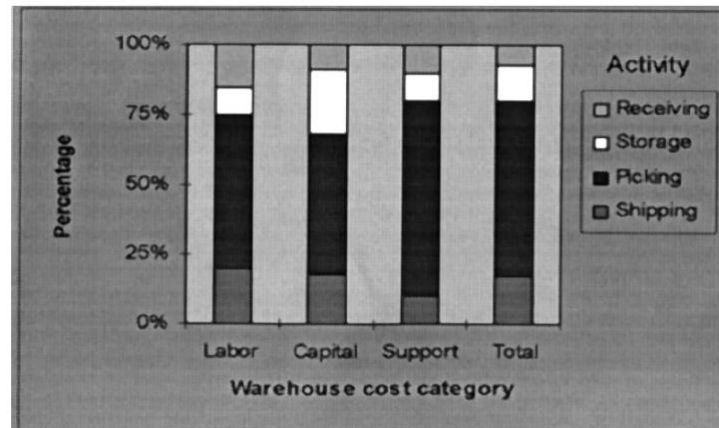


Figura 4 Costi delle attività condotte in un magazzino

1.1.2. Trasporto delle parti

Questo 2° componente di un sistema di parts feeding, come affermano (Kilic & Durmusoglu, 2015), può essere ricondotto sotto la tematica dei sistemi di movimentazione delle parti (MHE – “*Material Handling Equipment*”), ambito molto importante per cercare di diminuire il costo di produzione.

A sostegno di quanto appena scritto, (Drira et al., 2007) affermano che nel caso in cui sia previsto un buon sistema di movimentazione dei materiali, vale a dire usando il giusto mezzo di trasporto al posto e al momento giusto e con il metodo giusto, il costo di produzione può diminuire dal 10 fino al 30%, e al contempo si avrebbe anche una chiave per incrementare efficienza ed efficacia dell’intero sistema.

Quindi, la tematica del MHE gioca un ruolo molto importante per quanto riguarda il trasporto delle parti.

Come mostrano (Kilic & Durmusoglu, 2015) in Figura 5, sotto la tematica del trasporto delle parti ci sono due sottocomponenti, ovvero:

- La selezione del veicolo (MHE)
- La scelta del percorso/route del veicolo selezionato

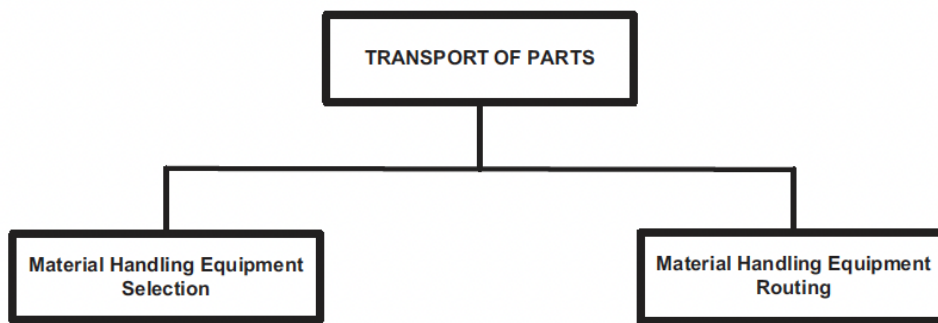


Figura 5 I sottocomponenti del “trasporto delle parti”

Per quanto riguarda il 1° sottocomponente, ovvero la selezione del mezzo più appropriato, esistono svariati dispositivi di movimentazione dei materiali tra i quali poter effettuare una scelta.

(Baudin, 2004) ne indica alcuni che verranno illustrati a seguire.

Innanzitutto troviamo i sistemi tradizionali di trasporto dove spiccano i carrelli elevatori, che come spiegato da (Pareschi et al., 2011), sono dei veicoli a ruote adibiti alla movimentazione di materiali di qualsiasi genere con l'intervento degli operatori umani a terra o a bordo del veicolo stesso.

Esistono due tipologie principali di carrelli elevatori secondo (Pareschi et al., 2011):

- Transpallet
- Carrelli accatastatori

I primi⁴ non sono altro che dei carrelli a ruote piccole con due forche collegate a un braccio centrale, sprovvisti di motore poiché funzionanti manualmente grazie a un operatore che lo spinge/tira, e anche per questo adibiti ai piccoli sollevamenti (solitamente dell'ordine di qualche decina di cm), mentre i secondi sono muniti di attrezzature speciali che gli consentono di sollevare il carico ad altezze superiori. All'interno dei carrelli accatastatori poi si possono distinguere varie tipologie, come ad esempio i carrelli elevatori frontali, a forche retrattili, con posto di guida sollevabile e tanti altri che però qui non verranno approfonditi.

Passando poi ai sistemi rigidi di trasporto, anche qui ne troviamo di varie tipologie, come ad esempio i trasportatori a rulli, a catena, con navetta traslante su rotaia, fino ad arrivare ai sistemi rotanti come gli automotori (rotaia a pavimento) e gli aeromotori (rotaia a soffitto).

Infine, meritano particolare attenzione anche i sistemi flessibili di trasporto a guida automatica, di cui se ne riconoscono 3 tipologie principali:

- AGV (“Automated Guided Vehicle”)
- LGV (“Laser Guided Vehicle”)
- AMR (“Automatic Mobile Robot”)

Gli AGV non sono altro che dei sistemi di trasporto ad azionamento magnetico che funzionano grazie a dei cavi, posizionati sotto il pavimento, percorsi da corrente alternata, da cui il carrello si muoverà automaticamente seguendo il campo magnetico.

⁴ <https://it.wikipedia.org/wiki/Transpallet>

Dopodiché troviamo gli LGV⁵, a guida laser, che funzionano grazie a dei catarifrangenti collocati su pareti e oggetti lungo il percorso impostato nei carrelli.

Ogni carrello è dotato di una testa laser che, ruotando a 360°, riesce a scannerizzare tutta l'area circostante. Quando il raggio laser emesso dalla testa del carrello colpisce uno dei catarifrangenti, questo viene riflesso e in questo modo la testa laser rileva la direzione da cui proviene la riflessione. Una volta rilevati 3 specchi con questa logica, il computer di bordo è in grado di calcolare la posizione del carrello e di guidarlo lungo dei percorsi prestabiliti.

Un carrello LGV è inoltre dotato di 8 diverse velocità che riuscirà a regolare in base agli ostacoli che riesce a rilevare in anticipo.

Un limite di questo veicolo è che, se trova un ostacolo lungo il suo percorso programmato, questo riuscirà solo a fermarsi, non potendo infatti modificare la sua route. Di conseguenza, si tratta di un sistema che perde efficienza quando deve lavorare in un ambiente con tanto personale.

Infine, troviamo i recentissimi AMR che, al contrario degli LGV, non hanno percorsi preimpostati, ma che si muovono in base a dei calcoli eseguiti sulla base dell'area che gli viene data come input all'interno della quale possono muoversi.

Quindi, se questi mezzi trovano un ostacolo lungo il loro percorso, sono in grado di superarlo grazie a nuovi calcoli, eseguendo di fatto una programmazione istantanea a zone.

Il loro vantaggio principale risiede proprio nel fatto che riescono a superare i limiti degli LGV, nascendo infatti per attività nelle quali c'è una forte interazione con l'uomo.

Ricopre un ruolo altrettanto importante anche il 2° sottocomponente, ovvero la definizione del percorso/route del mezzo, che include al suo interno anche le modalità con le quali si decide di far circolare il mezzo all'interno dell'impianto industriale, e che sono strettamente legate con la scelta del veicolo.

In letteratura sono disponibili numerosi studi a riguardo di queste due sottocomponenti del trasporto delle parti.

Per quanto riguarda la scelta del mezzo troviamo tra gli altri i seguenti studi (Fonseca et al., 2004; Kulak, 2005; Lashkari et al., 2004; Mirhosseyni & Webb, 2009; Tuzkaya et al., 2010), mentre si concentrano sulla scelta del percorso del veicolo i seguenti studi (Corréa et al., 2007; Khayat et al., 2006; Kilic et al., 2012; Kilic & Durmusoglu, 2013; Raman et al., 2009).

1.1.3. Politiche di parts feeding

Questo 3° componente del sistema di parts feeding, come afferma (Hanson, 2012), rappresenta la specifica modalità con la quale i componenti vengono disposti e consegnati ai rispettivi punti di utilizzo, rappresentati dalle workstations delle linee di assemblaggio.

Come si vedrà in seguito, sono state coniate dalla letteratura diverse tipologie di politiche, ciascuna con i propri vantaggi e svantaggi.

Gli autori (Kilic & Durmusoglu, 2015) dividono le politiche di parts feeding nelle 4 categorie seguenti, come mostrato in Figura 6:

- Stoccaggio a bordo linea ("*line-side stocking*")

⁵ https://it.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle

- Kitting
- Feeding a kanban (“*kanban-based feeding*”)
- Feeding ibrido

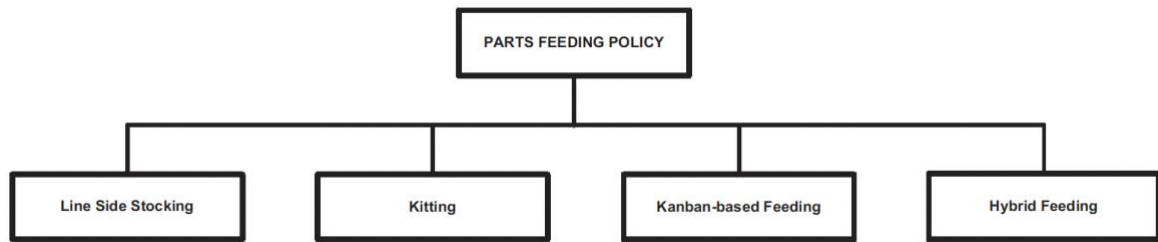


Figura 6 I sottocomponenti delle “politiche di parts feeding”

Le politiche qui citate verranno approfondite dettagliatamente nel corso della prossima sezione.

1.2. Rassegna dalla letteratura delle politiche di parts feeding

Come abbiamo visto in precedenza, (Kilic & Durmusoglu, 2015) hanno indicato quattro categorie con le quali si possono suddividere le politiche di parts feeding.

In realtà, in letteratura troviamo altri studi ad opera di altri autori che presentano le diverse politiche di parts feeding con una diversa nomenclatura.

Ad esempio, (M. I. Johansson, 1991) suddivide le politiche di feeding in 3 categorie: fornitura continua (“*continuous supply*”), fornitura a lotti (“*batch supply*”) e kitting.

In seguito, (E. Johansson & Johansson, 2006) aggiunsero una 4° categoria alle tre precedentemente citate, ovvero la fornitura sequenziale (“*sequential supply*”).

Ciò nonostante, a seconda delle somiglianze, si può considerare e di conseguenza analizzare la fornitura a lotti sotto la politica di stoccaggio a bordo linea, mentre la fornitura sequenziale sotto la politica di kitting.

Tali politiche in ogni caso verranno approfondite a seguire nel corso di questo Capitolo.

Troviamo poi lo studio ad opera di (Battini et al., 2009) grazie al quale vengono illustrate le tre principali politiche di feeding da loro proposte, ovvero le soluzioni denominate come “*pallet to workstations*”, “*trolley to workstations*” e “*kit to assembly line*”, le quali a loro volta verranno approfondite a parte.

Per quanto riguarda in particolare quest’ultima classificazione da parte di (Battini et al., 2009), secondo (Limère et al., 2012) la politica “*pallet to workstations*” può essere considerata come una politica di stoccaggio a bordo linea, mentre le altre due politiche (“*trolley to workstations*” e “*kit to assembly line*”) come politiche di kitting.

In accordo con (Kilic & Durmusoglu, 2015), anche (Caputo & Pelagagge, 2011) concordano nel ricondurre le politiche di parts feeding sotto le tre categorie quali stoccaggio a bordo linea, kitting e feeding a kanban.

Come vedremo, la 4° politica individuata da (Kilic & Durmusoglu, 2015), ovvero il feeding ibrido, è una tematica in via di sviluppo, che necessita di studi maggiormente approfonditi, ma che già allo stato attuale si propone come una politica con numerosi vantaggi, poiché deriva dalla combinazione in contemporanea di più di una politica tra le altre tre viste precedentemente.

La maggior parte degli studi provenienti dalla letteratura si concentrano sulle politiche di kitting e dello stoccaggio a bordo linea.

Per quanto riguarda invece gli studi sulla politica di feeding a kanban, questa è stata approfondita da (Caputo & Pelagagge, 2011; Faccio, 2014) vista la sua notevole importanza specialmente in ambienti di lean production.

Infine, troviamo anche i seguenti studi per quanto riguarda la politica di feeding ibrido, che, come anticipato precedentemente, incorpora al suo interno l'uso contemporaneamente di più di una politica di parts feeding (Caputo et al., 2008; Caputo & Pelagagge, 2011; Faccio, 2014; Limère et al., 2012).

Gli studi citati verranno approfonditi a seguire nelle rispettive sezioni dedicate alle quattro politiche indicate da (Kilic & Durmusoglu, 2015), nelle quali verranno indicati obiettivi, metodologie e ambiti applicativi di ciascuna politica.

1.2.1. Stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)

Tra tutte le politiche di parts feeding precedentemente citate, la politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”), chiamata anche “continuous supply”, “continuous replenishment” o “point-of-use storage systems”, è quella più antica, nonché quella, insieme al kitting, maggiormente studiata in letteratura, come sostengono (Faccio, 2014; Hua & Johnson, 2010).

Il principio di fondo di questa politica è che ogni singolo componente/parte viene immagazzinato in dei contenitori individuali che vengono portati e posizionati nelle prossime vicinanze delle linee di assemblaggio, con questi che vengono distribuiti alle workstations da un magazzino centrale, come mostrato in Figura 7, e che vengono sostituiti quando diventano vuoti.

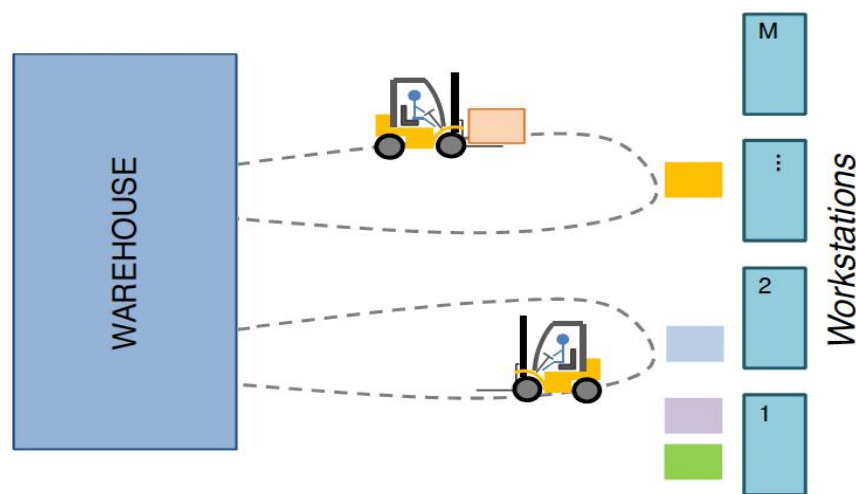


Figura 7 Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)

Il vantaggio principale di questo sistema è quello di fornire una continua disponibilità di materiali.

Dall'altro lato, se la varietà di parti utilizzate nelle linee di assemblaggio fosse alta, ci sarebbero elevate quantità di stock che occuperebbero un'area estesa e, in aggiunta a questo, gli operatori perderebbero più tempo nella ricerca delle parti richieste, come sostenuto da (Corakci, 2008; Faccio, 2014).

Merita uno specifico focus anche la questione relativa alla tipologia di imballaggio del materiale, poiché in funzione di questo aspetto cambiano le scelte sul tipo di veicolo di

movimentazione utilizzato, oltre alle modalità di rifornimento alle linee di assemblaggio.

Per quanto riguarda l'imbballaggio del materiale, le opzioni sono due: si può utilizzare un'unità di carico ("*load-unit*") oppure si possono utilizzare delle piccole scatole per contenere il materiale.

Nel primo caso vengono utilizzati dei carrelli elevatori per il trasporto all'interno dell'impianto, mentre per il rifornimento alle linee di assemblaggio viene adottato un sistema di inventario dei punti di riordino, con diverse possibili politiche adottabili in funzione dello scenario produttivo dell'azienda in questione.

Nello specifico, (Romano, 2009) individua le seguenti cinque principali politiche di riordino:

- Riordino su fabbisogno (netto) → la quantità ordinata è esattamente quella necessaria a soddisfare i fabbisogni netti della/e workstations
- Riordino con quantità d'ordine minima → è prevista una dimensione minima del lotto ordinato, al di sotto della quale non si può mai andare
- Riordino con quantità d'ordine massima → è prevista una dimensione massima del lotto ordinato, al di sopra della quale non si può mai andare
- Riordino con lotto multiplo → è previsto che l'ordine sia pari a un certo valore (nel caso del riordino a lotto fisso) o a un suo multiplo (ad esempio perché si dispone di una dimensione fissa dei container o delle ubicazioni di magazzino)
- Riordino con periodo di copertura fisso → viene effettuato un ordine di riordino che sia in grado di coprire la necessità di una o più workstations per un numero predeterminato di periodi di tempo, anziché per un singolo periodo

Nel secondo caso, invece, vengono utilizzati dei treni con rimorchio in continuo movimento lungo dei percorsi predefiniti, per il trasporto interno, mentre il rifornimento alle linee viene controllato da un sistema di riordino a due contenitori ("*two-bin*"), come sostenuto da (Limère et al., 2012). Questa politica di riordino⁶ consiste nel tenere due container dei quali uno in uso e l'altro di scorta, in modo tale che non appena il primo viene esaurito dalla linea, si inizia il consumo del secondo e viene così attivato il rifornimento.

Può essere considerata all'interno della politica "*line-side stocking*" anche la politica di fornitura a lotti ("*batch supply*"), menzionata in alcuni studi (Caputo & Pelagagge, 2011; Corakci, 2008; M. I. Johansson, 1991).

Tuttavia, tale politica, diversamente dallo stoccaggio a bordo linea, considera le quantità del lotto, e come spiega (M. I. Johansson, 1991), il materiale è fornito per un numero diverso di assemblati e il lotto dei materiali dipende dal lotto delle parti necessarie.

Essendo la politica più ampiamente utilizzata, al pari del kitting, troviamo numerosi studi in letteratura relativamente a questo sistema, molti dei quali affrontano il confronto tra questa politica di feeding e il kitting.

1.2.1.1. "*Pallet to workstations*"

Merita un approfondimento a parte la politica di parts feeding denominata "*pallet to workstation*" indicata da (Battini et al., 2009), che, come affermato da (Limère et al., 2012), può essere vista come una politica contenuta all'interno della macro-categoria dello stoccaggio a bordo linea ("*line-side stocking*").

⁶ https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_delle_scorte

In questa politica, infatti, i componenti necessari vengono trasportati dal magazzino alle diverse workstations tramite il cosiddetto pallet.

Il pallet, come afferma (Pareschi et al., 2011), non è altro che l'imballaggio terziario più diffuso per lo stoccaggio, la movimentazione e la distribuzione delle merci.

Secondo la normativa UNI ISO 445 (2009), il pallet è *“una piattaforma orizzontale caratterizzata da un'altezza minima compatibile con la movimentazione tramite carrelli transpallet e/o carrelli elevatori a forche e altre appropriate attrezzature di movimentazione, impiegata come supporto per la raccolta, l'immagazzinamento, la movimentazione ed il trasporto di merci e di carichi”*.

Nel corso degli anni è emersa una misura di pallet standard a livello europeo, ovvero il cosiddetto *“Euro Pallet ISO 1”*⁷ (vedi Figura 8), di dimensioni 800 x 1200 mm (altezza di 144 mm), inforcabile da tutti e quattro i lati e perciò definito anche *“a quattro vie”*.



Figura 8 Euro Pallet ISO 1

Tornando alla politica del *“pallet to workstations”*, la logica di fondo, secondo gli autori, è la seguente: dal momento che arriva un ordine da parte del cliente e si genera in seguito il relativo ordine di produzione (ODP), questo ODP, sulla base della distinta del prodotto finito richiesto, crea il bisogno dei diversi componenti necessari al suo soddisfacimento, ciascuno dei quali verrà fornito trasportando il loro intero carico unitario sui pallet dal magazzino fino alla specifica workstation nella quale viene utilizzato il suddetto componente.

Si tratta di una situazione tipica nelle linee di assemblaggio mixed-models di prodotti ben standardizzati.

Quando un determinato componente/parte non è più necessario per la sua workstation, la sua unità di carico, anche se non ancora vuota, viene riportata indietro alla sua posizione all'interno del magazzino centrale, mentre quando l'unità di carico è vuota, questa viene portata via per liberare spazio sulla workstation per i flussi di materiali successivi.

Come scritto in precedenza, per il trasporto dei pallet vengono utilizzati dei classici carrelli elevatori oppure dei transpallet.

È facile rendersi conto che la logica di questa politica, visualizzata in Figura 9, può ricondursi sotto la macro-categoria dello stoccaggio a bordo linea, come dichiarato da (Limère et al., 2012).

⁷ <https://en.wikipedia.org/wiki/EUR-pallet>

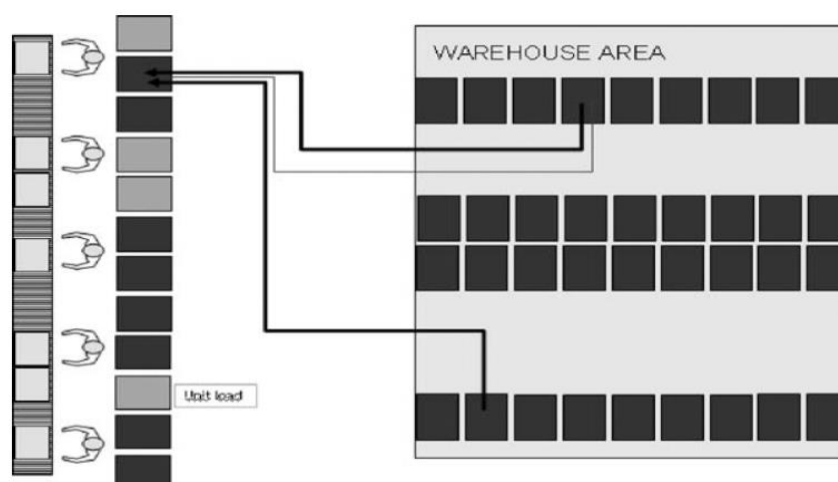


Figura 9 Politica "pallet to workstations"

Si tratta di una politica ideale quando i componenti sono utilizzati nella stessa workstation durante un periodo specifico, dal momento che non è richiesto il riporto dell'unità di carico durante tale periodo, e anche quando l'UDC dell'articolo viene completamente esaurita dalla workstation per il fatto che si eliminerebbe la necessità di dover ricorrere ai viaggi di ritorno al magazzino.

In definitiva, il principale vantaggio risiede nel fatto che con questa politica non sono richieste molteplici operazioni da e verso le aree di stoccaggio.

Come controparte, come sostenuto sempre da (Battini et al., 2009), sorgono però diversi problemi con il trasporto delle intere UDC: infatti, tutte le attività di disimballaggio devono essere eseguite dagli operatori addetti all'assemblaggio, il che comporta loro movimenti e soprattutto task extra, con una conseguente riduzione dell'efficienza del singolo operatore oltre che dell'intero sistema di assemblaggio.

Vanno considerati inoltre i flussi inversi (la cosiddetta "reverse logistics") dalla workstation al magazzino con i relativi costi di trasporto che aumentano poiché viene spostato avanti e indietro l'intero pallet, e non solamente la quantità strettamente richiesta dalle workstations.

1.2.2. Kitting

La politica di kitting, come spiega (Corakci, 2008), può essere definita come l'attività di feeding delle parti richieste alle linee di assemblaggio in quantità predefinite che vengono poste in specifici contenitori.

Con il termine "kit" si intende quindi uno specifico gruppo/insieme di componenti e sub assemblati i quali, insieme, supportano le operazioni di assemblaggio richieste per un determinato prodotto finito.

Esistono due tipologie di kit: i kit stazionari ("stationary kit") e i kit da viaggio ("travelling kit"), le cui rispettive logiche sono spiegate a seguire.

I kit stazionari, dopo essere stati consegnati alle workstations, vi rimangono fino al loro esaurimento, mentre il kit da viaggio, come suggerisce il nome, viaggia insieme al prodotto finito da una stazione all'altra.

Per quanto riguarda il contenuto del kit, come sostenuto da (Limère et al., 2012), questo è ristretto a un limite massimo di peso e volume, e inoltre va considerato che all'interno di un singolo contenitore di kit possono essere presenti molteplici kit dello stesso tipo. (Selcuk Kilic & Bulent Durmusoglu, 2012) illustrano i 3 principali fattori da tenere in considerazione nella progettazione dei sistemi di kitting:

- Quantità di kit
- Numero di operatori dediti alle operazioni di kitting
- Area preposta al kitting

Per quanto riguarda il veicolo di movimentazione per il trasporto del kit alle workstations, (Limère et al., 2012) afferma che i più idonei sono i treni con rimorchio e i sistemi trasportatori (“conveyor systems”).

Come illustrato in Figura 10, i kit vengono preparati in un'apposita area preposta al kitting e, una volta pronti, vengono consegnati alle workstations.

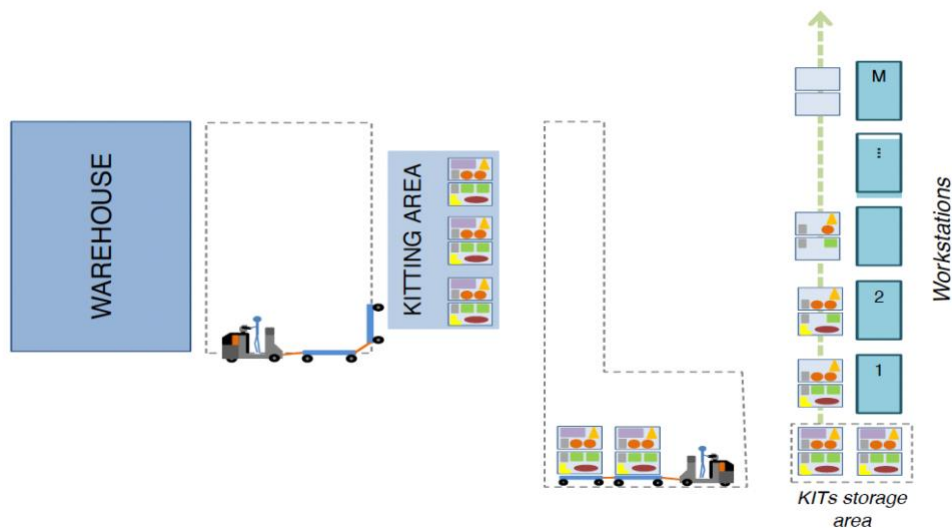


Figura 10 Politica di kitting (con “travelling kits”)

Rispetto alla precedente politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”) nella quale si era nella condizione di avere un contenitore per ciascun componente, in questo sistema di kitting ci sono meno contenitori, perché ciascuno di essi contiene molteplici componenti diversi, ed è grazie a questa logica che con questa politica di feeding risulta più facile avere tra le altre cose maggiore pulizia e controllo del pavimento dell’impianto.

In aggiunta a questo, a seconda della diminuzione delle quantità di WIP, nel sistema di kitting è richiesto meno spazio, e quindi in quelle casistiche nelle quali si ha un’elevata varietà di prodotto risulta vantaggioso applicare questa politica.

Al contrario, come spiegato da (Caputo & Pelagagge, 2011), nel caso in cui la varietà di prodotto sia bassa e ci sia anche un assemblaggio semplice in cui sono coinvolti pochi componenti diversi, risulta vantaggioso applicare la politica di stoccaggio a bordo linea. Si può concludere in conclusione che ci sono sia vantaggi che svantaggi nel sistema di kitting se comparato alla politica di stoccaggio a bordo linea, considerando anche che si tratta delle due politiche di parts feeding che vantano più studi in letteratura.

Parlando dei vantaggi della soluzione del kitting, sempre (Limère et al., 2012) ne indica i seguenti:

- Diminuzione del livello di scorte
- Minor tempo di percorrenza dell'operatore per recuperare i componenti
- Minor tempo di ricerca delle parti richieste
- Programmazione dei rifornimenti dei kit più facile rispetto alla programmazione in blocco della precedente politica
- Miglioramento delle condizioni ergonomiche tramite il kitting: gli operatori di linea possono infatti avere facilmente accesso alle parti necessarie nel caso in cui ci sia una progettazione ergonomica come in questo sistema.

A fronte di questi vantaggi, ci sono anche una serie di svantaggi da considerare nell'adottare un sistema di kitting, come ad esempio il costo di preparazione dei kit, che richiede movimenti extra di parti.

Oltre a questo, come afferma (Faccio, 2014), possono verificarsi degli errori durante la preparazione dei kit, oppure i kit possono essere consegnati alle workstation con delle parti difettose al loro interno. In entrambi i casi, si possono causare interruzioni della produzione o problemi di qualità.

Come spiegato precedentemente, un'altra politica di parts feeding che può essere considerata all'interno del kitting, ma che riguarda le singole parti, è la fornitura sequenziale ("*sequential supply*"), citata per prima da (E. Johansson & Johansson, 2006).

Nella fornitura sequenziale viene visualizzata nelle workstation solamente la selezione di codici di parti che ripercorrono la sequenza di utilizzo di ciascuna parte dell'assemblato finale, e di conseguenza questa politica risulta essere molto vantaggiosa quando il prodotto finito è assemblato in una linea seriale, come sostengono (Corakci, 2008; Hanson, 2012; E. Johansson & Johansson, 2006).

Come spiegato anche per la politica di "*line-side stocking*" si possono trovare numerosi studi in letteratura che approfondiscono la tematica del kitting come politica di feeding nelle linee di assemblaggio.

Vanno infine ricondotte sotto la macro-politica del kitting, secondo (Limère et al., 2012), anche le altre due politiche di parts feeding proposte da (Battini et al., 2009), ovvero le soluzioni di "*trolley to workstations*" e "*kit to assembly line*", che verranno adesso approfondite.

1.2.2.1. "*Trolley to workstations*"

In questa politica, proposta come ribadito in precedenza da (Battini et al., 2009), i componenti richiesti da ciascuna workstation sono elencati in delle liste, le quali sono utilizzate dai magazzinieri per il prelievo dal magazzino dei componenti necessari per il completamento delle attività di assemblaggio, e il loro successivo caricamento sul carrello ("*trolley*") che sarà assegnato alla specifica workstation della linea di assemblaggio che ne ha richiesto il materiale.

La logica, quindi, è molto semplice e viene illustrata graficamente in Figura 11: il carrello viene caricato dai magazzinieri e trasferito in seguito alla workstation assegnata, in modo tale che gli operatori delle linee gestiscano solamente quei componenti per loro necessari per completare i propri task di assemblaggio.

Ad ogni carrello, inoltre, viene assegnato in modo univoco uno specifico prodotto finito oppure una specifica workstation, in modo da evitare ogni possibilità di errore sulle linee di assemblaggio.

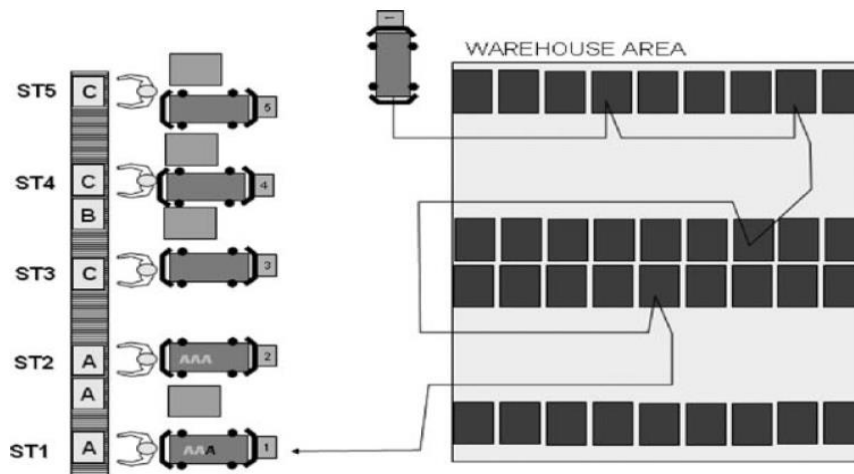


Figura 11 Politica "trolley to workstations"

Rispetto all'altra politica proposta da (Battini et al., 2009) del "pallet to workstations", ricondotta sotto la categoria dello stoccaggio a bordo linea ("line-side stocking"), questa politica ha una serie di vantaggi, tra i quali:

- Riduzione del numero dei viaggi dal magazzino alle diverse workstations delle linee di assemblaggio
- Riduzione dello spazio di stoccaggio dei componenti nelle prossimità delle workstations
- Componenti prontamente disponibili (già tolti dall'imballo) per gli operatori delle linee di assemblaggio, con una conseguente riduzione dei tempi di produzione e un incremento dell'efficienza dell'intero sistema di assemblaggio.

Si tratta sostanzialmente di una politica particolarmente utile quando ogni componente non è usato così frequentemente, e quando le sue dimensioni sono limitate, per il fatto che ogni carrello trasporta solamente la giusta quantità dell'insieme di componenti richiesti per poter assemblare un determinato prodotto finito su una specifica workstation.

Questa politica è utile, inoltre, quando la quantità dei diversi componenti per ogni carrello non è alta, e quando la distanza tra il magazzino e la workstation è limitata. In conclusione, il metodo "trolley to workstation" è interessante quando i componenti presentano caratteristiche specifiche, come le piccole dimensioni e la bassa frequenza di utilizzo.

1.2.2.2. "Kit to assembly line"

Questa politica di parts feeding proposta da (Battini et al., 2009) è di fatto la soluzione del kitting proposta da (Kilic & Durmusoglu, 2015) ed illustrata precedentemente. Consiste anch'essa nella creazione di kit di componenti per ogni prodotto finito assemblato sulle linee di assemblaggio, dove ogni kit contiene i componenti principali del prodotto finito.

Una delle variabili chiave di questo sistema, come visto in precedenza nella macrocategoria del kitting, risiede nel numero di kit necessari, che viene determinato tramite la programmazione della produzione di un determinato periodo di tempo. La logica può essere spiegata in Figura 12.

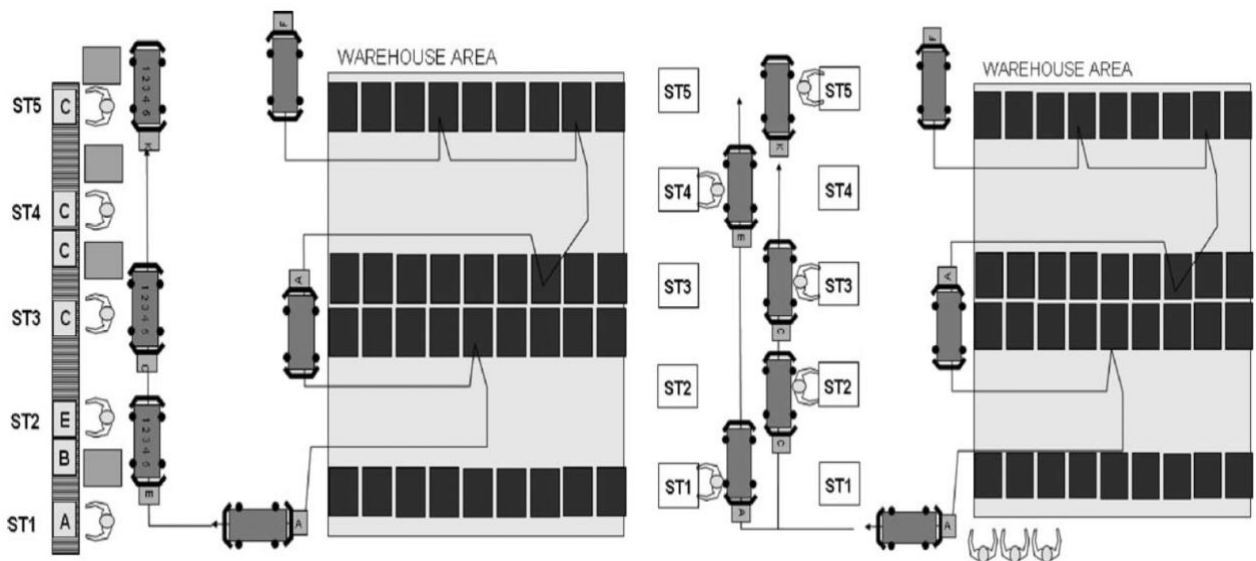


Figura 12 Politica “kit to assembly line”

Nel magazzino viene preparato un kit per ogni prodotto finito, e in seguito ciascun kit viene mandato alla linea di assemblaggio, dove viene assegnato a una specifica workstation in base alle operazioni richieste per realizzare quel prodotto finito, e tale kit può passare lungo tutta la linea insieme al prodotto finito, dalla prima all’ultima stazione (“*travelling kit*”) oppure può contenere l’assortimento di parti richieste solamente da una singola workstation e quindi sarà consegnato alla workstation in questione (“*stationary kit*”).

In ogni workstation, perciò, gli operatori di assemblaggio hanno a portata di mano tutte le parti necessarie per poter completare i propri task.

Questo tipo di politica può essere applicata in diversi sistemi di assemblaggio, come la classica linea seriale o anche il sistema con stazioni parallele, ed essendo riconducibile alla macro-politica del kitting insieme alla politica “*trolley to workstations*”, presenta vantaggi e svantaggi simili a quest’ultima politica.

La differenza principale tra queste due politiche proposte da (Battini et al., 2009) risiede nel numero di kit/carrelli preparati.

Infatti, nella politica “*trolley to workstations*”, il numero di carrelli necessari da portare alle workstation è in funzione dei seguenti aspetti:

- Dimensioni del lotto di produzione
- Numero di workstation
- Numero di parti comuni in una famiglia di assemblaggio
- Dimensione del carrello
- Dimensione dei vari componenti

Al contrario, nella politica “*kit to assembly line*”, il numero di kit necessari da portare alla linea è esattamente uguale al numero di prodotti finiti che vengono assemblati nelle varie workstation, dal momento che vige una proporzione 1:1 tra il kit e il prodotto finito, e di conseguenza non sussiste alcuna dipendenza con le altre variabili di un sistema produttivo viste in precedenza.

1.2.3. Feeding a kanban (“kanban-based feeding”)

Questa politica consiste in dei supermarket, ovvero delle aree di stoccaggio decentralizzate, che fungono da punto intermedio tra il magazzino centrale e le linee di assemblaggio, come mostrato in Figura 13.

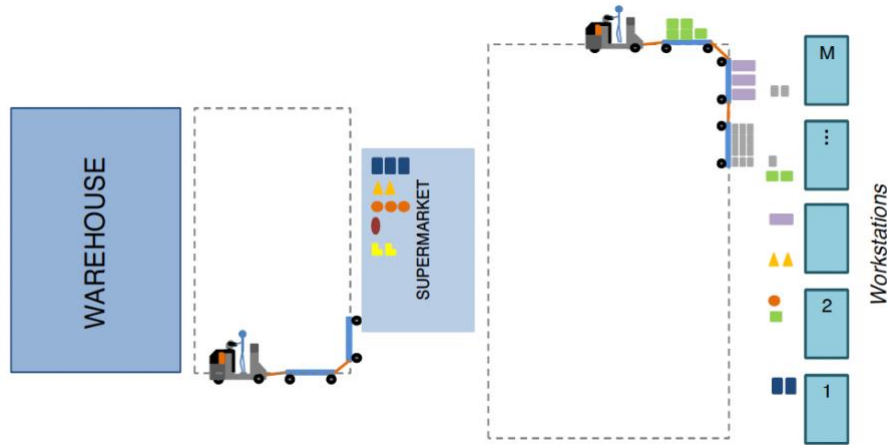


Figura 13 Politica di feeding a kanban

Come spiegato da (Faccio, 2014), nei supermarket sono presenti i contenitori contenenti i componenti/parti richieste per l’assemblaggio del prodotto finito e un cartellino kanban, indicante tutte le informazioni sul rispettivo materiale usato per una lavorazione, apposto su un contenitore che una volta vuotato viene rifornito.

Questo tipo di politica si pone all’interno del sistema Just in time (JIT) di reintegrazione delle scorte a mano a mano che vengono consumate, poiché infatti ogni qualvolta che le parti contenute all’interno di un contenitore sono esaurite, il kanban si attiva e genera istantaneamente l’ordine di rifornimento della suddetta parte.

Secondo (Caputo & Pelagagge, 2011), questa logica di consegna dei componenti viene vista a tutti gli effetti come un efficace meccanismo di controllo per i sistemi di assemblaggio.

Passando ad aspetti maggiormente tecnici, come sostenuto da (Faccio, 2014), nella progettazione di un sistema di feeding a kanban ci sono i seguenti 2 punti fondamentali da considerare:

- La determinazione del numero di kanban
- La progettazione del supermarket

Per quanto riguarda il primo punto, sono presenti in letteratura diversi studi che approfondiscono il problema di ottimizzazione del numero di kanban, tra i quali (Faccio et al., 2013; Hurrion, 1997; Nori & Sarker, 1998; Ohno et al., 1995; Shahabudeen et al., 2002).

Questi, come sostiene (Sendil Kumar & Panneerselvam, 2007), si pongono tra i propri obiettivi la massimizzazione della velocità media cumulativa di produzione e la minimizzazione del lead time medio di produzione e dei WIP medi.

Il secondo punto, ovvero la progettazione del supermarket, è meno studiato in letteratura rispetto al primo. (Emde & Boysen, 2011; Faccio, 2014) sono tra i pochi ad approfondire la tematica, e nei loro studi considerano i seguenti aspetti:

- L'ubicazione e la pianificazione dell'allocazione dei supermarket: lo scopo è quello di determinare il numero e le locazioni dei supermarket e l'allocazione dei supermarket nelle linee di assemblaggio
- La pianificazione degli operatori preposti alle operazioni di trasporto: lo scopo qui è quello di decidere il numero degli operatori necessari e la pianificazione dei loro percorsi
- La pianificazione del carico: lo scopo è quello di determinare la quantità di una singola unità di stoccaggio delle parti da caricare per un singolo tour dell'operatore

1.2.4. Feeding ibrido

Nessuna delle tre politiche di parts feeding finora citate riesce ad adattarsi al meglio in tutti i diversi contesti produttivi.

Alcuni studi, come quello di (Ding, 1992), affermano che l'opzione del kitting è migliore rispetto all'opzione dello stoccaggio a bordo linea, mentre in altri studi (Field, 1997; Henderson & Kiran, 1993) viene affermata la superiorità dello stoccaggio a bordo linea sul kitting.

In generale, sono state proposte numerose procedure decisionali atte a determinare un metodo che consenta di individuare la miglior politica sulla base dello specifico contesto in cui l'azienda in questione è inserita.

(Hua & Johnson, 2010) dichiarano una serie di fattori chiave utili per selezionare la politica di parts feeding più appropriata:

- L'impatto della varietà e dimensione del prodotto, oltre che del volume dei singoli componenti/parti
- L'impatto dello stoccaggio dei componenti e della movimentazione dei materiali
- L'impatto del controllo della produzione
- L'impatto della scelta del sistema sulle performance operative del sistema di assemblaggio

All'interno di questo contesto nel quale ciascuna politica ha degli specifici pro e contro, si inseriscono degli studi recenti come i seguenti (Caputo et al., 2008; Caputo & Pelagagge, 2011; Faccio, 2014; Limère et al., 2012), nei quali si definisce la cosiddetta politica di feeding ibrida, la quale include al suo interno l'applicazione allo stesso tempo di più di una politica di feeding tra quelle viste in precedenza.

Il principio di fondo di tale politica è che i componenti/parti sono raggruppate in classi secondo specifici criteri e per ciascuna classe viene determinata la politica di parts feeding più appropriata.

Un criterio particolarmente apprezzato in tal senso è la classificazione ABC, il cui grafico è mostrato in Figura 14, che permette di raggruppare le parti sulla base del loro valore economico.

La classe A è l'insieme di componenti che, in termini numerici, rappresentano solo il 20% degli articoli totali presenti a magazzino, ma che però valgono da soli l'80% del valore economico totale di tutti gli articoli a magazzino.

La classe B comprende invece il 30% del numero di componenti totali, i quali valgono il 15% del valore economico totale del magazzino.

Infine, la classe C include gli articoli rimanenti, i quali corrispondono al 50% degli articoli totali e al 5% in termini di valore economico.

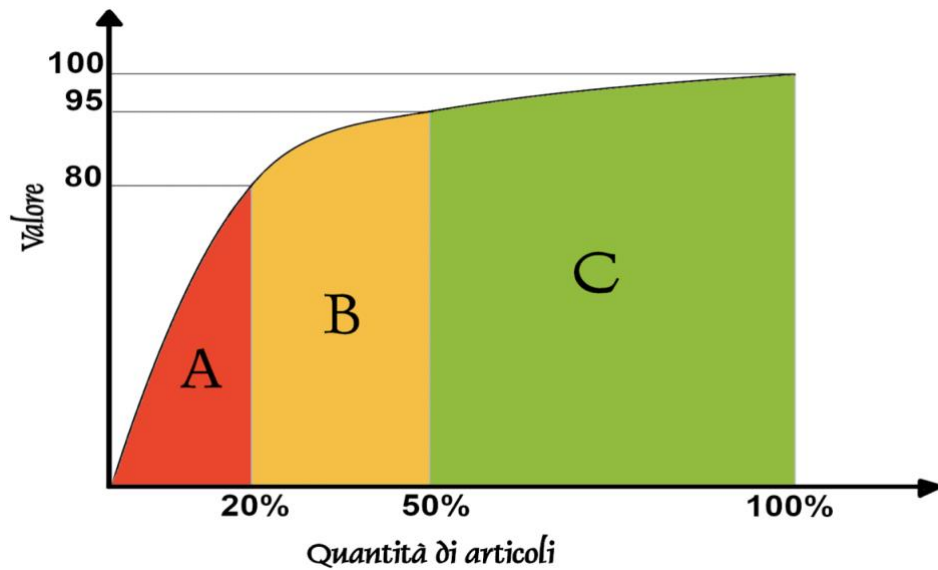


Figura 14 Grafico della classificazione ABC⁸

A partire da questa classificazione è poi possibile delineare il quadro per ciascuna classe al fine di identificare la politica di feeding ibrida, indicata dalla sequenza X/X/X, dove la X indica la specifica politica di parts feeding (tra le tre citate in precedenza) selezionata per le classi A, B e C, come sostengono (Caputo et al., 2008; Caputo & Pelagagge, 2011).

Rispetto ai numerosi studi presenti in letteratura sulle tre precedenti politiche di parts feeding, sono disponibili pochi studi che approfondiscono la tematica del feeding ibrido.

1.3. Confronto delle politiche di parts feeding

Grazie a questa rassegna sulle varie politiche di parts feeding disponibili in letteratura, siamo in grado di capire di come la progettazione e la gestione delle linee di assemblaggio richiedano decisioni sulle modalità con le quali componenti e sub assemblati vengono consegnati alle workstations, poiché queste determinano l'efficienza e la flessibilità dei sistemi di assemblaggio.

La selezione tra le politiche appena illustrate (*“line-side stocking”*, *“kitting”*, *“feeding a kanban”*), come sostenuto da (Caputo et al., 2015), è spesso questione di un mero giudizio qualitativo sulla base di quella che è la struttura del prodotto e del sistema produttivo, oltre che da vincoli operativi specifici dell'azienda in questione.

Nel corso del prossimo Capitolo verrà invece proposto un possibile modello, basato su un approccio quantitativo, che tenga conto di diversi aspetti che al contrario sono trascurati con un semplicistico approccio qualitativo, in modo da fornire supporto ai decisori in azienda per quanto riguarda le scelte insite nella progettazione di un intero sistema di assemblaggio.

A seguire verrà proposto un confronto tra le politiche di parts feeding appena analizzate. Con riferimento agli studi presenti in letteratura relativamente alle politiche di parts feeding, si può notare come la maggior parte di questi si concentrino sulle opzioni del kitting e dello stoccaggio a bordo linea.

⁸ <https://www.fabioscolari.it/il-principio-di-pareto-la-legge-80-20/>

Nel complesso, nei sistemi di kitting, il flusso di materiale attraverso l'impianto è semplificato per il fatto che devono essere spostati alle linee di assemblaggio solamente i contenitori di kit invece che non i contenitori dei singoli componenti, e di conseguenza i WIP potrebbero essere ridotti al punto di utilizzo, come afferma (Caputo et al., 2015). Tuttavia, l'autore ricorda che il prelievo degli ordini associato alla preparazione dei kit è ad alta intensità di manodopera, e quindi nei sistemi di kitting è necessaria una maggiore forza lavoro rispetto ai sistemi di stoccaggio a bordo linea.

Detto di questa alta intensità di manodopera nel kitting, va però anche ricordata la sua controparte, ovvero il fatto che l'insieme di componenti che compone un kit viene presentato secondo un ordine logico e quindi dal punto di vista dell'utilizzatore, ovvero l'operatore della linea, ci sarà maggiore facilità a prelevare e utilizzare rapidamente i componenti dal contenitore del kit, oltre al fatto che l'operatore dovrà passare molto meno tempo a camminare nell'intorno della propria workstation per la ricerca dei componenti, rispetto alla soluzione "*line-side stocking*".

(Caputo et al., 2015) precisa, in seguito, che la politica di parts feeding del kitting è una soluzione che va a supportare efficacemente la produzione ad alto mix e basso volume, a patto però che i kit vengano forniti correttamente alle varie workstations secondo quella che è la programmazione dell'assemblaggio.

Detto della politica del kitting, per quanto riguarda invece le altre due soluzioni di "*line-side stocking*" e di "*kanban-based feeding*", in queste non si perde tempo e forza lavoro nella preparazione dei kit sulla base degli ordini di produzione ricevuti, ma si garantisce invece una continua disponibilità di stock alle linee di assemblaggio, a scapito di un maggior sfruttamento degli spazi nell'impianto e dei WIP più elevati lungo la linea. L'approccio "*kanban-based feeding*", rispetto allo stoccaggio a bordo linea, è quello che consente di ridurre di più lo stoccaggio dei WIP lungo la linea, ma richiede anche una più frequente manipolazione di contenitori di piccole dimensioni.

(Caputo et al., 2015) ribadisce che lo svantaggio principale di queste due politiche è rappresentato dal fatto che le parti vengono immagazzinate nei loro punti di utilizzo (workstations), da cui ne consegue che una workstation deve poter stoccare nelle sue prossimità una quantità sufficiente di tutti quei componenti di cui si serve per ciascuna configurazione di prodotto.

Inoltre, se lo stesso componente/parte viene utilizzato in più workstation, questo deve poter essere stoccato in ciascuna di queste, e questo potrebbe essere semplicemente infattibile a causa della scarsità di spazio.

A seguire viene mostrata la Tabella 2 ad opera di (Hanson, 2012), la quale propone un confronto complessivo delle performance, a livello qualitativo, tra le politiche di kitting e quelle di fornitura continua comprendenti la "*line-side stocking*"(LS) e il "*kanban-based feeding*", denominata qui con il termine just-in-time (JIT) per sottolinearne l'approccio.

	Kitting	Continuous supply (JIT and LS)
Picking labor	Higher	Lower
Line-side space occupation	Lower	Higher
Space occupation for materials preparation	Higher	Lower
WIP at workstations	Lower	Higher
Degree of quality control	Higher	Lower
Support of assembly task	Higher	Lower
Ergonomic quality	Higher	Lower
Compatibility with large-sized parts	Higher	Lower
Compatibility with high-mix and low-volume production	Higher	Lower
Ease of implementation	Lower	Higher
Material flow simplification	Higher	Lower
Stock availability at workstations	Lower	Higher
Flexibility	Higher	Lower
Control and visibility	Higher	Lower

Tabella 2 Confronto delle performance delle politiche di parts feeding

A seguire viene illustrata la Tabella 3, ad opera di (Kilic & Durmusoglu, 2015), nella quale vengono elencati gli studi sulla tematica del parts feeding, sottolineandone diversi aspetti, quali le politiche di parts feeding analizzate in primis, gli obiettivi prefissati per i propri studi, le soluzioni metodologiche proposte (che verranno analizzate nel corso del prossimo Capitolo) e infine i casi studi presentati per testare l'applicabilità dei loro modelli proposti.

In particolare, dalla Tabella 3 si può anche notare la scarsità di studi inerenti la politica di feeding ibrido, sulla quale ci si aspettano nuovi approfondimenti in futuro, ma che, come ricordato anche nel rispettivo approfondimento, già attualmente sta riscuotendo particolare apprezzamento.

Tale riscontro verso le politiche ibride non potrà far altro che crescere in un futuro prossimo, vista e considerata la crescente domanda dei clienti sulla flessibilità di prodotto che spingerà le imprese ad adottare sempre di più delle linee di assemblaggio mixed-models, con la conseguente creazione di un vero e proprio mix di politiche di feeding adottate per il portafoglio di prodotti offerti dall'azienda in questione.

AUTHORS (Year)	POLICY TYPE				AIM							SOLUTION METHOD							CASE			
	Line Stocking	Kitting	Kanban-based	Hybrid	System Analysis & Improvement	Comparison	Cost minimization	Lead Time Reduction	Others	OPTIMUM			HEURISTICS				Simulation	Conceptual Modelling	Case Study Analysis	Others	Hypothetical	Real Life
										Dynamic Programming	Mixed Integer Programming	Others	Genetic Algorithm	Rule Based Multi-Stage	Others	Simulation						
Conrad and Pukanic (1986)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		
Sellers and Noff (1989)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>											<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tamaki and Noff (1991)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Bozer and McGinnis (1992)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ding (1992)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ronen (1992)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Chen and Wilhelm (1993)		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Henderson and Kiran (1993)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Carlson <i>et al.</i> (1994)		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Chen and Wilhelm (1994)		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Som <i>et al.</i> (1994)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>	1*								2*	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Brynzner and Johansson (1995)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Gunther <i>et al.</i> (1996)		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Chen and Wilhelm (1997)		<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>								<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Leshno and Ronen (2001)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Choi and Lee (2002)	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>										<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Christmansson <i>et al.</i> (2002)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Joshi <i>et al.</i> (2002)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Medbo (2003)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Choobineh and Mohebbi (2004)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ramachandran and Delen (2005)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Loveland <i>et al.</i> (2007)		<input checked="" type="checkbox"/>							4*							<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Caputo and Pelagagge (2008)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Carlsson and Hensvold (2008)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>						<input checked="" type="checkbox"/>									<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Corakci (2008)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Da Cunha and De Souza (2008)	<input checked="" type="checkbox"/>							<input checked="" type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
De Souza <i>et al.</i> (2008)	<input checked="" type="checkbox"/>							<input checked="" type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hua and Zhou (2008)		<input checked="" type="checkbox"/>																		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Wänström and Medbo (2008)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			8*											<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Battini <i>et al.</i> (2009)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Battini <i>et al.</i> (2010)		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Caputo <i>et al.</i> (2010)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>												<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hua and Johnson (2010)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Caputo and Pelagagge (2011)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>															<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Emde and Boysen (2012a)				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Emde and Boysen (2012b)				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Emde <i>et al.</i> (2012)				<input checked="" type="checkbox"/>						10*										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Golz <i>et al.</i> (2012)	<input checked="" type="checkbox"/>									12*										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hanson and Medbo (2012)		<input checked="" type="checkbox"/>								14*										<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hanson <i>et al.</i> (2012)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Kilic and Durmusoglu (2012)		<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Kilic <i>et al.</i> (2012)				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Limere <i>et al.</i> (2012)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Hanson and Brolin (2013)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Kilic and Durmusoglu (2013)				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Satoglu and Sahin (2013)				<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Faccio (2014)		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sali <i>et al.</i> (2014)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>														<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Tabella 3 Rassegna letteraria sullo stato dell'arte nella tematica del parts feeding

CAPITOLO 2: Modello quantitativo a supporto dell'assegnazione della politica di parts feeding ottimale per ciascun tipo di parte

Nel Capitolo 1 è stata introdotta la tematica del parts feeding nelle linee di assemblaggio, con un focus particolare sulle politiche di parts feeding esistenti in letteratura.

Nel corso di questo Capitolo verrà approfondito un possibile modello matematico decisionale di programmazione intera, proposto da (Caputo et al., 2015b), che sia in grado di fornire supporto ai decisori aziendali per quanto riguarda l'assegnazione della politica di parts feeding ottimale per ciascun tipo di componente/parte nelle linee di assemblaggio.

L'obiettivo di questo modello, infatti, è quello di avere a disposizione un framework che consenta di effettuare una scelta ben ragionata della politica o, per meglio dire, del mix di politiche più appropriate per ciascun tipo di parte al fine di minimizzare i costi totali, tenendo in considerazione lo specifico contesto in cui opera l'azienda in questione.

Infatti, si ritiene consolidato il fatto che, anziché adottare una singola politica di parts feeding, sia più corretto adottare un mix di politiche di feeding in base alle specifiche parti che tratta l'azienda, poiché queste possono differire e anche di molto in diversi possibili aspetti.

Dopodiché, si è ritenuto che un confronto a livello di costi possa essere un buon metodo per poter effettuare questo tipo di scelta.

Dunque, grazie a questo modello, si è in grado di fornire ai responsabili della produzione uno strumento decisionale di carattere quantitativo per permettere loro di determinare il mix ottimale di politiche di parts feeding.

Nel corso del Capitolo 1, grazie alla classificazione proposta da (Kilic & Durmusoglu, 2015) siamo stati in grado di identificare le seguenti 3 categorie fondamentali di politiche di parts feeding adottabili nelle linee di assemblaggio di un'azienda:

- Stoccaggio a bordo linea ("*line-side stocking*")
- Kitting
- Feeding a kanban ("*kanban-based feeding*"), anche nominata con il termine Just-In-Time ("*JIT*")

A queste si è aggiunta la 4° categoria del feeding ibrido che consiste nell'adozione di un mix di politiche di parts feeding tarate ad hoc su dei gruppi omogenei di componenti. Nel modello di (Caputo et al., 2015b) che verrà approfondito a seguire, verrà definita l'assegnazione della politica di feeding ottimale per ciascun tipo di componente, effettuando una scelta tra le tre precedentemente citate, e tenendo in considerazione il costo della forza lavoro, degli investimenti, del mantenimento dei WIP e infine dell'occupazione degli spazi, al fine di identificare quella politica che riesca a ridurre al minimo il costo complessivo di fornitura dei materiali alle linee di assemblaggio.

Verrà quindi fornita una descrizione accurata del modello decisionale proposto da (Caputo et al., 2015b), e a seguire verranno visualizzati anche i risultati di un'analisi di sensitività e una parametrica, dagli studi di (Caputo et al., 2018), in grado di mappare le aree nelle quali ciascuna politica di feeding è più conveniente delle altre, in modo tale da procedere quindi a una rapida selezione, su base economica, della miglior politica di feeding per ciascun tipo di parte.

2.1. Ipotesi di modellizzazione e notazione

Le ipotesi sulle quali si basa il modello proposto da (Caputo et al., 2015b) sono definite a seguire.

Innanzitutto, si tratta la casistica di un magazzino con un unico punto di ingresso e uscita I/O, e con una linea di assemblaggio monoprodotto composta da M workstations seriali, e con un tasso di produzione giornaliero costante.

L'orizzonte temporale considerato per la stima dei costi è di un giorno.

Si assume inoltre che ogni componente possa essere utilizzato in più workstations.

Per quanto riguarda il personale, si distingue nettamente quello addetto alla movimentazione dei materiali da quello di linea preposto alle operazioni di assemblaggio.

Per quanto riguarda le notazioni delle varie politiche di parts feeding, vale quanto segue. Un kit viene definito come un'unità di carico contenente l'insieme di tutti i componenti necessari per assemblare un'unità di prodotto finito.

I kit, preparati uno alla volta, vengono consegnati dall'area adibita al kitting, situata al punto di I/O del magazzino, alla prima workstation della linea di assemblaggio, e in seguito viaggiano insieme al prodotto finito lungo la linea: si assume quindi l'ipotesi di trattare esclusivamente kit da viaggio ("*travelling kits*").

Nelle politiche JIT e "*line-side stocking*", invece, ogni workstation ha a disposizione i propri container, i quali non possono essere condivisi tra più workstations.

Analizzando singolarmente queste due politiche, (Caputo et al., 2015b) sottolinea come nella politica JIT ciascuna workstation venga rifornita esclusivamente dei materiali richiesti, secondo un certo lead time (LT), i quali sono posti in contenitori separati dedicati ad ogni tipo di componente, e di conseguenza il numero di contenitori richiesti è in stretta relazione con il consumo giornaliero di parti/componenti, oltre che dal LT di rifornimento.

Nella politica di stoccaggio a bordo linea ("*line-side stocking*"), invece, ciascuna workstation contiene uno specifico contenitore per ogni distinto componente, rifornito periodicamente ad intervalli di tempo che dipendono dalla capacità di carico dei contenitori adottati.

Un'altra ipotesi del modello è che i contenitori di kit (opzione di kitting) e i contenitori di componenti (opzioni di JIT e "*line-side stocking*") siano trasportati tramite dei mezzi a velocità costante oppure tramite degli operatori a piedi.

Per semplicità, inoltre, l'attuale modello presuppone una singola dimensione di container per ciascuna politica di feeding, il che implica che nella politica di stoccaggio a bordo linea la dimensione del lotto non è oggetto di ottimizzazione, poiché dettato dal volume unitario dei componenti e dalla scelta effettuata sulle dimensioni dei container contenenti i componenti.

Considerato questo presupposto di fondo del modello, le dimensioni dei container potrebbero essere facilmente differenziate in base al tipo di componente, il che, come spiegato da (Caputo et al., 2015b), cambierebbe dal punto di vista della modellazione solamente il numero di parti contenute in un contenitore, che è un dato di input per il modello.

Le questioni relative alla scelta della dimensione dell'unità di carico sono state approfondite tra gli altri da (Hanson & Finnsgård, 2014), i quali affermano che "*sulla base di un caso di studio, è chiaro che l'efficienza dell'approvvigionamento dei*

materiali dell'impianto non è proporzionale alla dimensione delle unità di carico. Ci sono fondamentali differenze tra il modo in cui vengono consegnati pallet di grandi dimensioni rispetto ad unità di carico più piccole, il che significa che la crescente frequenza di consegne richieste per le unità di carico più piccole non comporta necessariamente un aumento del consumo di ore uomo".

Come sottolinea (Caputo et al., 2015b), questo suggerisce che lavorare con lotti di dimensioni predefinite potrebbe non risultare come una limitazione significativa di questo modello.

Considerando il prosieguo del flusso del materiale, i contenitori vuoti vengono restituiti al magazzino centrale per il rifornimento.

Per semplicità del modello, non vengono inclusi nell'analisi gli articoli eccezionali, come ad esempio quelli molto ingombranti e pesanti, che richiedono quindi un trattamento particolare.

Infine, va specificato ulteriormente che in questo modello viene assegnata una ed una sola politica di feeding a ciascun tipo di componente necessario per assemblare il prodotto finito, in modo tale da minimizzare una funzione obiettivo basata sui costi.

Procedendo adesso alla notazione, viene definita dal modello di (Caputo et al., 2015b) la seguente variabile binaria decisionale $X_{ip} \in [0, 1]$, dove:

- $i = 1, \dots, N$ è l'identificatore del tipo di componente
- $p = (1, 2, 3)$ è l'identificatore della politica di parts feeding con il significato spiegato di seguito:
 - $p = 1 \rightarrow$ politica di kitting
 - $p = 2 \rightarrow$ politica "line-side stocking" (LS)
 - $p = 3 \rightarrow$ politica JIT (feeding a kanban)

$$X_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{se la politica } p \text{ è assegnata al componente } i \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Le voci di costo incluse nel modello sono le seguenti:

- costo della forza lavoro \rightarrow include gli operatori necessari per frazionare i cartoni voluminosi e quelli adibiti al picking di componenti nel magazzino, per consegnare poi i materiali alle workstations, nonché la forza lavoro impegnata nella preparazione dei kit e del picking in linea
- costo di investimento \rightarrow investimenti per contenitori, scaffalature di stoccaggio e veicoli di trasporto (all'interno di questa voce non è incluso alcun costo di costruzione dell'impianto)
- costo di mantenimento dei WIP \rightarrow proporzionale al livello medio di scorte presente alle workstations
- costo di occupazione dello spazio \rightarrow proporzionale alla superficie occupata, in base alle scorte accumulate presso le workstations e al costo specifico dell'ingombro a pavimento

Nella formulazione adottata da (Caputo et al., 2015b) per la costruzione del modello, le funzioni dei costi sono espresse in termini marginali, nel senso che si calcola il contributo aggiuntivo al consumo di risorse e al costo complessivo che si genera quando un componente i viene assegnato a una determinata politica p di parts feeding.

In questo modo, indipendentemente dalla politica adottata per il singolo componente, il costo complessivo viene semplicemente calcolato sommando tutti i contributi di costi individuali, visti in precedenza, dei vari tipi di componente.

In realtà, come specificato in seguito dagli stessi (Caputo et al., 2015a), nel computo del costo complessivo, oltre alle quattro voci precedentemente citate, deve essere considerata anche una 5° voce di costo, vale a dire il costo di correzione degli errori (TECC), approfondita come le altre quattro voci di costo a seguire nel corso del Capitolo.

In conclusione, il costo complessivo giornaliero di feeding (€/giorno) sarà definito in questi termini:

$$C^{TOT}_{ip} = C^{M}_{ip} + C^{E}_{ip} + C^{WIP}_{ip} + C^{S}_{ip} + TECC$$

dove:

- C^{M}_{ip} è il costo marginale della forza lavoro (€/giorno), sostenuto quando viene selezionata la politica p per fornire il tipo di componente i
- C^{E}_{ip} è il costo marginale di investimento equivalente (€/giorno), sostenuto quando viene selezionata la politica p per fornire il tipo di componente i
- C^{WIP}_{ip} è il costo marginale di mantenimento dei WIP (€/giorno) sostenuto quando viene selezionata la politica p per fornire il tipo di componente i
- C^{S}_{ip} il costo marginale di occupazione dello spazio (€/giorno) sostenuto quando viene selezionata la politica p per fornire il tipo di componente i

A seguire verranno mostrate le equazioni per stimare le voci di costo nei tre casi considerati di kitting (p = 1), stoccaggio a bordo linea (p = 2) e JIT (p = 3).

2.2. Calcolo del costo marginale della forza lavoro

2.2.1. Politica di kitting

In questa politica di feeding, il numero equivalente richiesto di container di kit per contenere componenti/parti di tipo i, per prodotto finito unitario, è:

$$n_{cont\ kit, i} = \max\left(\frac{v_i n_i}{V_k}, \frac{p_i n_i}{p_{max}}\right)$$

che dipende da:

- volume del container di kit (V_k)
- peso massimo consentito del container (p_{max})
- peso unitario del componente i (p_i)
- volume unitario del componente i (v_i)
- numero di parti di tipo i richieste per un'unità di prodotto finito (n_i)

Ad eccezione del caso in cui i container siano riutilizzati due o più volte al giorno, il numero equivalente totale di container necessari per gestire l'i-esima parte per una produzione giornaliera D è pari a ($n_{cont\ kit, i} * D$).

Nella politica di kitting, gli operatori devono innanzitutto localizzare e raggiungere i componenti nelle loro rispettive posizioni di stoccaggio, in modo poi da poter

alimentare l'area adibita al kitting, dopodiché ne prelevano i singoli pezzi inserendoli nel container dei kit, e infine spostano i container dall'area kitting all'inizio della linea. Nel modello, (Caputo et al., 2015b) definisce come ($t_{r/s}$) il tempo medio impiegato dall'operatore per raggiungere la posizione di stoccaggio del componente i -esimo e in seguito per tornare all'area kitting: questo valore può essere stimato in base alla configurazione del magazzino, oltre che dalla specifica modalità di prelievo adottata. Un altro presupposto incluso nella formulazione del modello è che, quando un operatore raggiunge una locazione nel magazzino, può prelevare una quantità di parti di tipo i sufficienti per completare un numero Q di kit separati (con Q intero e ≥ 1), in modo da evitare di tornare in quella locazione per ogni nuovo kit da preparare.

Una volta che le parti sono state prelevate e portate all'area kitting, l'operazione di kitting può richiedere molto tempo perché in genere include le seguenti operazioni:

- conteggio e pesatura delle parti, per assicurarsi che venga incluso nel kit il numero giusto di parti
- preparazione dei componenti prima del loro inserimento nel kit (ad esempio operazioni di pulizia e controllo qualità, e così via)
- predisposizione dei kit, il che vuol dire che bisogna inserire i singoli pezzi nella giusta sequenza e nell'alloggiamento indicato, oltre che nel posizionamento corretto
- compilazione di un elenco dei componenti mancanti per il successivo completamento del kit

Viene definito come (t_{pick}) il tempo medio richiesto per il prelievo e il posizionamento di un'unità di una parte all'interno di un kit, che può essere calcolato ricorrendo ai classici metodi di misurazione dei tempi.

Una volta che il kit è stato completato e posizionato all'interno dell'apposito container, l'operatore procede al trasporto dei container di kit pieni dall'area di kitting alla linea di assemblaggio. Oltre a questa movimentazione, va considerato anche il flusso inverso di container vuoti alla linea che devono essere riportati all'area kitting.

Definito come ω il numero di container contemporaneamente movimentati dal veicolo di trasporto, si è in grado di calcolare il numero equivalente di spostamenti giornalieri per l' i -esima parte, che risulta essere pari a ($2 * n_{cont\ kit, i} * D/\omega$).

Ulteriori assunzioni sono che ogni viaggio coinvolge k operatori, e che il tempo di viaggio di sola andata sia L/V_V , stimato in base al layout dell'impianto (poiché L è la distanza tra l'area kitting e la prima workstation della linea), e alla velocità media del mezzo di trasporto del materiale (V_V).

Il tempo necessario impiegato dagli operatori di linea per prelevare i componenti alla loro workstation, ($n_i D$) * $2 L_{WSK}/V_O$, è incluso nel calcolo del costo complessivo della forza lavoro dal momento che potrebbe variare a seconda della politica di movimentazione dei materiali adottata.

Viene definita come V_O la velocità a piedi degli operatori, i quali devono percorrere la tratta L_{WSK} due volte (L_{WSK} è la distanza tra la posizione di assemblaggio e il punto di stoccaggio dei kit presso la workstation).

Nel calcolo del costo complessivo della forza lavoro viene trascurato il tempo che impiega l'operatore della workstation a cercare la parte giusta all'interno del container, poiché le parti, grazie alle operazioni di kitting, sono presentate già ordinate.

Il numero di lavoratori giornalieri necessari per la preparazione ed il trasporto dei kit può essere calcolato supponendo che ogni operatore lavori un turno giornalieri di h ore e che abbia un'efficienza pari a η_{op} .

In conclusione, il numero di lavoratori necessari moltiplicati per il loro salario giornaliero C_{op} (€/giorno) permette di calcolare il costo marginale del personale per la gestione dell' i -esima parte assegnata ad una politica di kitting, dalla seguente formula:

$$C_{i,1}^M = C_{op} \left\{ \frac{\left[\frac{t_{r/s}}{Q} + \left(t_{pick} + \frac{2L_{WSK}}{V_O} \right) n_i \right] D + \left[\left(\frac{2L_k}{V_V} \right) \frac{D n_{cont\ kit, i}}{\omega} \right]}{\eta_{op} h} \right\}$$

2.2.2. Politica di stoccaggio a bordo linea (“*line-side stocking*”)

Secondo questa politica di parts feeding, i contenitori, ciascuno dedicato a contenere uno specifico tipo di parte, vengono spostati dal magazzino fino all’intorno della workstation che andrà ad utilizzare quella parte per completare le proprie operazioni di assemblaggio.

Si può qui calcolare innanzitutto il numero equivalente Z_i di parti di tipo i che stanno all’interno di un container $Z_i = \min (V_C/v_i ; p_{max}/p_i)$.

Per semplicità, come affermato in precedenza, (Caputo et al., 2015b) suppongono che ci sia un’unica dimensione V_C di container per una determinata politica di feeding, e quindi che sia tale per tutti i tipi di parti gestite con la politica di “*line-side stocking*”. Questa considerazione vale allo stesso modo per la politica JIT (feeding a kanban), perciò le dimensioni dei container sono da considerarsi diverse nelle due politiche citate.

Ad ogni modo, questo modello, come specificato da (Caputo et al., 2015b), lascia l’utente libero di poter specificare una dimensione specifica di container per qualsiasi tipo di parte, all’interno della medesima politica, se necessario.

Ovviamente Z_i cambia, per un dato componente, secondo quelle che sono le dimensioni del container e i limiti di peso associati a ciascuna politica adottata.

Ne consegue che il numero equivalente di container da movimentare giornalmente verso la workstation j , nel caso in cui il componente i sia stato assegnato a una delle due politiche precedentemente citate, diventa $(D * n_{ij}/Z_i)$, dove n_{ij} è il numero di articoli dell’ i -esimo componente utilizzati nella j -esima workstation per unità di prodotto finito ($n_{ij} = 0$ se il componente i non è utilizzato nella workstation j).

Pertanto, si è in grado di calcolare anche il numero equivalente di viaggi giornalieri per rifornire la workstation j con i componenti i , assunto che ω è il numero di container trasportati contemporaneamente dal veicolo di trasporto selezionato, e questo numero è pari a $(D * n_{ij}/\omega Z_i)$.

Solitamente in questa politica $\omega = 1$.

Si è in grado di calcolare anche il tempo di viaggio (di sola andata) per raggiungere una generica workstation situata a una distanza L_{ws} dal magazzino, e questo tempo è pari a L_{ws}/V_V .

Come approfondito nel corso del Capitolo 1, nella politica di stoccaggio a bordo linea è compito dell’operatore di linea andare nell’intorno della propria workstation dove sono posizionati i container, e poi cercare e prelevare le parti necessarie per le sue operazioni di assemblaggio, perciò nel computo del costo della forza lavoro di questa politica di feeding va considerato anche il tempo che impiega l’operatore di linea per prelevare le parti, che è pari a $(n_i * D) * (t_{pb} + 2L_{BWS}/V_O)$, dove:

- L_{BWS} è la distanza (in un solo senso) tra la workstation e la posizione dove i container sono stoccati nell’intorno della workstation

- t_{pb} è il tempo necessario per cercare e prelevare ogni parte dalla posizione di stoccaggio dei container nell'intorno della workstation

In conclusione, il costo marginale del personale per l'i-esima parte, assegnata a una politica di “*line-side stocking*”, per rifornire tutte le stazioni che utilizzano quel tipo di parte e per prelevare le parti nell'intorno delle workstations, è dato dalla seguente formula:

$$C_{i,2}^M = C_{op} \left\{ \frac{\left[\left(t_{r/s} + t_{fr} + 2 \frac{L_{WS}}{V_V} k \right) \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega} \right) \right] + \left[\left(t_{pb} + \frac{2L_{BWS}}{V_O} \right) n_i D \right]}{\eta_{op} h} \right\}$$

2.2.3. Politica di feeding a kanban (JIT)

In questa politica si ha una struttura di costo, per quanto riguarda la forza lavoro, molto simile a quella precedente, ma come aggiunta qui si deve considerare la diversa logica, e cioè che i container dedicati a un tipo di parte vengono spostati da un'area di supermarket, e quindi non più dal magazzino come nella politica precedente, fino alla workstation che andrà ad utilizzare quella parte, da cui ne consegue che va qui considerato anche il rifornimento del supermarket.

Inoltre, i container delle parti vengono spostati dal supermarket alle workstations per mezzo di un treno con rimorchio che esegua la cosiddetta “*milk-run*”, ovvero un percorso chiuso circolare di lunghezza L_{MR} che collega il supermarket all'insieme di workstations da visitare.

Come nella precedente politica, anche qui viene considerato il tempo che impiega l'operatore di linea per il prelievo dei componenti dai rispettivi container nell'intorno della propria workstation.

Inoltre, sono qui mantenuti gli stessi valori di t_{pb} e di L_{BWS} utilizzati nella politica precedente.

Viene definita come L_{WH} la distanza tra il magazzino e il supermarket, e ω_{WH} è il numero di container movimentati contemporaneamente tra il magazzino e il supermarket.

$\sum_j (D n_{ij} / Z_i \omega_{WH})$ è il numero equivalente di corse giornaliere necessarie per rifornire il supermarket della parte i-esima (solitamente $\omega_{WH} \ll \omega$), mentre $2L_{WH} * k / V_V$ sono le ore uomo necessarie per svolgere un viaggio (andata più ritorno) tra il magazzino e il supermarket.

Viene anche qui considerato come $t_{r/s}$ il tempo necessario per raggiungere la locazione di stoccaggio all'interno del magazzino, mentre t_{fr} è il tempo fissato richiesto per frazionare le referenze e rifornire i ω_{WH} container da portare al supermarket.

In conclusione, è possibile trovare la seguente formula per il calcolo del costo marginale del personale per questo tipo di politica di parts feeding:

$$C_{i,3}^M = C_{op} \left\{ \frac{\left[\left[t_{r/s} + t_{fr} + \left(2 \frac{L_{WH}}{V_V} k \right) \right] \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega_{WH}} \right) \right] + \left[\left(\frac{L_{MR}}{V_V} k \right) \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega} \right) \right] + \left[\left(t_{pb} + \frac{2L_{BWS}}{V_O} \right) n_i D \right]}{\eta_{op} h} \right\}$$

Come ultima considerazione, (Caputo et al., 2015b) specificano che nel calcolo del costo margine del personale nelle politiche di “*line-side stocking*” e di feeding a kanban, i valori di $t_{r/s}$, t_{fr} , k e ω dipendono dalla politica di feeding adottata, siccome in queste due politiche le dimensioni dei container e dei mezzi di trasporto dei materiali differiscono.

2.3. Calcolo del costo marginale di investimento

Questa voce di costo, come specificato da (Caputo et al., 2015b), include il costo dei container, del capitale investito per lo stoccaggio e dei veicoli di movimentazione dei materiali (ad esempio carrelli elevatori, treni con rimorchio, ecc.), mentre vengono trascurati i costi operativi delle attrezzature di trasporto (energia e manutenzione), anche se queste all’occorrenza possono essere incluse nel costo giornaliero equivalente C_V del veicolo.

2.3.1. Politica di kitting

In questa politica l’investimento include il costo dei container dei kit e dei veicoli per il trasporto dei kit, da cui risulta il seguente costo marginale di investimento giornaliero:

$$C_{i,1}^E = C_c (D n_{cont\ kit, i}) + C_V \left(\frac{2L}{V_v h} \frac{D n_{cont\ kit, i}}{\omega} \right)$$

dove:

- C_c è il costo unitario giornaliero equivalente del container
- L è la lunghezza del viaggio (sola andata) dall’area di kitting all’inizio della linea
- V_v è la velocità media del veicolo di trasporto del materiale

Ulteriore assunzione specificata da parte di (Caputo et al., 2015b) nella formulazione del modello è che ogni insieme di container di kit viene utilizzato solamente una volta al giorno e rifornito il giorno successivo.

2.3.2. Politica di stoccaggio a bordo linea (“*line-side stocking*”)

In questa politica l’investimento iniziale include il costo dei container dei singoli componenti, dei veicoli di trasporto, e delle scaffalature di stoccaggio poste nelle prossimità delle workstations.

Per quanto riguarda la voce di costo dei container, questa è calcolata come il numero di container necessari per contenere e trasportare le parti nelle varie workstations moltiplicato per il costo unitario dei container.

In genere, la logica di questa politica di feeding è che venga lasciato un singolo container per ciascun tipo di componente su ogni workstation che utilizzi quel componente, mentre NS_i è il numero di diverse workstations che utilizzano l’ i -esimo tipo di parte.

Nel computo del costo dell’investimento dei container va raddoppiato il numero il numero di container per il fatto che, mentre questi vengono posizionati nelle prossimità della workstation indicata, un numero uguale viene allo stesso tempo rifornito al magazzino in modo da permettere lo switch tra un container vuoto e uno pieno.

Passando alla voce di costo dell'investimento delle scaffalature, aventi un costo giornaliero per unità di volume pari a C_{SRU} , queste servono esclusivamente per immagazzinare i container trasportati e lasciati nelle prossimità della workstation. La quantità di spazio delle scaffalature dipende chiaramente dal volume unitario del container V_c .

Troviamo infine la voce di costo dell'investimento dei veicoli necessari per la movimentazione dei container di parti dal magazzino alla linea di assemblaggio: considerando un numero ω di container trasportati contemporaneamente dal veicolo (con ω intero e ≥ 1), tale voce di costo viene calcolata come il rapporto tra le ore giornaliere richieste per il trasporto, ovvero il numero di viaggi equivalenti richiesti $\sum_j (D n_{ij}/\omega Z_i)$, moltiplicato per la durata di un viaggio (andata + ritorno) ovvero $2L_{WS}/V_v$, alla disponibilità di ore di lavoro giornaliera h , da cui ne risulta la seguente formula per calcolare il costo marginale di investimento per gestire l' i -esima parte:

$$C_{i,2}^E = C_c 2NS_i + C_V \left(\frac{2L_{WS}}{V_v h} \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega} \right) \right) + C_{SRU} NS_i V_c$$

2.3.3. Politica di feeding a kanban (JIT)

Il calcolo qui è molto simile a quello visto in precedenza per la politica di “*line-side stocking*”, con la differenza che in questa politica di feeding sono necessari rifornimenti giornalieri multipli di container dalle dimensioni più piccole, in modo tale che lo stesso container possa essere utilizzato più di una volta.

Il numero medio equivalente di container portati e lasciati alla j -esima workstation, tale da garantire la produttività giornaliera desiderata, è in relazione al LT di rifornimento secondo la legge di Little, e vale $(D n_{ij} LT/Z_i)$.

Tuttavia, dal momento che viene utilizzato un container dedicato per ogni tipo di parte, dovrebbe effettivamente rimanere sulla workstation un numero intero di container α_{ij} (almeno uguale a 1) per ogni tipo di componente assegnato a questa politica di feeding. Di conseguenza, il numero equivalente di container deve essere arrotondato al numero intero successivo ($\alpha_{ij} \neq 0$ se l' i -esimo componente non è utilizzato sulla j -esima workstation):

$$\alpha_{ij} = \left\lceil \frac{Dn_{ij} LT}{Z_i} \right\rceil$$

Come nella politica precedente, anche qui va raddoppiato il numero complessivo di container per il fatto che i container vuoti vengono scambiati con dei container pieni provenienti dal supermarket, perciò si arriva in conclusione alla seguente formula per il calcolo del costo marginale di investimento nella politica JIT:

$$C_{i,3}^E = 2C_c \sum_j \alpha_{ij} + C_{VRS} \left(\frac{2L_{WH}}{V_v h} \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega_{WH}} \right) \right) + C_{VMR} \left(\frac{L_{MR}}{V_v h} \sum_j \left(\frac{Dn_{ij}}{Z_i \omega} \right) \right) + C_{SRU} V_c \sum_j \alpha_{ij}$$

dove:

- C_{VRS} è il costo giornaliero equivalente del mezzo di trasporto che rifornisce il supermarket

- C_{VMR} è il costo giornaliero equivalente del treno con rimorchio che effettua la “*milk-run*” per rifornire le workstations

2.4. Calcolo del costo marginale di mantenimento dei WIP

2.4.1. Politica di kitting

In questa politica la prima workstation contiene ω kit, mentre le restanti $M-1$ workstations contengono ciascuna un kit da viaggio (“*travelling kits*”).

Si presuppone che C_{stdi} sia il costo unitario giornaliero di mantenimento dell’ i -esima parte, risultante dal valore monetario del componente moltiplicato per il costo unitario di carico giornaliero di WIP.

Ulteriore considerazione posta da (Caputo et al., 2015b) è relativa al fatto che all’inizio della linea ciascun kit contiene l’intera molteplicità n_i dell’ i -esima parte necessaria per un’unità di prodotto finito, mentre a fine linea risulta vuoto, da cui ne consegue che il numero medio di parti su ciascuna workstation è pari a $n_i/2$, ad eccezione della prima workstation dove è pari a $n_i\omega/2$, per cui in definitiva il costo marginale di mantenimento dell’ammontare medio di WIP è dato dalla seguente formula:

$$C_{i,1}^{WIP} = \frac{1}{2} C_{stdi} n_i (M - 1 + \omega)$$

2.4.2. Politica di stoccaggio a bordo linea (“*line-side stocking*”)

In questa politica di feeding il costo di mantenimento dei WIP è pari al costo di mantenimento dell’ammontare medio di materiale nei container posizionati nelle prossimità delle linee di assemblaggio.

La quantità media di WIP per l’ i -esima parte fornita a una generica workstation è pari a $Z_i/2$, siccome ogni container include al suo interno un massimo di Z_i articoli, e supponendo inoltre che sulla workstation sia rimasto un unico container, altrimenti questo valore dovrebbe essere moltiplicato per ω .

Infine, questo ammontare medio di WIP deve essere moltiplicato per il numero di diverse workstation che contengono e quindi utilizzano quel tipo di parte, da cui ne risulta la seguente formula finale:

$$C_{i,2}^{WIP} = \frac{1}{2} N S_i (C_{stdi} Z_i)$$

2.4.3. Politica di feeding a kanban (JIT)

In questa politica di feeding si ha un ammontare medio di componenti contenuti nei α_{ij} container alla j -esima workstation, ciascuno con una capacità di Z_i pezzi, è pari a $Z_i\alpha_{ij}/2$, da cui ne risulta la seguente formula finale:

$$C_{i,3}^{WIP} = \frac{1}{2} C_{stdi} Z_i \sum_j \alpha_{ij}$$

2.5. Calcolo del costo marginale di occupazione dello spazio

2.5.1. Politica di kitting

Dal punto di vista dei requisiti di spazio all'interno dell'impianto industriale, nel caso in cui vengano trasportati e accumulati più kit presso la prima workstation, il costo marginale del consumo di spazio è pari al costo unitario giornaliero dello spazio a pavimento (C_{FS}) moltiplicato per la superficie marginale occupata, da cui ne risulta la seguente formula finale:

$$C_{i,1}^S = C_{FS} \left[\frac{(a_k b_k) n_{cont\ kit,i} \omega}{n_{sl}} \right]$$

dove:

- n_{sl} è il numero di container che possono essere impilati in una colonna
- a_k e b_k sono la lunghezza dei lati della base dei container dei kit.

Discorso diverso invece per i kit da viaggio (“*travelling kits*”), il cui spazio occupato alle workstations può essere trascurato, siccome i kit viaggiano insieme alle parti parzialmente assemblate lungo lo stesso sistema di movimentazione dei materiali. Se così però non fosse, il costo alle altre ($M-1$) workstations, in termini di occupazione dello spazio, può essere calcolato secondo la precedente equazione, ma assumendo $\omega = 1$ ne risulterebbe invece la seguente formulazione:

$$C_{i,1}^S = C_{FS} \left[\frac{(a_k b_k) n_{cont\ kit,i}}{n_{sl}} \right] (M - 1 + \omega)$$

2.5.2. Politica di stoccaggio a bordo linea (“*line-side stocking*”)

In questa politica si assume che possano essere accatastati fino a n_{sl} container, aventi un'area di base pari ad $(a_k * b_k)$, a formare una pila composta da container comprendenti diversi tipi di parti.

Ogni qualvolta un nuovo componente viene assegnato a una politica di “*line-side stocking*”, ne consegue un'occupazione di spazio di almeno un container aggiuntivo, supponendo che in ciascuna workstation che utilizzi quel tipo di parte sia immagazzinato un solo container della suddetta parte, ma ad ogni modo ciò comporta un aumento dell'ingombro effettivo nell'impianto solamente quando il numero complessivo di container supera un multiplo di n_{sl} , poiché solamente in questo caso dovrebbe essere eretta una nuova catasta o una nuova colonna di scaffalatura.

Nella seguente formulazione, anziché calcolare l'occupazione dello spazio di ogni articolo immagazzinato a bordo linea in ogni workstation e sommare poi ciascun contributo individuale, può essere invece calcolato il volume complessivo del pallet degli articoli assegnati a questa politica di feeding in una workstation, da cui questo calcolo si può tradurre in un'occupazione di superficie complessiva dato l'input dell'altezza di impilamento massima consentita.

Questa procedura può essere utilizzata per calcolare il costo di occupazione dello spazio, oltre che per verificare che non venga sforata la superficie di stoccaggio consentita.

Ad ogni modo, nella formulazione di questo modello, (Caputo et al., 2015b) assumono che solamente un container per tipo di parte venga utilizzato su ciascuna workstation utilizzando quella parte ($\omega = 1$), perciò ne risulta la seguente formula finale:

$$C_{i,2}^S = C_{FS} NS_i \left[\frac{(a_c b_c)}{n_{sl}} \right]$$

2.5.3. Politica di feeding a kanban (JIT)

In questa politica, essendo α_{ij} il numero di container da immagazzinare presso la j -esima workstation per un tipo di parte, ed essendo n_{sl} l'altezza della pila, allora viene assunta la seguente formula per il calcolo del costo marginale di occupazione dello spazio:

$$C_{i,3}^S = C_{FS} \left[\sum_j \frac{(a_c b_c) \alpha_{ij}}{n_{sl}} \right]$$

Tuttavia, in questa formula, la sommatoria all'interno della parentesi quadra va addizionata a un termine SM_{FS} che rappresenta la superficie equivalente addizionale occupata dai container di parti immagazzinati presso il supermarket. Questo termine può essere stimato come la superficie totale del supermarket moltiplicata per il rapporto tra il volume dei container immagazzinati nel supermarket e il volume totale di immagazzinamento del supermarket.

2.6. Calcolo del costo marginale di correzione degli errori

2.6.1. Politica di stoccaggio a bordo linea (“line-side stocking”)

Questa voce di costo si verifica quando il materiale viene consegnato erroneamente alla workstation per mezzo del sistema di movimentazione del materiale, e quando ciò accade ne possono conseguire degli errori in fase in assemblaggio.

Abbiamo già visto che i sistemi di “line-side stocking” implicano una logica di tipo push, dove cioè i pianificatori della produzione, una volta ricevuto un ordine cliente e generato il corrispettivo ordine di produzione, emettono degli ordini di consegna del materiale per alimentare le varie workstations.

In Figura 15 viene visualizzato un albero degli eventi semplificato, che ha la funzione di illustrare un'analisi completa di tutte le possibili condizioni di errore.

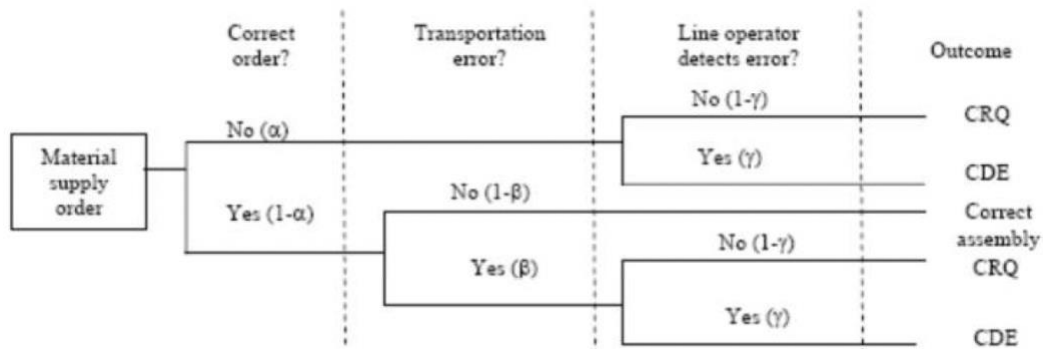


Figura 15 Schema degli errori in una politica di “line-side stocking”

Si tratta ovviamente di uno schema molto semplificato, poiché considera un container alla volta e trascura anche l'interazione tra errori e multipli sequenze di errori. Viene fornita però un'ottima illustrazione grafica della sequenza dei possibili eventi che si potrebbero verificare seguendo la logica di questa politica di feeding, dove per ogni evento in un nodo vengono considerati solamente due possibili risultati (sì/no), e viene visualizzato anche l'esito finale, ovvero il CRQ e il CDE, di cui forniremo le definizioni a seguire, oppure ancora il corretto assemblaggio.

Associato all'esito di un evento ci sono anche le rispettive probabilità di occorrenza (α , β , γ e valori a loro complementari), le quali possono essere indovinate oppure possono anche essere ottenute tramite osservazioni di carattere sperimentale.

Seguendo la sequenza indicata dallo schema di cui sopra, viene assunto da (Caputo et al., 2015a) che in primo luogo possa verificarsi un errore a livello di generazione dell'ordine.

Se invece in questo punto non viene commesso alcun errore, potrebbe verificarsi un errore a livello di trasporto, che può essere causato o da un errore di prelievo nel magazzino o anche da un errore per quanto riguarda il punto di consegna.

Se si dovesse però verificare un errore di trasporto, l'operatore di linea potrebbe accorgersene, attivando così una procedura di correzione dell'errore, come anche potrebbe non accorgersene procedendo così nei suoi task di assemblaggio.

Come già citati in precedenza, ci sono due possibili esiti nel caso in cui venga commesso un qualche tipo di errore, e questi sono i seguenti:

- CDE – “*Detected Error Correction*” (€/container) è il costo sostenuto per correggere tutti gli errori rilevati sulle workstation, e quindi per sostituire il container errato;
- CRQ (€/pezzo) è invece il costo di qualità causato da tutti gli errori non rilevati che determinano quindi l'accettazione di un container errato oltre che un suo utilizzo, almeno parziale. Tale costo si calcola per ciascun componente errato che viene comunque assemblato sulla workstation, da cui ne consegue una correzione di separazione a fine linea.

In particolare, il costo di correzione degli errori rilevati (CDE) include il costo del dover trasportare il container errato nuovamente al magazzino, oltre che la sua sostituzione con il container corretto. Ne deriva la seguente formula:

$$CDE = \left(t_{r/s} + t_{fr} + 4t_{L/U} + \frac{2L_{WS}}{V_V} \right) C_{oh}$$

dove:

- $t_{r/s}$ è il tempo impiegato dall'operatore per localizzare e raggiungere i componenti nel magazzino
- t_{fr} è il tempo impiegato per il prelievo frazionato delle parti al magazzino
- $t_{L/U}$ è il tempo di carico e scarico dei container movimentati giornalmente
- L_{WS} è la distanza tra il magazzino e le workstation
- V_V è la velocità media del veicolo adibito al trasporto del materiale
- C_{oh} (€/h) è il costo orario dell'operatore

Il tempo speso per recuperare il container sostitutivo è incluso solamente come costo, anche se questo passaggio aumenterebbe i requisiti in termini di forza lavoro che però, essendo qui già considerati come un costo, non vanno a modificare l'equilibrio economico.

Ulteriore assunzione specificata da (Caputo et al., 2015a) è che la procedura di correzione degli errori venga effettuata da un operatori jolly e non quindi dall'operatore di linea, in modo che il ritmo di assemblaggio non venga rallentato.

Il valore di CRQ non viene qui calcolato poiché, dipendendo dall'assetto organizzativo della specifica azienda, viene definito direttamente dall'utente.

Secondo l'impostazione dell'albero di cui sopra, la probabilità di un esito CDE per un generico container è pari a $P_{CDE} = \gamma [\alpha + \beta - \alpha\beta]$, mentre la probabilità di un esito CRQ è pari a $P_{CRQ} = (1 - \gamma) [(\alpha + \beta - \alpha\beta)]$.

In definitiva, il costo totale annuo di correzione degli errori per tutti i container movimentati annualmente per soddisfare la domanda annua D_Y dato dalla seguente formula:

$$TECC = \left[(n_m P_{CDE} CDE) + \left(\frac{1}{2} \sum_{j=i}^M \sum_{i=1}^N P_{CRQ} CRQ D n_{ij} \right) \right] D_Y$$

dove n_m è il numero di container movimentati giornalmente.

2.6.2. Politica di feeding a kanban (JIT)

Anche per questa politica di feeding è possibile adottare lo stesso ragionamento del caso precedente.

A differenza della "line-side stocking", però, nella politica JIT il container viene prelevato dal supermarket e da qui destinato alla workstation assegnata.

(Caputo et al., 2015a) hanno sviluppato un ulteriore albero degli eventi, mostrato in Figura 16.

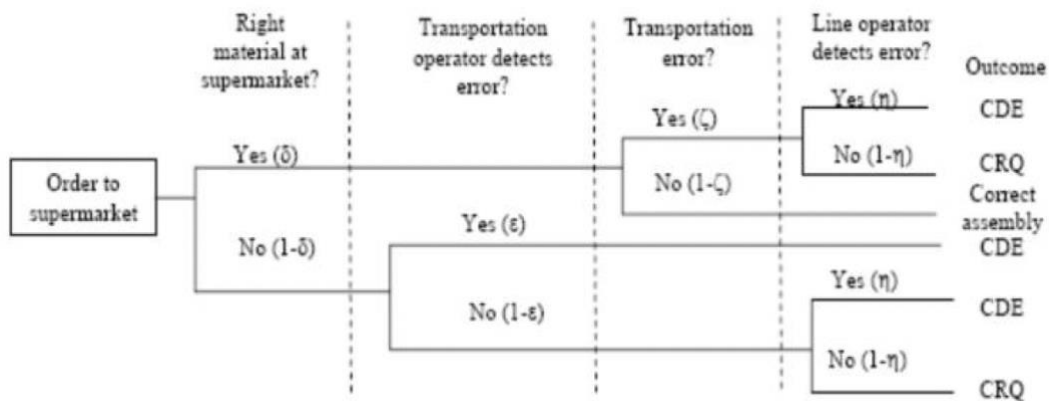


Figura 16 Schema degli errori in una politica JIT

Un primo errore può verificarsi a livello del supermarket se vi viene immagazzinato il container errato, a causa di un errore nel processo di rifornimento dal magazzino centrale.

Se dovesse verificarsi questo tipo di errore, l'addetto al trasporto potrebbe rilevare o meno questo errore. Nel caso non lo rilevasse, verrebbe caricato sul veicolo il container

sbagliato, da cui partirebbe la procedura di correzione degli errori con un costo CDE (€/container) per la sostituzione del container errato con quello corretto. Nel caso invece in cui venga caricato sul veicolo il container giusto, potrebbe però verificarsi un errore di trasporto, analogamente alla politica precedente. Se il container errato venisse effettivamente consegnato alla sua workstation, come prima l'operatore di linea potrebbe accorgersene, attivando la procedura di correzione dell'errore a un costo CDE, come anche no, determinando così un costo di qualità CRQ (€/pezzo) per ogni componente errato che viene comunque assemblato, da cui ne conseguirebbe una correzione separata a fine linea. Come prima, anche qui ad ogni evento sono associate delle probabilità di accadimento. La probabilità di un esito CDE, per un generico container, è pari a $P_{CDE} = \delta\zeta\eta + [(1 - \delta)\varepsilon] + [(1 - \delta)(1 - \varepsilon)\eta]$, mentre la probabilità di un esito CRQ è $P_{CRQ} = \delta\zeta(1 - \eta) + [(1 - \delta)(1 - \varepsilon)(1 - \eta)]$. La formula per il costo totale annuo di correzione degli errori è stimata ricorrendo alla formula vista per la politica di “*line-side stocking*”, riportata a seguire:

$$TECC = \left[(n_m P_{CDE} CDE) + \left(\frac{1}{2} \sum_{j=i}^M \sum_{i=1}^N P_{CRQ} CRQ D n_{ij} \right) \right] D_Y$$

2.7. Modello di ottimizzazione

Una volta definite le formule per il calcolo delle voci di costo marginali, il modello di ottimizzazione di (Caputo et al., 2015b), basato sulla programmazione lineare intera, può manifestarsi nella seguente funzioni obiettivo, la quale mira, come affermato in fase di introduzione del modello, a minimizzare il costo complessivo giornaliero, le cui componenti sono proprio le quattro voci di costo individuate precedentemente, e alle quali andrebbe aggiunto anche il costo per la correzione degli errori (TECC):

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N \sum_{p=1}^3 \left(C_{i,p}^M + C_{i,p}^E + C_{i,p}^{WIP} + C_{i,p}^S \right) x_{i,p}$$

dove valgono le seguenti 4 condizioni:

$$\sum_{i \in J} \left\{ x_{i,2} \left[\frac{C_{i,2}^S}{C_{FS}} \right] + x_{i,3} \left[\frac{C_{i,3}^S}{C_{FS}} \right] \right\} \leq S_{jAv}$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,1} \left[\frac{C_{i,1}^S}{C_{FS}} \right] \leq S_{KS}$$

$$\sum_{p=1}^3 x_{i,p} = 1$$

$$x_{i,p} \in (0, 1)$$

La 1° condizione afferma che, dato un set J di tipi di componenti utilizzati in una generica workstation j (j = 1, 2, ..., M), la superficie effettivamente occupata per l'immagazzinamento delle parti è ≤ della superficie disponibile (S_{j Av}) nelle prossimità della suddetta workstation.

Tale vincolo trova applicabilità solamente in caso di politiche di feeding di “*line-side stocking*” e di feeding a kanban (JIT), ovvero in quelle casistiche nelle quali la superficie nelle prossimità delle workstation viene occupata dall'immagazzinamento di container di parti, siccome viene considerato trascurabile lo spazio occupato da un singolo kit da viaggio.

La 2° condizione, invece, afferma che la superficie occupata dai container di kit presso la prima workstation è coerente con lo spazio effettivamente disponibile (S_{Ks}) per l'immagazzinamento di molteplici kit all'inizio della linea.

Si tratta di un vincolo che si applica solamente alla prima workstation e non anche alle altre poiché i kit entrano in linea uno alla volta, oltre che per il fatto che in una qualsiasi workstation è presente sempre un kit alla volta.

La 3° condizione impone che venga assegnata una ed una sola politica di feeding a un qualsiasi tipo di parte, e che ogni tipo di parte sia assegnato a una politica di feeding.

La 4° condizione, infine, ribadisce che una qualsiasi variabile decisionale X_{ip} debba assumere solamente i valori 0 e 1.

Ulteriore assunzione specificata da (Caputo et al., 2015b) è che, quando il modello non è utilizzato per una pianificazione a lungo termine di un nuovo sistema di assemblaggio ma piuttosto per riorganizzare il sistema di fornitura del materiale nelle strutture esistenti, allora i responsabili dell'impianto possono anche avere un requisito ulteriore di non dover assumere nessun nuovo operatore.

Se vale questo, allora può essere incluso un ulteriore vincolo nella formulazione del modello:

$$\frac{1}{C_{op}} \sum_{i=1}^N [x_{i,1}C_{i,1}^M + x_{i,2}C_{i,2}^M + x_{i,3}C_{i,3}^M] \leq NoP_{Av}$$

dove il termine a sinistra rappresenta il numero complessivo di operatori necessari per fornire tutti i componenti richiesti dal sistema di assemblaggio con le rispettive politiche di feeding assegnate loro, mentre il termine a destra rappresenta invece il numero di operatori disponibili.

2.8. Analisi di sensitività e analisi parametrica

Il modello di (Caputo et al., 2015b) illustrato in precedenza consente di calcolare le funzioni costo di feeding per ciascun tipo di componente in base alle logiche di ciascuna politica e alle caratteristiche delle parti stesse, fornendo così al decisore aziendale un metodo quantitativo che guidi nella selezione della politica di feeding ottimale per ciascun tipo di parte.

Grazie a delle ricerche ancora più specifiche, gli autori (Caputo et al., 2018) sono riusciti ad approfondire ulteriormente le funzioni di costo, valutando il come e il perché il costo di parts feeding è influenzato dalle caratteristiche intrinseche delle parti, in modo da motivare perché una politica di feeding risulti essere più o meno conveniente, economicamente parlando, per un determinato tipo di parte.

Per raggiungere questo obiettivo, (Caputo et al., 2018) hanno condotto un'analisi di sensitività, ovvero un'analisi nella quale si modificano, uno alla volta, i valori degli attributi delle parti (costo, volume e peso unitari), e in seguito si confrontano i risultati in termini di costo totale, in modo da verificare se le caratteristiche intrinseche delle parti possono determinare o meno una condizione di pareggio tra le varie politiche di feeding.

In seguito, (Caputo et al., 2018) hanno eseguito un'analisi parametrica volta a mappare lo spazio delle caratteristiche delle parti, in modo da dimostrare come gli attributi dei componenti siano una variabile chiave nel processo di selezione della politica di feeding ottimale dei materiali.

2.8.1. Analisi di sensitività

Si tratta, come già anticipato in precedenza, di un'analisi che permette di mostrare come varia il costo totale quando viene modificato, uno alla volta, il valore di una delle tre caratteristiche delle parti, in modo da verificare qual è o quali sono le variabili che incidono maggiormente sulla funzione del costo totale di una determinata politica di feeding.

(Caputo et al., 2018) hanno condotto questo tipo di analisi con riferimento a due tipologie distinte di parti:

- Tipo A: si tratta di una parte di piccole dimensioni, che si trova frequentemente nei piccoli assemblaggi
- Tipo B: si tratta di una parte di dimensioni maggiori, che si trova invece negli assemblaggi più grandi

Siccome la struttura delle funzioni di costo è determinata dalle tre caratteristiche delle parti, modificando queste, quindi passando da una parte di tipo A a una di tipo B, la struttura di costo cambia a sua volta, così come il livello di sensitività del costo complessivo dalla modifica di ogni caratteristica delle parti.

Nello studio condotto da (Caputo et al., 2018), come mostrato in Tabella 4, vengono assunti i seguenti valori nominali per le caratteristiche delle parti di riferimento, mentre la loro molteplicità nell'articolo finale è assunta come $n = 1$.

Perciò, nel corso dell'analisi, quando verrà fatto variare il valore di un attributo, gli altri saranno fissati ai valori nominale espressi nella Tabella 4.

	Component	
	Type A	Type B
Volume (cm ³)	400	27,000
Weight (kg)	0.8	5
Cost (€/item)	3.3	25

Tabella 4 Valori nominali delle caratteristiche delle parti di tipo A e di tipo B

Per quanto riguarda invece i valori dei parametri del modello, questi vengono mostrati da (Caputo et al., 2018) nella Tabella 5 sulla base della loro esperienza nei sistemi di assemblaggio. Tali valori, come specificano gli autori stessi, hanno solamente uno scopo dimostrativo, sebbene comunque siano stati scelti per essere il più possibile rappresentativi della realtà.

$a_c \times b_c \times c_c$	0.6 × 0.4 × 0.15 m (K); 0.3 × 0.6 × 0.2 m (JIT); 0.8 × 1.2 × 0.9 m (LS)	L_{WS}	50 (m)
C_{op}	123 (€/day)	L_{WSK}	1 (m)
C_{FS}	0.68 (€/m ² day)	M	10
C_c	0.1 (K), 0.0091 (JIT), 0.091 (LS) (€/day)	n_{st}	10 (K), 6 (JIT), 2(LS)
C_{SRU}	0.05 (€/m ³ day)	p_{max}	15 (K), 25 (JIT), 350 (LS) (kg)
C_V	22.7 (€/day)	Q	20
C_{VMR}	22.7 (€/day)	t_{fr}	20 (s/carton)
C_{VRS}	13.6 (€/day)	t_{pb}	3 (s/part)
D	300 (units/day)	t_{LU}	20 (LS), 10 (JIT), (s)
h	8 (h/day)	t_{pick}	10 (s/component)
i	40 (%/yr)	$t_{r/s}$	120 (s/trip)
k	1	V_c	0.036 (K), 0.036 (JIT), 0.864 (LS) (m ³)
L	20 (m)	V_k	0.7 (K), 1.1 (0.036 × ω_{WH} =30) (JIT), 1.7 (LS) (m ³)
L_{BWS}	2 (m)	V_O	2500 (m/h)
L_{MR}	300 (m)	η_{op}	0.75
L_{WH}	50 (m)	V_V	2500 (m/h)

Tabella 5 Valori dei parametri del modello

Partendo dalle parti di tipo A, viene visualizzato l'impatto a livello grafico (Figure 17-19) dei tre attributi delle parti (costo, volume e peso unitari) sul costo di feeding complessivo.

In questi grafici viene riportato solamente il costo complessivo giornaliero di ciascuna politica di feeding, dato dalla somma delle voci di costo citate nel corso dei precedenti paragrafi tramite le rispettive equazioni, e con riferimento ai valori dei parametri mostrati in Tabella 5.

Nella Figura 17 viene mostrata la variazione del costo totale in base alle modifiche del costo unitario della parte in questione, anche se questo influisce esclusivamente sul costo di mantenimento dei WIP.

Va però ricordato che ogni politica di feeding è dominata da una voce di costo diversa. Andando ad analizzare il comportamento osservato in Figura 17 politica per politica, possiamo osservare che nelle politiche di kitting e JIT non si ha una grandissima variazione del costo totale al variare del costo unitario dell'articolo, poiché si tratta di due politiche di feeding che, utilizzando piccoli container contenenti poche parti, hanno un costo di mantenimento del WIP relativamente basso, mentre sarà chiaramente maggiore il costo di manipolazione dei materiali a causa della maggior frequenza di movimentazione. Non a caso le strutture di costo di queste due politiche di feeding sono "dominate" dai contributi dei costi di gestione e della forza lavoro.

Tra queste due politiche notiamo anche che la politica di kitting si assesta su valori di costo complessivo maggiori per via dell'importante contributo del costo della forza lavoro che è superiore rispetto alla politica JIT a causa della preparazione dei kit.

Al contrario, il costo totale della politica "line-side stocking" (LS), utilizzando grandi container contenenti un gran numero di parti, sarà maggiormente sensibile all'elevato costo di mantenimento dei WIP, e infatti notiamo come all'aumentare del costo unitario di ciascuna parte il costo di mantenimento dei WIP e di conseguenza il costo complessivo aumentano a loro volta.

Come controparte, nella politica LS si ha un minor costo di manipolazione dei materiali, poiché sono necessari meno viaggi rispetto alle altre due politiche per portare i container nell'intorno delle workstations, e infatti dal grafico possiamo notare che, quando il costo unitario della parte si assesta su valori bassi, questa politica di feeding non è così influenzata dal costo di mantenimento dei WIP e inoltre, grazie a dei bassi costi di gestione, risulta essere così più vantaggiosa rispetto al kitting. Tuttavia, a causa della maggior sensibilità della politica LS al costo unitario della parte, vista

l'importanza della voce di costo del mantenimento dei WIP in questa politica, all'aumentare del costo unitario della parte si genera un punto di pareggio con la soluzione JIT.

In definitiva, possiamo qui concludere che la politica LS è svantaggiata, dal punto di vista economico, solamente nel caso in cui la parte abbia un elevato costo unitario. La politica JIT risulta essere quella con i costi totali inferiori, a causa dei minori costi di gestione rispetto al kitting e ai minori costi di immagazzinamento rispetto alla LS.

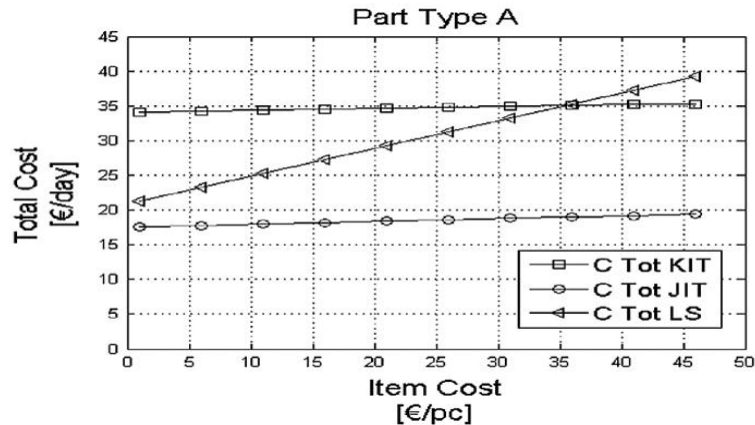


Figura 17 Costo totale di feeding vs costo unitario della parte

Analizzando adesso il volume unitario della parte, notiamo in Figura 18 gli effetti di una sua variazione sul costo complessivo giornaliero di feeding.

Quando il volume unitario della parte aumenta ne consegue un maggior numero di container da dover movimentare, per via del minor numero di parti che possono essere contenute all'interno di ciascun container.

Questa semplice considerazione ha un impatto sul costo di trasporto in primis perché, dovendo trasportare giornalmente un maggior numero di container aumenta la frequenza di movimentazione e quindi i relativi costi, e poi anche sul costo di mantenimento dei WIP.

Dal grafico si nota come tra le tre politiche di feeding, l'unica che presenta un andamento abbastanza stabile del costo totale giornaliero al variare del volume unitario delle parti è l'opzione dello stoccaggio a bordo linea (LS), per via del fatto che si verifica una compensazione tra i costi di mantenimento inferiori (minori WIP da dover gestire) e i costi di manipolazione dei materiali più elevati (maggior frequenza di trasporto).

Nelle opzioni del kitting e del feeding a kanban (JIT), al contrario, si nota un significativo aumento del costo totale giornaliero all'aumentare del volume unitario delle parti, dovuto al fatto che il considerevole aumento dei costi di trasporto, voce di costo determinante in queste due politiche di feeding, non viene compensato dalla riduzione dei WIP come nella politica LS, siccome quest'ultima non è una voce di costo particolarmente impattante nel kitting e nel JIT.

In effetti, nel confrontare le politiche di kitting e JIT a livello di costi, gioca un ruolo molto importante il volume unitario della parte, e in particolare, sebbene questa determini un impatto simile sui costi di trasporto, nell'opzione JIT determina un aumento del costo totale molto più significativo al crescere del volume unitario della parte, come si può osservare a livello grafico dalla Figura 18.

Questo è dovuto al fatto che un container utilizzato nel feeding JIT contiene parti simili e quindi non appena il volume unitario di ciascuna parte aumenta, diminuisce di

conseguenza anche il numero totale di parti che possono essere contenute in un container, mentre nel kitting, avendo parti diverse, l'aumento delle dimensioni di una parte non necessariamente comporta un aumento delle dimensioni di altre parti. In definitiva è stato trovato un punto di pareggio tra le opzioni kitting e JIT, al di là del quale, e quindi all'aumentare del volume unitario della parte, la soluzione del kit diventa più vantaggiosa del JIT.

È stato trovato inoltre un altro punto di pareggio tra le politiche LS e JIT per le parti con un volume unitario molto basso, mentre non appena questo aumenta la soluzione dello stoccaggio a bordo linea è sempre più vantaggiosa a livello di costi.

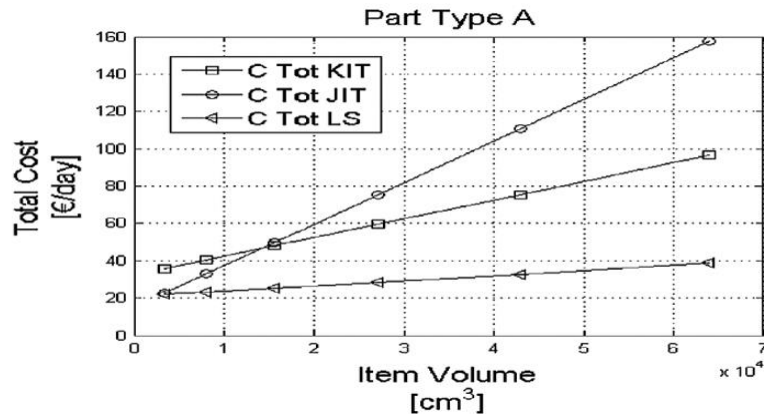


Figura 18 Costo totale di feeding vs volume unitario della parte

Viene infine analizzato l'impatto di una variazione del peso unitario delle parti sul costo di feeding complessivo giornaliero, come mostrato in Figura 19.

Si può innanzitutto notare di come l'andamento del costo nella politica LS rimanga a livelli pressoché stabili e oltretutto bassi, per via del basso costo di gestione delle parti (meno viaggi da fare per unità di tempo) oltre che del basso costo di mantenimento dei WIP (il peso della singola parte non impatta direttamente sul WIP).

Nelle altre due politiche di feeding, al contrario, si verifica un aumento lineare del costo totale di feeding all'aumentare del peso unitario della parte, dovuto al fatto che aumentano i viaggi da dover effettuare per unità di tempo per via dei limiti di peso impostati al carico di movimentazione dell'unità.

Come si può però vedere in Figura 19 la soluzione JIT risulta essere comunque più vantaggiosa rispetto al kitting, poiché in quest'ultima si ha un notevole aumento dei costi della forza lavoro.

Viene evidenziato infine un punto di pareggio tra le politiche di stoccaggio a bordo linea e di feeding a kanban (JIT), dove per le parti con un peso unitario inferiore a quello di pareggio, l'opzione JIT risulta essere più vantaggiosa.

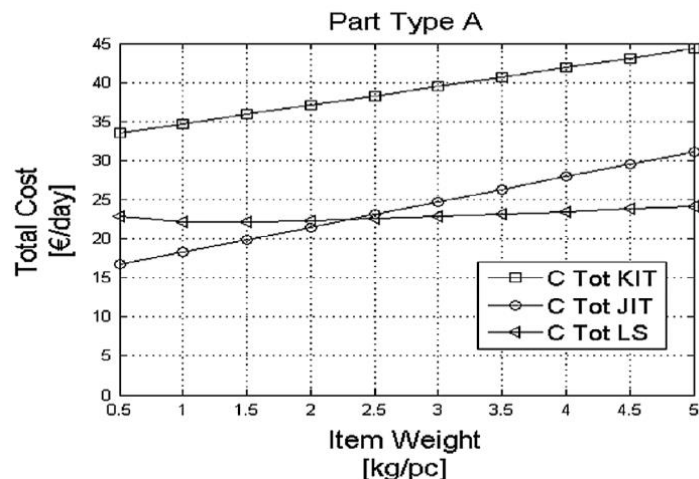


Figura 19 Costo totale di feeding vs peso unitario della parte

Completata la rassegna sull'impatto delle variazioni dei tre attributi delle parti sul costo di feeding complessivo, viene da (Caputo et al., 2018) effettuata un'ulteriore indagine sull'impatto che ha una variazione delle dimensioni del container delle parti sul costo di feeding totale giornaliero, e presentato graficamente nella Figura 20.

Anche in questa casistica la soluzione dello stoccaggio a bordo linea (LS) rimane su valori pressoché stabili, ancora una volta per la compensazione che si verifica tra i costi di manipolazione inferiori (minor frequenza di trasporto) e di mantenimento dei WIP più elevati (più WIP da dover gestire), all'aumentare delle dimensioni del container delle parti.

Nelle altre due politiche di feeding, invece, si assiste a un aumento del costo di feeding totale, che risulta particolarmente rapido nell'opzione JIT, all'aumentare delle dimensioni del container.

Quest'ulteriore analisi ci dimostra ancora una volta di come la selezione della politica di feeding più appropriata per un tipo di parte debba tenere in debita considerazione la questione inerente le dimensioni dei container.

Come sottolineato da (Hanson & Finnsgård, 2014), infatti, le dimensioni del container, oltre a impattare sul trade-off tra costi di manipolazione dei materiali e di mantenimento dei WIP, influiscono anche sull'efficienza del singolo assemblatore poiché determinano le modalità con le quali le parti sono presentate alle varie workstations.

I seguenti studi (Finnsgård et al., 2011; Hanson & Medbo, 2012; Neumann & Medbo, 2010; Wänström & Medbo, 2008) hanno infatti dimostrato che container di grandi dimensioni potrebbero richiedere più tempo all'operatore per essere raggiunti e inoltre potrebbero rendere più scomoda la presa della parte in essi contenuta, con un aumento del tempo ciclo e dello stress ergonomico.

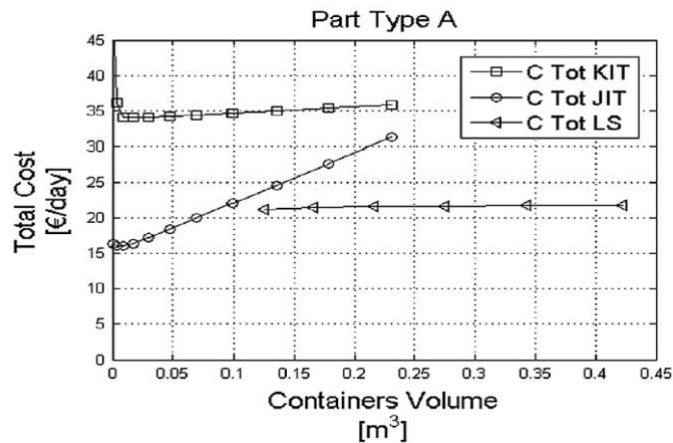


Figura 20 Costo totale di feeding vs dimensioni del container

(Caputo et al., 2018) hanno in seguito analizzato la situazione per le parti di tipo B, da cui sono giunti ai grafici di sensitività mostrati nelle Figure 21-24.

Anche graficamente ci si accorge subito di come l’impatto del volume unitario della parte (Figura 20) e delle dimensioni del container (Figura 24) nel caso di una parte di tipo B non si discosti da quanto detto in precedenza per la parte di tipo A.

Analizzando le Figure 21-24 si nota soprattutto che la politica di stoccaggio a bordo linea (LS) rappresenta l’opzione più vantaggiosa in assoluto, anche grazie al ridotto costo della forza lavoro e anche di mantenimento dei WIP.

Nel caso di una parte di tipo B, infatti, il costo totale non è più influenzato dal costo unitario di questa poiché il volume unitario della parte di tipo B è qui superiore a quello di una parte di tipo A, da cui diminuisce di conseguenza il numero di articoli contenuti in un container, e questo non fa altro che compensare la variazione del costo unitario. L’andamento del costo rimane pressochè stabile in tutte e tre le politiche di feeding al variare del peso unitario della parte, per via del fatto che nelle politiche di kitting e JIT, date le dimensioni maggiori delle parti, il volume unitario delle parti diventa l’attributo chiave per le voci di costo dei trasporti e della forza lavoro, come evidenziato a livello grafico nella Figura 22.

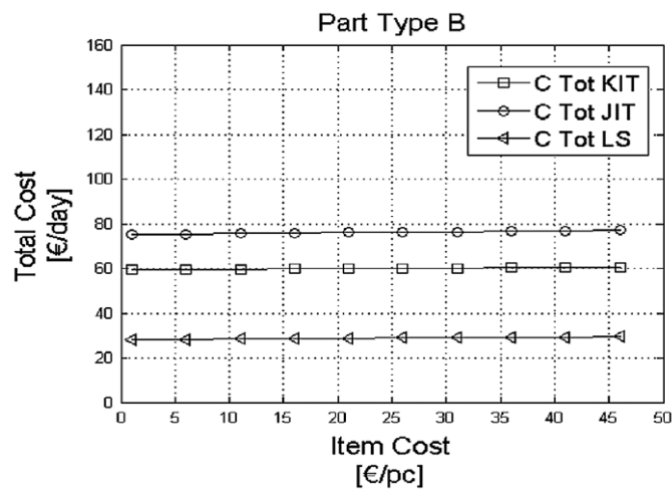


Figura 21 Costo totale di feeding vs costo unitario della parte

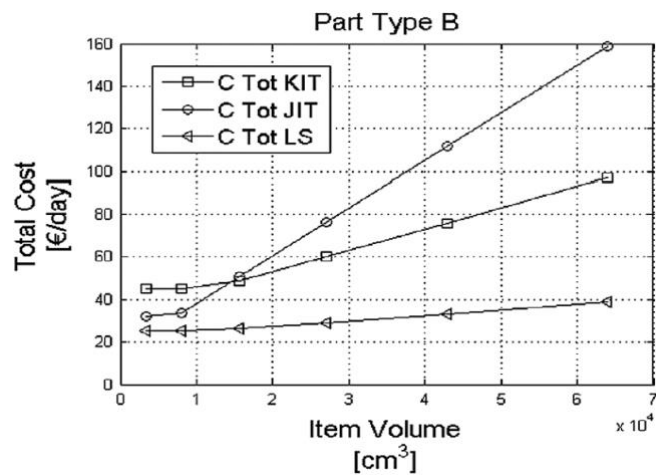


Figura 22 Costo totale di feeding vs volume unitario della parte

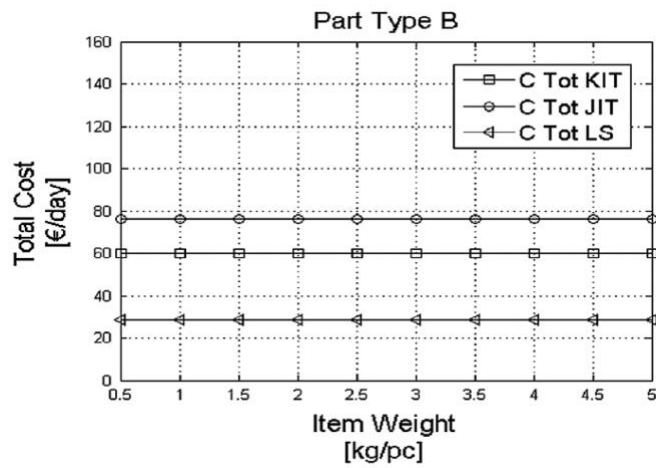


Figura 23 Costo totale di feeding vs peso unitario della parte

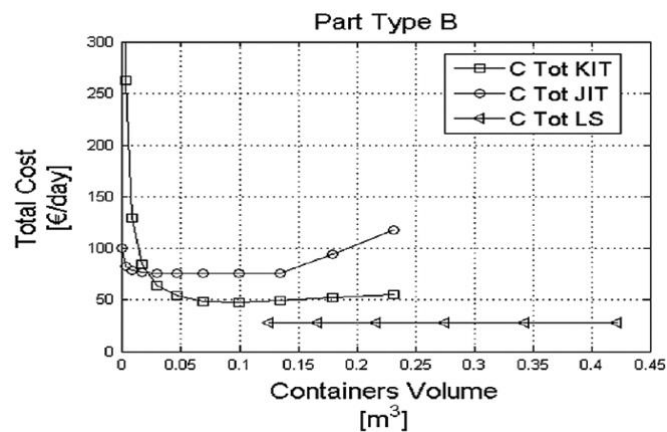


Figura 24 Costo totale di feeding vs dimensioni del container

Come specificato da (Caputo et al., 2018) i risultati qui forniti fanno esplicito riferimento ai valori numerici assunti nelle Tabelle 4-5, ma ad ogni modo questi possono essere generalizzabili, poiché mostrano come si modifica il costo totale di feeding, nelle sue componenti, al variare dei tre attributi delle parti. Perciò, a prescindere dai valori numerici assunti per le tre caratteristiche delle parti, viene fornita una spiegazione circa il loro impatto sulle varie voci di costo, ed infatti gli

stessi (Caputo et al., 2018) affermano che la selezione della politica di feeding ottimale dipende fortemente da questi tre attributi della parte in questione, oltre che dallo specifico scenario economico in cui l'azienda si trova ad operare.

Quest'analisi di sensitività, di conseguenza, dimostra che è particolarmente importante effettuare una valutazione delle caratteristiche geometriche delle parti coinvolte nello specifico sistema di assemblaggio, poiché in base a queste può cambiare la politica di feeding ottimale da adottare, al fine di minimizzare i costi complessivi di feeding.

2.8.2. Analisi parametrica

Grazie all'analisi di sensitività di cui sopra è stato possibile illustrare come le caratteristiche delle parti influenzino il costo di feeding complessivo.

Tuttavia, come affermato più volte in precedenza, si tratta di un'analisi che permette di valutare l'andamento del costo di feeding complessivo al variare di una sola caratteristica della parte alla volta, e di conseguenza se dovessero variare contemporaneamente tutte e tre le caratteristiche della parte si giungerebbe senz'altro a diverse scelte per quanto riguarda la politica di feeding ottimale da adottare.

Per risolvere questo limite dell'analisi di sensitività, gli autori (Caputo et al., 2018) hanno condotto la seguente analisi parametrica volta a esplorare il cosiddetto "spazio delle caratteristiche delle parti", nel quale ogni punto corrisponde a una specifica "tripla" intesa come costo, volume e peso unitario della parte, e quindi identifica in modo univoco uno specifico tipo di parte.

Per ogni punto di questo spazio può quindi essere calcolato il costo di feeding totale secondo le tre politiche considerate.

Nelle seguenti Figure 25-27 fornite dagli stessi (Caputo et al., 2018) viene individuata la politica di feeding al minor costo per ogni punto dello spazio esaminato, grazie a un sistema a colori.

In definitiva, siccome la tripla di caratteristiche di una specifica parte determina il costo di feeding complessivo, tramite queste mappature parametriche si può visualizzare istantaneamente quella che è la politica maggiormente conveniente a livello economico per quello specifico tipo di parte.

Ai fini della valutazione parametrica, mentre lo scenario considerato rimane lo stesso già utilizzato nell'analisi di sensitività (Tabella 5), vengono considerati dagli autori (Caputo et al., 2018) i seguenti intervalli di valori delle tre caratteristiche delle parti:

- $5 < \text{costo unitario} < 1000 \text{ €/parte}$
- $0,05 < \text{peso unitario} < 20 \text{ kg/parte}$
- $100 < \text{volume unitario} < 12000 \text{ cm}^3/\text{parte}$

Per evitare combinazioni irrealistiche, (Caputo et al., 2018) hanno inoltre considerato i seguenti intervalli di valori per le seguenti grandezze:

- $100 < \text{densità apparente materiale} < 4500 \text{ kg/m}^3$
- $1 < \text{costo unitario materiale} < 3500 \text{ €/kg}$

I risultati dell'analisi parametrica, con riferimento a questi intervalli di valori, sono riportati nella seguente Figura 25, nella quale lo "spazio delle caratteristiche delle parti" viene esplorato gradualmente per visualizzare anche i punti interni, e dove il colore associato ad ogni punto indica la politica di feeding al minor costo.

Una prima considerazione è relativa al fatto che per valori di peso unitario elevati l'opzione dello stoccaggio a bordo linea (LS) risulta essere sempre la politica ottimale al minor costo lungo tutti gli intervalli dei valori di costo e volume unitario.

Al contrario, in caso di parti molto leggere, risulta essere più vantaggiosa l'opzione JIT almeno fino a quando rimane basso il volume unitario, poiché quando aumenta quest'ultimo diventano preferibili le soluzioni LS e kitting, almeno quando il costo unitario della parte si assesta su valori bassi o alti.

La politica JIT risulta essere la politica al minor costo a meno che non siano elevati i valori di costo e volume unitario, poiché in questo caso diventerebbe più vantaggiosa la soluzione del kit per via dei minori costi di trasporto e di mantenimento dei WIP, o a meno che non siano bassi i costi unitari, poiché in questo caso diventerebbe preferibile l'opzione dello stoccaggio a bordo linea (LS) per via del fatto che si renderebbero quasi irrilevanti i costi di mantenimento dei WIP, o che siano elevati i volumi unitari.

Complessivamente, l'opzione del kitting risulta essere estremamente penalizzata dall'elevato costo della manodopera necessaria per il prelievo dei singoli pezzi per quanto riguarda la preparazione dei kit.

Ciò nonostante, si potrebbe preferire il kitting quando ci sono limitazioni di spazio nelle workstations o in caso di produzione mixed models.

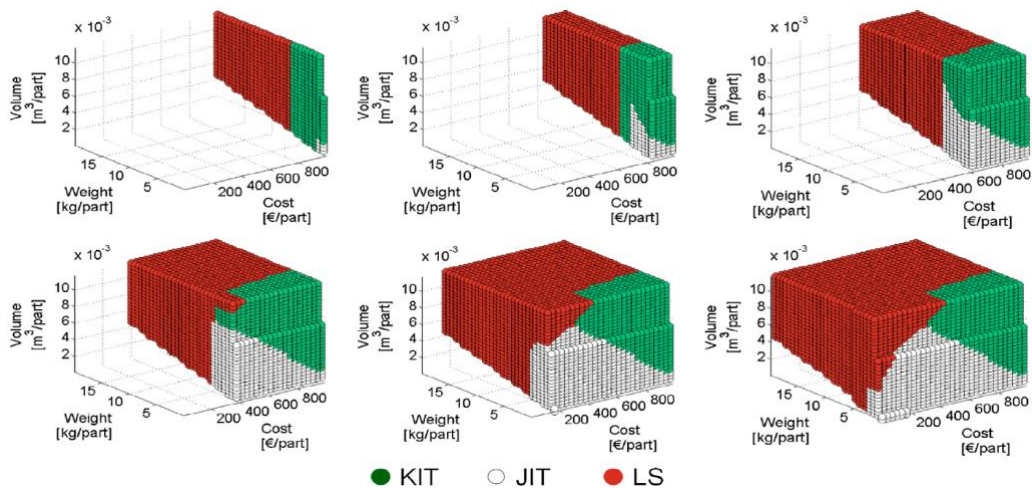


Figura 25 Mappatura della politica di feeding al minor costo nello "spazio delle caratteristiche delle parti" considerato

La selezione della politica di feeding ottimale, tuttavia, non può prescindere dalla considerazione dello scenario economico (ad esempio domanda giornaliera, stipendi degli operatori) nel quale opera l'azienda in questione, ed è per questo che, siccome si presume che un'azienda sia consapevole dell'ambiente nel quale opera, è possibile che l'azienda stessa si sviluppi una propria mappatura per il proprio scenario.

(Caputo et al., 2018) hanno quindi effettuato un'ulteriore analisi sull'impatto di scenari economici alternativi, e il cui risultato viene visualizzato nelle Figure 26 e 27.

In questa, la domanda giornaliera è passata da 20 a 600 parti/gg, il costo orario degli operatori da 5,7 a 28 €/h, e il costo specifico di mantenimento unitario dal 10 al 70%/anno.

L'analisi di (Caputo et al., 2018) viene ripetuta per due tipi di parti, ovvero parti di tipo C e di tipo D, come illustrato in Tabella 6.

	Component	
	Type C	Type D
Volume (cm ³)	1500	8000
Weight (kg)	0.2	5
Cost (€/item)	150	400

Tabella 6 Valori nominali delle caratteristiche delle parti per l'analisi dello scenario economico

Avendo modificato i tipi di parti di riferimento rispetto alla precedente analisi e avendo quindi cambiato lo scenario economico dell'azienda, i risultati dell'analisi parametrica sono ben differenti, come si può notare dalla Figura 26.

Per la parte di tipo C si può notare a livello grafico che la politica di stoccaggio a bordo linea non è mai l'opzione al minor costo, ma lo sono le opzioni del kitting e del JIT. Il JIT è la politica ottimale grazie ai bassi costi di mantenimento, tranne che nei casi in cui il costo unitario di mantenimento risulta essere elevato e il costo orario dei lavoratori basso poiché in queste condizioni la politica del kitting risulta essere più vantaggiosa a livello economico per via dei costi di prelievo accessibili e al minimo costo dei WIP.

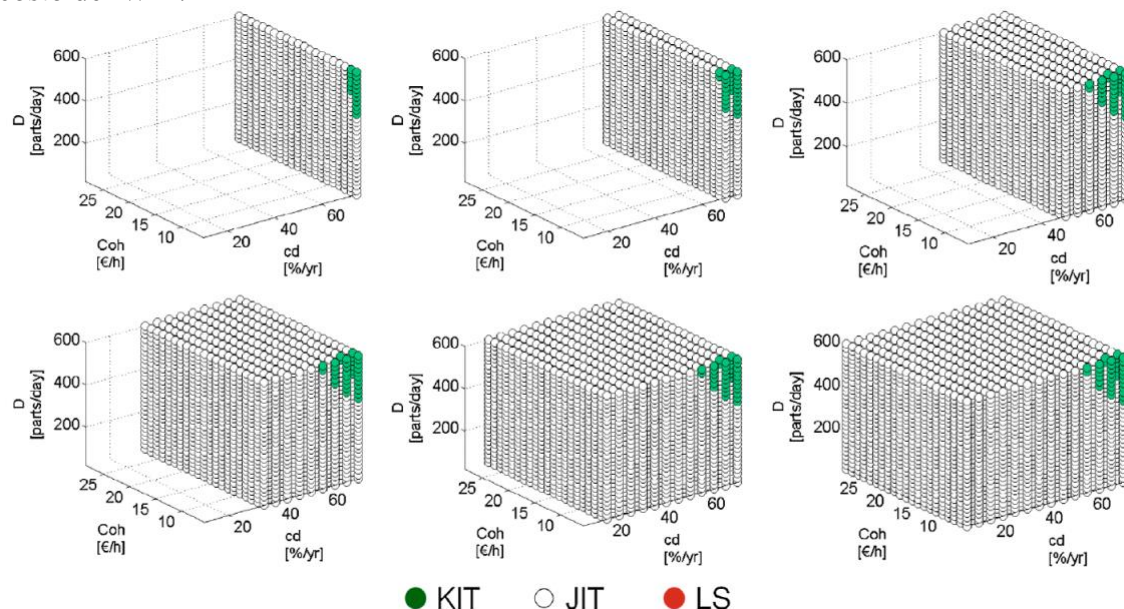


Figura 26 Mappatura della politica di feeding al minor costo nello scenario considerato per le parti di tipo C (D = domanda giornaliera; C_{oh} = costo orario operatori; cd = costo specifico di mantenimento unitario)

Lo stesso tipo di analisi viene ripetuta da (Caputo et al., 2018) anche con riferimento alla parte di tipo D, da cui si trovano i risultati illustrati graficamente in Figura 27. Si tratta di una parte che, rispetto alla parte di tipo C vista precedentemente, presenta un considerevole aumento del peso unitario e del volume, per cui aumenta in modo considerevole il costo della forza lavoro per il trasporto dei container. Graficamente si può notare che l'opzione LS risulta essere la politica al minor costo nei casi di un'elevata domanda giornaliera. Quando questa diminuisce e si assesta su livelli bassi, diventa invece preferibile la soluzione del JIT poiché il costo di mantenimento dei WIP diventa inferiore, mentre al contrario in queste condizioni la politica dello stoccaggio a bordo linea ha un costo più elevato specialmente a causa degli elevati costi di mantenimento dei WIP.

Infine, troviamo una piccola area di convenienza per quanto riguarda la politica del kitting, che soprattutto a causa dei costi di manodopera elevati diventa preferibile solamente quando il costo di mantenimento è elevato e il costo orario del lavoro basso.

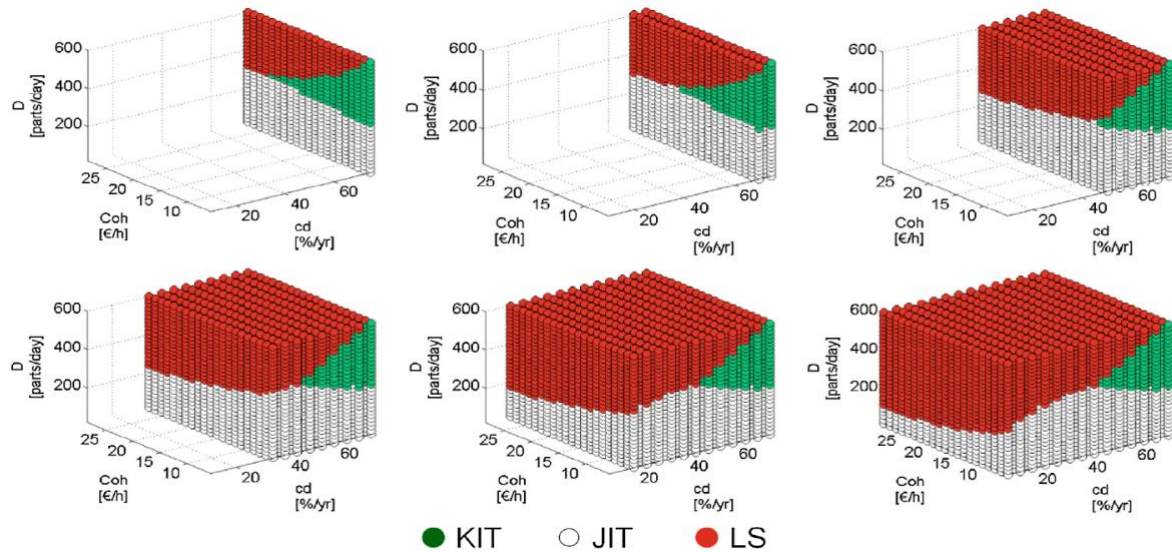


Figura 27 Mappatura della politica di feeding al minor costo nello scenario considerato per le parti di tipo D

La considerazione principale che ci fornisce questo tipo di analisi è che la politica di feeding ottimale per un determinato tipo di parte può dipendere più o meno dalle modifiche allo scenario economico nel quale opera l'azienda in questione.

La scelta della politica di feeding può considerarsi robusta quando per il tipo di parte considerata esiste una politica di feeding dominante indipendente dallo scenario economico, mentre nei casi in cui questa scelta risulti essere particolarmente sensibile alle modifiche allo scenario, allora in questo caso probabilmente la miglior strada sarà quella di scegliere la politica in funzione dello scenario attuale, con un continuo occhio di riguardo verso possibili cambiamenti ad esempio a livello di domanda giornaliera che potrebbero cambiare la convenienza economica della politica precedentemente selezionata.

I risultati dell'analisi parametrica e di scenario forniti da (Caputo et al., 2018) vengono sintetizzati nella Tabella 7, riportata a seguire.

Policy	Advantaged when
Kitting	<ul style="list-style-type: none"> • Unit cost is high • Unit volume is high • Labour cost is low • Unit weight is low • Limited space at workstations • Mixed model production
Just in time	<ul style="list-style-type: none"> • Unit cost is intermediate • Unit volume is low • Labour cost is high • Unit weight is low • Limited space at workstations • Mixed model production
Line storage	<ul style="list-style-type: none"> • Unit cost is low • Unit volume is high • Labour cost is high • Unit weight is high • Ample space at workstations • Single model production

Tabella 7 Confronto economico delle politiche di feeding

2.9. Discussione e limitazioni del modello

Lo scopo principale delle analisi condotte da (Caputo et al., 2018) è quello di dimostrare come la selezione della politica di feeding ottimale sia particolarmente sensibile alle modifiche alla cosiddetta tripla di caratteristiche delle parti (costo, volume e peso unitario) nonché allo scenario economico in cui opera l'azienda, sottolineando l'esistenza di trade-off tra le diverse politiche di feeding tra il costo della manodopera e il costo di mantenimento dei WIP o ancora con il costo di occupazione dello spazio. Sebbene i risultati presentati da (Caputo et al., 2018) facciano riferimento a dei valori specifici assunti nelle ipotesi dello studio, questi possono essere in parte generalizzabili, poiché riescono a chiarire, almeno a livello qualitativo, quali sono le influenze e i relativi impatti delle variabili considerate sulla funzione del costo totale.

L'utilità principale del modello descritto nel corso di questo Capitolo risiede nel fatto che viene fornito un approccio consistente per selezionare rapidamente la politica di feeding al minor costo, tenendo conto di quelli che sono gli attributi delle parti considerate, nonché dello scenario economico specifico dell'azienda in questione.

Dunque, effettuare una stima dei costi derivanti da una determinata politica di feeding è certamente il primo passo utile quantomeno per restringere il ventaglio delle opzioni di partenza, anche se poi va comunque ricordato che un decisore aziendale resta libero di scegliere la politica di feeding anche in base ad altri aspetti non considerati nel modello di (Caputo et al., 2018), e che potrebbero quindi portare alla selezione di una politica sub-ottimale, ma che però riesce a fornire altri tipi di vantaggi a livello operativo.

Una volta che è stato individuato un mix di politiche di feeding tramite le quali gestire le parti coinvolte nel sistema di assemblaggio, ed è stato calcolato il costo complessivo di questo mix, va considerato che potrebbero verificarsi dei fenomeni trascurati in questo modello come, ad esempio, delle economie di scala dalla condivisione delle risorse, o al contrario un utilizzo incompleto delle risorse.

Il modello analizzato inoltre, focalizzandosi esclusivamente sulle voci di costo diretto analizzate precedentemente, trascura tutta una serie di fattori qualitativi che comportano

senz'altro dei costi, e che potrebbero quindi modificare la convenienza economica di una politica di feeding a favore di un'altra.

Sono stati condotti per l'appunto una serie di studi, come ad esempio quelli di (Caputo et al., 2015b; Caputo & Pelagagge, 2011; Hanson, 2012; Hanson & Brolin, 2013; Hua & Johnson, 2010; Wänström & Medbo, 2008), i quali riportano alcuni aspetti qualitativi da tenere in considerazione, come ad esempio il grado di controllo della qualità, il supporto all'assemblaggio, il controllo del flusso con i suoi problemi di visibilità, l'ergonomia, la sicurezza dei materiali, l'obsolescenza, la compatibilità con un'ampia varietà di prodotti e frequenti variazioni di mix, e così via.

Il processo di selezione della politica di feeding si riflette a cascata su molteplici altri aspetti, quali in primis le dimensioni dei container e quindi incide sulla frequenza di movimentazione per soddisfare le richieste, ma anche sul layout dell'area di stoccaggio nelle prossimità delle workstations oltre che sulle modalità con le quali le parti sono presentate agli operatori di linea, e tutte queste decisioni contribuiscono in seguito a determinare il ritmo produttivo della linea stessa.

Da tutte queste considerazioni gli autori del modello qui proposto (Caputo et al., 2018) sono stati in grado di elaborare la Tabella 8, riportata a seguire, nella quale viene proposto un confronto qualitativo delle tre politiche di feeding considerate.

	Kitting	JIT	LS
Picking labour	H	L	L
Line-side space occupation	L	I	H
Transportation labour	H	H	L
Space occupation for materials preparation	H	I	L
WIP at workstations	L	I	H
Degree of quality control	H	L	L
Support of assembly task	H	I	L
Ergonomic quality	H	I	L
Compatibility with large-sized parts	L	I	H
Compatibility with high-mix and low-volume production	H	I	L
Ease of implementation	L	I	H
Material flow simplification	H	I	H
Stock availability at workstations	L	H	H
Flexibility	H	I	L
Control and visibility	H	I	L
Material security	H	L	L
Administrative and control burden	H	H	L
Obsolescence prevention	H	I	L
Ease of implementation	L	I	H

Legends: H = High; I = Intermediate; L = Low.

Tabella 8 Confronto qualitativo delle performance delle politiche di feeding considerate

Come analizzato in precedenza, nella selezione della politica di feeding gioca un ruolo fondamentale lo scenario economico nel quale opera l'azienda in questione, e quindi è molto importante tenere in considerazione la domanda media giornaliera e il mix di produzione. Non a caso, questo modello è principalmente destinato a un utilizzo di medio termine (alcuni mesi o anni), e quindi, specialmente per quelle aziende che introducono di continuo nuovi prodotti o che effettuano frequentemente variazioni nel mix di prodotti offerti, la selezione del mix di politiche dovrebbe di conseguenza essere rivista in modo tale da adattarsi alle nuove modifiche del proprio scenario economico. Sempre con riferimento all'orizzonte temporale, in genere per la stima dei costi ci si riferisce al periodo di un giorno. Come specificato anche da (Caputo et al., 2018), l'unica voce di costo sensibile a questo periodo di tempo considerato è relativa agli investimenti effettuati, come ad esempio i container, le scaffalature, ecc., e che quindi sono calcolate facendo riferimento alla loro vita utile.

Oltretutto, l'investimento iniziale, come ribadito più volte anche dagli stessi (Caputo et al., 2018), potrebbe essere più elevato per alcune politiche e minore per altre, anche se va ricordato che, specialmente nel caso di scaffalature, mezzi di trasporto e così via, queste non sono da considerarsi dedicati perché infatti potrebbero essere riutilizzati anche in caso di un cambio della politica di feeding.

Passando ad analizzare adesso i limiti del modello, un primo possibile ostacolo potrebbe essere dato dalla grande quantità di dati necessari per la sua applicazione, anche se comunque la maggior parte di essi dovrebbero essere già noti, come ad esempio le caratteristiche geometriche delle parti coinvolte nel sistema di assemblaggio, altri invece possono essere facilmente calcolati, come ad esempio le distanze tra magazzino e workstations, mentre altri ancora dovrebbero essere già conosciuti dalla direzione aziendale, come ad esempio la domanda media giornaliera o anche il costo orario degli operatori.

È certamente un limite del modello invece il fatto che non vengono considerati tutta una serie di fattori qualitativi, come quelli precedentemente elencati.

Inoltre, il modello assume l'ipotesi di linee di assemblaggio a modello singolo, ignorando di conseguenza la variabilità causata da cambiamenti nel mix produttivo.

In conclusione, si può anche considerare il fatto che, adottando un mix di politiche di feeding diverse tramite le quali gestire le tipologie diverse di parti coinvolte nel sistema di assemblaggio, si potrebbero generare degli squilibri a livello organizzativo, pertanto dovrebbe anche essere approfondito la tematica delle possibili sinergie tra diversi sistemi di feeding operanti nel medesimo impianto industriale.

Tracciando quindi un breve riassunto, grazie all'utilizzo di questo modello è stato ed è possibile analizzare l'andamento delle funzioni di costo delle varie politiche di feeding considerate, nelle sue componenti principali, in funzione delle caratteristiche delle parti e dello scenario economico nel quale opera l'azienda in questione, giustificando quindi al meglio la selezione della politica di feeding al minor costo per ciascun tipo di parte.

CAPITOLO 3: Caso studio aziendale Samo S.p.A.

Nel corso di questo Capitolo verrà fornita una presentazione dell'azienda nella quale il sottoscritto ha svolto il tirocinio formativo, ovvero la Samo S.p.A.

Verranno inizialmente trattati aspetti generali, come la missione e i valori aziendali, i passaggi storici del Gruppo cui Samo S.p.A. fa parte, le sedi/stabilimenti, i marchi posseduti, fino ad arrivare ad aspetti maggiormente tecnici e relativi al progetto di rifacimento del sistema produttivo avviato verso novembre 2021 in collaborazione con l'Università di Padova, di cui il sottoscritto ha avuto il piacere di partecipare e contribuire.

3.1. Presentazione dell'azienda

La Samo S.p.A. è un'azienda italiana fondata nel 1960 da Orvile Venturato, con sede a Bonavigo (VR), che opera nel settore dell'arredobagno, realizzando tra i propri prodotti:

- cabine doccia
- pareti vasca
- piatti e colonne doccia

L'azienda, riconosciuta come protagonista nel settore sia in Italia che all'estero grazie ad una serie di filiali in Francia, Spagna, Belgio e Svizzera, può contare su oltre 250 dipendenti suddivisi nei suoi 4 stabilimenti produttivi (per un totale di 55000 mq complessivi), grazie ai quali riesce a generare una potenzialità produttiva che può arrivare anche fino alle 2000 cabine doccia al giorno.

Grazie alla creazione nel 2013 del Gruppo Samo Industries in seguito all'acquisizione da parte della famiglia Venturato, già proprietaria dei marchi Samo S.p.A. e Siro S.r.l., del marchio Inda, storico brand italiano specializzato nella produzione di cabine doccia, accessori e mobili da bagno, il Gruppo è riuscito a diventare leader europeo nel settore dell'arredobagno

Samo, tra sedi distributive, punti vendita e centri assistenza, è presente in tutte le regioni d'Italia e in oltre 120 paesi in tutto il mondo, grazie ai quali è stato possibile raggiungere un fatturato di 87 milioni di euro.

Uno dei punti di forza riconosciuti è il “100% made in Italy”, poiché tutti i prodotti vengono progettati, lavorati e assemblati nello stabilimento principale di Bonavigo (VR), mentre le lastre di vetro vengono prodotte nella vetreria di Pagazzano (BG).

Oltre al marchio Samo, il Gruppo cui fa parte, ovvero la Samo Industries, fondata nel 2013 dal Presidente nonché amministratore delegato di Samo S.p.A. Denis Venturato, comprende anche i marchi di Inda, Siro e Lineabeta, che verranno illustrati a seguire nel corso di questo Capitolo.

3.1.1. Mission e valori aziendali

Viene riportata a seguire la dichiarazione di Samo della propria missione aziendale.

“Con la nostra ricerca e la continua innovazione intendiamo interpretare al meglio l'esperienza della doccia, facendola diventare espressione del proprio stile di vita. È l'apice – indispensabile – di quel benessere che si rigenera giorno dopo giorno”⁹.

⁹ <https://www.samo.it/it/tecnologie-per-il-bagno>

Da questa dichiarazione emerge la centralità del concetto di qualità, inteso da Samo a 360°, dalla scelta dei fornitori alla ricerca di nuove tecnologie e materiali, dallo sviluppo di progetti innovativi tramite processi produttivi all'avanguardia, fino al servizio di assistenza rivolto ai clienti.

Non a caso l'azienda è stata la prima nel settore a ottenere la certificazione del sistema di qualità ISO 9000, nel lontano 1994, e da allora ha sempre continuato il proprio percorso improntato sulla qualità.

Nella visione aziendale Samo esplicita una serie di capisaldi che guidano ogni azione, dall'importanza della tecnologia alla specializzazione, dalla cultura materiale a quella commerciale.

Questa visione si consolida infatti con la volontà del Gruppo di assumere un ruolo di guida nel settore dell'arredobagno, per la soddisfazione di clienti, stakeholder e risorse umane che vi operano.

Merita un approfondimento ulteriore anche il tema della responsabilità sociale di Samo, che costituisce infatti una vera e propria missione, raggiungibile tramite l'impegno sociale, la solidarietà, i benefit per dipendenti e famiglie, la sostenibilità ambientale (per mezzo di iniziative per il territorio).

Dal punto di vista dell'impegno sociale Samo si è mossa concretamente con la creazione, nel febbraio 2007, della Onlus del Gruppo, chiamata "*Oscar per tutti*" in ricordo di Oscar Venturato, avente l'obiettivo di finanziare validi progetti di ricerca a sostegno della specializzazione professionale di giovani medici in campo oncologico, dando quindi un supporto alla ricerca scientifica, oltre che alla prevenzione e cura per il prossimo futuro.

Particolarmente caro al Gruppo è anche il tema della sostenibilità ambientale, portato avanti grazie a scelte imprenditoriali che siano sostenibili per il rispetto dell'ambiente e del territorio. Tutti gli stabilimenti produttivi, infatti, utilizzano energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili, e inoltre nella produzione vengono usati materiali ecologici e riciclabili.

La battaglia della sostenibilità però non si ferma qui, poiché viene data particolare attenzione anche all'acqua, per via del suo legame con la produzione e il core product di Samo (cabine doccia).

È stato infatti istituito il progetto "*Save The Water*", nel quale viene posto in primo piano l'impatto ambientale della propria produzione oltre che la riduzione del consumo di acqua stesso.

3.1.2. Storia del Gruppo Samo Industries

Il Gruppo nasce dall'intreccio delle storie della famiglia Venturato da una parte e di Inda dall'altra.

Nel 1960 Orvile Venturato fonda Samo e solamente cinque anni dopo viene realizzato lo stabilimento produttivo di Bonavigo (VR), quartier generale rimasto fino ai giorni nostri.

Da allora nascono le prime serie di cabine doccia, come quelle in alluminio anodizzato (1971) o i primi box doccia tondi (1981).

Nel 1980 nasce Lineabeta a Gambellara (VI), specializzata nella produzione e distribuzione di accessori per il bagno, che si presenta sul mercato con il proprio brand fino al 2019, anno della sua acquisizione da parte di Samo S.p.A.

Nel 1990 viene costruito il secondo stabilimento produttivo a Roverchiara (VR), a soli 2 km da quello di Bonavigo, ed oggi responsabile delle lavorazioni meccaniche sulle barre di alluminio destinate in seguito ad alimentare la produzione del polo produttivo di Bonavigo.

Dall'esperienza Samo ha origine, sempre nel 1990, Siro, ovvero un brand dedicato all'universo della GDO.

Dal 1993 il comando passa a Denis Venturato, attuale presidente e amministratore delegato di Samo, il quale nel 2013 fonda il Gruppo Samo Industries grazie all'acquisizione di Inda, azienda nata nel 1944 a Caravate (VA) che ha fatto la storia italiana nel mondo dell'arredobagno, specializzata nella produzione di cabine doccia, accessori e mobili da bagno.

Infine, nel 2019 l' Holding acquisisce il 100% dei quattro marchi.

3.1.3. Sedi e stabilimenti

Come anticipato in precedenza, Samo dispone dei seguenti quattro stabilimenti produttivi situati tra Veneto e Lombardia:

- Bonavigo (VR)

Si tratta della sede principale di Samo Industries (mostrata in Figura 28), che racchiude la sede amministrativa del Gruppo nonché il polo produttivo delle cabine doccia Samo e pareti doccia Inda.

Tale sede comprende anche uno showroom di 500 mq suddiviso in tre aree: formativa, percorso emozionale e lounge bar.



Figura 28 Stabilimento di Bonavigo (VR)

- Roverchiara (VR)

Questo stabilimento (mostrato in Figura 29), costruito nel 1990, rappresenta le officine meccaniche del gruppo, ed infatti in questa sede hanno luogo una serie di lavorazioni sulle barre di alluminio che in seguito sono destinate ad alimentare la produzione dello stabilimento di Bonavigo.



Figura 29 Stabilimento di Roverchiara (VR)

- Pagazzano (BG)

Si tratta della sede (vedi Figura 30) nella quale risiede il centro logistico per il marchio Inda e anche il polo per la produzione di vetri e specchi, anch'essi in seguito destinati ad alimentare la produzione di box doccia di Bonavigo.



Figura 30 Stabilimento di Pagazzano (BG)

- Olmi (TV)

In questa sede ha luogo la progettazione, la produzione e infine la spedizione di mobili da bagno per il marchio Inda.

3.1.4. Marchi del gruppo

Come ampiamente dibattuto in precedenza, il Gruppo Samo Industries ha acquisito definitivamente nel 2019 il 100% dei quattro marchi, i quali verranno elencati e approfonditi a seguire:

- Samo

Da oltre 60 anni incarna la tradizione italiana nell'ambito delle soluzioni doccia e rappresenta anche, come dichiara essa stessa, la continuità tra passato e futuro, avendo tra i propri obiettivi quello di coniugare l'innovazione nel design con gli spazi e le esigenze delle case di oggi.

Come visto in precedenza, Samo ha da sempre insistito sul concetto di qualità, ed infatti è stata la prima nel settore ad ottenere la certificazione ISO 9000 nel 1994.

Negli ultimi anni, al fine di soddisfare richieste di soluzioni ad hoc da parte di hotel, navi da crociera, beauty farm e così via, Samo ha acquisito una notevole esperienza nella realizzazione di soluzioni speciali, progettate e realizzate su misura.



Figura 31 Il marchio di Samo

- Inda

Si tratta del marchio più longevo tra i quattro detenuti da Samo Industries, ed infatti è dal 1944 che rappresenta l'arredobagno italiano (mobili, pareti doccia ed accessori) con soluzioni all'avanguardia.

L'impostazione aziendale permette di offrire la personalizzazione del prodotto, tramite adattamenti dimensionali fatti su misura e l'introduzione di finiture non presenti nei prodotti a catalogo, in modo da incontrare e soddisfare le esigenze dei clienti, tra i quali figurano catene alberghiere come ad esempio Marriott e Hilton, e anche navi da crociera come Costa Crociere, Carnival Group, MSC ed altre ancora, le quali vengono servite tramite partner commerciali di Inda e showroom al dettaglio.



Figura 32 Il marchio di inda

- Lineabeta

Fondata nel 1980 e con sede a Gambellara (VI), Lineabeta è un'azienda specializzata nella produzione e distribuzione di accessori e complementi per il bagno.

A testimonianza del payoff che recita "everyday design", l'intento dell'azienda è quello di creare un bagno da vivere quotidianamente in modo semplice e spontaneo, dotato di prodotti funzionali, alla moda, di buona qualità e durevoli.

Lineabeta rende disponibili i propri prodotti tramite una rete selezionata di rivenditori (circa 1500 distribuiti lungo tutta Italia), ai quali viene garantita consulenza professionale, assistenza alla selezione dei prodotti, allestimento dei punti vendita, servizio clienti per il post-vendita, magazzino in pronta consegna, servizi e linee personalizzate e realizzazioni speciali.

Lineabeta

Figura 33 Il marchio di Lineabeta

- Siro

Fondata nel 1990, Siro si propone come solida realtà nella produzione di pareti doccia per la grande distribuzione organizzata (GDO), con la ferrea volontà di offrire prodotti competitivi grazie a una cura e un'avanguardia tecnologica nella progettazione e realizzazione della propria gamma di prodotti, che le permettono di servire clienti con grandi volumi d'acquisto, player internazionali oltre che il mercato della DIY.

La cultura aziendale di Siro ruota attorno alla flessibilità operativa e alla rapidità dei tempi di evasione dell'ordine, in modo quindi da rispondere in tempi rapidi alle esigenze dei clienti.



Figura 34 Il marchio di Siro

3.2. Presentazione del progetto Samo

Nel corso di questo paragrafo verrà presentato e approfondito il progetto che Samo ha avviato nel novembre 2021, inizialmente in collaborazione con l'Università di Padova, e nel quale viene progettato uno stravolgimento dell'attuale sistema produttivo (dello stabilimento centrale di Bonavigo) tramite cui raggiungere l'efficientamento produttivo, per tener conto delle nuove condizioni di mercato emerse e ormai dominanti negli ultimi anni.

Nello specifico, verrà inizialmente chiarita la situazione di partenza di Samo (situazione as-is), dalla quale verranno definiti i gap che si intende colmare e quindi determinata la situazione futura desiderata (situazione to-be), definendo la sequenza di step necessari per la realizzazione dello scenario futuro desiderato, e approfondendoli a seguire.

Partendo dalle motivazioni che hanno spinto Samo a procedere con questo tipo di progetto, queste sono spiegate a seguire.

Negli ultimi anni il Gruppo Samo Industries, al fine di soddisfare le sempre maggiori richieste dei clienti, ha perseguito un'importante politica di ampliamento delle gamme di prodotto, da cui sono aumentati di conseguenza i listini e le relative personalizzazioni proposte alla clientela.

Per poter effettivamente realizzare questo ampliamento, tuttavia, Samo si è resa conto che l'attuale sistema produttivo nato nel lontano 2002 e basato su logiche di produzione a lotti, non era più adatto a soddisfare i requisiti di flessibilità e di rapidità richieste dal mercato.

A seguire viene mostrata la Tabella 9, nella quale viene dimostrato come la logica del lotto non sia praticabile in un contesto del genere.

Numerosità anno	NR codici	% codici	NR pezzi	% pezzi
1	16.185	69%	20.905	9%
2-5	4.212	18%	26.162	11%
6-10	1.314	6%	25.598	11%
11-20	1.120	5%	51.500	21%
21-50	558	2%	98.737	41%
>50	14	0%	16.741	7%
	23.403		239.643	

Tabella 9 Dati su produzione annua

Nella Tabella 9, infatti, viene mostrata la richiesta annua, anche in termini di pezzi prodotti, di determinati codici di prodotto finito (box doccia).

Nella 1° riga, ad esempio, si può vedere come ben 16185 diversi PF siano richiesti e quindi realizzati solamente 1 volta all'anno per un totale di 20905 pezzi/anno, sebbene questi rappresentino una parte consistente (il 69%) dei codici presenti a listino.

Scorrendo la Tabella 9 si arriva a situazioni opposte in cui, ad esempio, solamente 1120 PF sono realizzati tra le 11 e le 20 volte all'anno per un totale di 51500 pezzi/anno prodotti, sebbene questi PF rappresentino solamente il 5% dei codici presenti a listino. Infine, si può notare che solamente 14 PF hanno una richiesta elevatissima (> 50 volte all'anno, per un totale di 16741 pezzi/anno), sebbene questi siano approssimabili allo 0% dei codici totali presenti a listino.

Da questi semplici numeri si evince chiaramente il motivo per il quale Samo ha voluto ripensare al proprio sistema produttivo, per far sì che questo sia flessibile e rapido nella risposta al cliente.

A seguire verranno illustrati una serie di obiettivi che ci si è posti nello svolgimento del progetto:

- Riduzione del lead time di preparazione e messa a punto degli ordini
- Eliminazione dei tempi mascherati in fase di assemblaggio
- Minimizzazione degli errori di produzione
- Guidare gli operatori nell'esecuzione delle proprie attività
- Utilizzo ottimale delle risorse
- Efficientamento produttivo
- Ottimizzazione dei flussi di materiale
- Riduzione delle scorte a lotti
- Digitalizzazione dei processi

Le metodologie che si sono utilizzate per raggiungere questi obiettivi sono invece le seguenti:

- Feeding puntuale delle linee di assemblaggio
- Sincronizzazione dei flussi di materiale mirati al feeding delle linee
- Implementazione di un magazzino centralizzato e mappato
- Suddivisione dello stabilimento in aree differenziate per attività
- Informatizzazione delle isole di lavoro
- Automatizzazione di alcune attività a basso valore aggiunto
- Introduzione di processi Poka-Yoke

Gli step del progetto necessari per il raggiungimento degli obiettivi prefissati, e che verranno approfonditi a seguire, sono i seguenti:

- Analisi del layout attuale
- Analisi degli attuali processi produttivi
- Analisi delle criticità
- Studio delle isole di lavoro
- Individuazione del nuovo modello produttivo
- Studio del feeding
- Definizione del nuovo layout
- Implementazione dei sistemi WMS/MES

3.2.1. Analisi del layout attuale

La rilevazione dettagliata del layout di partenza dello stabilimento di Bonavigo ha portato alla seguente mappatura mostrata in Figura 35.

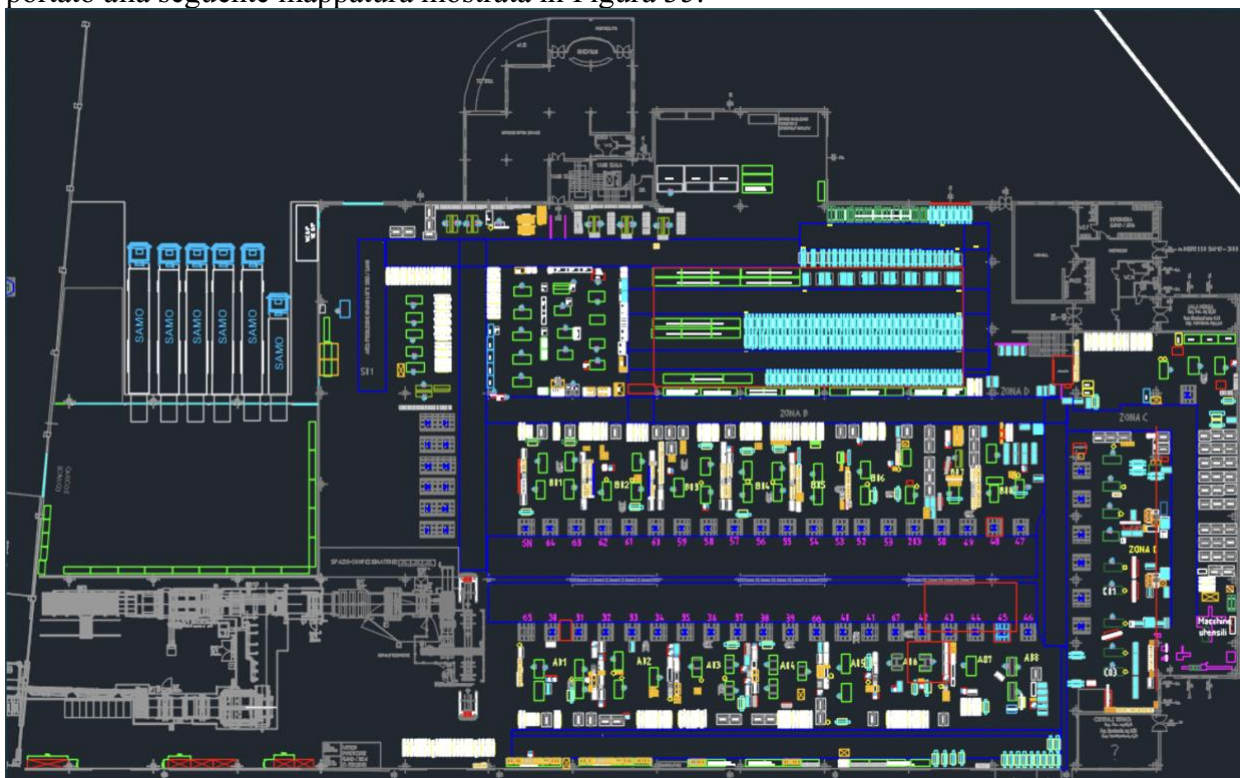


Figura 35 Layout attuale

3.2.2. Analisi degli attuali processi produttivi e delle relative criticità

Alla situazione di partenza, la produzione di box doccia registra i seguenti numeri:

- 50 serie differenti
- 300 modelli diversi
- 23400 codici diversi di prodotto finito, di cui circa 10000 speciali
- Un totale di circa 239600 pezzi/anno

Al fine di verificare se il sistema produttivo attualmente in uso (isole di lavoro con postazione fissa per modelli) sia ancora la soluzione più adatta è stato eseguito uno studio nel quale si evidenzia che l'attuale layout produttivo strutturato per isole mono famiglia non risulta adeguato alla numerosità dei modelli attualmente gestiti. Andando maggiormente in profondità, è stata eseguita un'analisi delle criticità, nelle isole di lavoro e anche nei reparti specchi e sacchetti, tramite uno studio di “*real time monitoring*” per evidenziare le problematiche dell'attuale gestione del flusso produttivo. A titolo di esempio, a seguire verranno visualizzati alcuni dei risultati emersi in alcune isole di lavoro, le quali verranno approfondite nel corso del prossimo paragrafo. Si ricorda anche la logica per l'identificazione delle famiglie di prodotto: serie → modello → dimensioni → tipologia di vetro → finitura di alluminio. Iniziamo con l'isola B01, dedicata alla produzione della serie “Ciao”, e visualizzata nelle Figure 36-37.

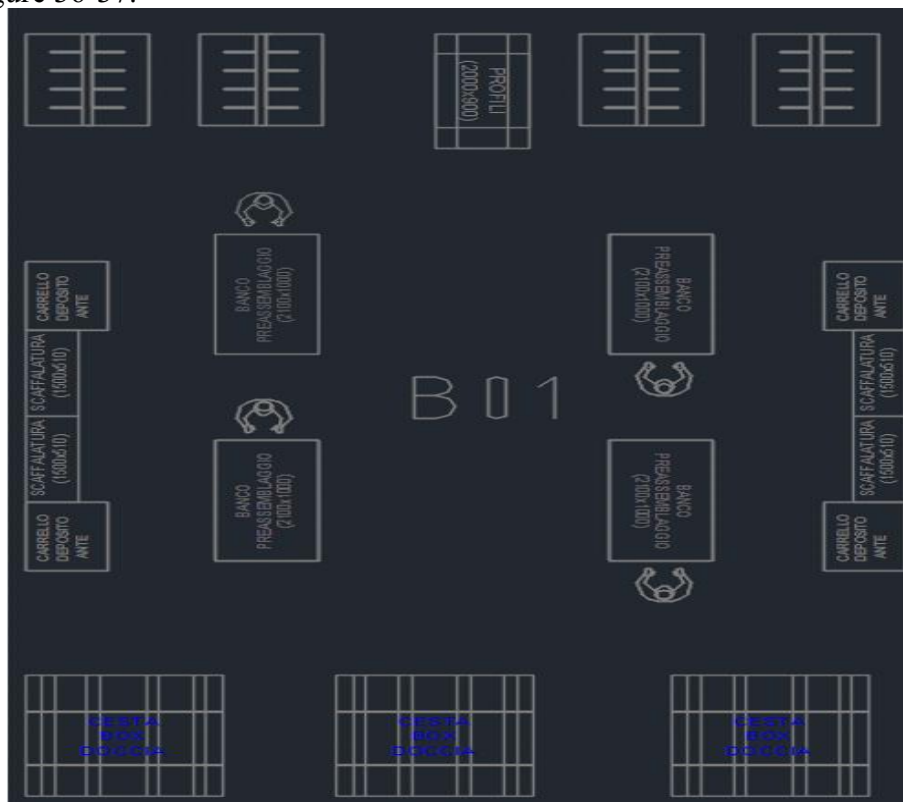


Figura 36 Layout attuale isola B01

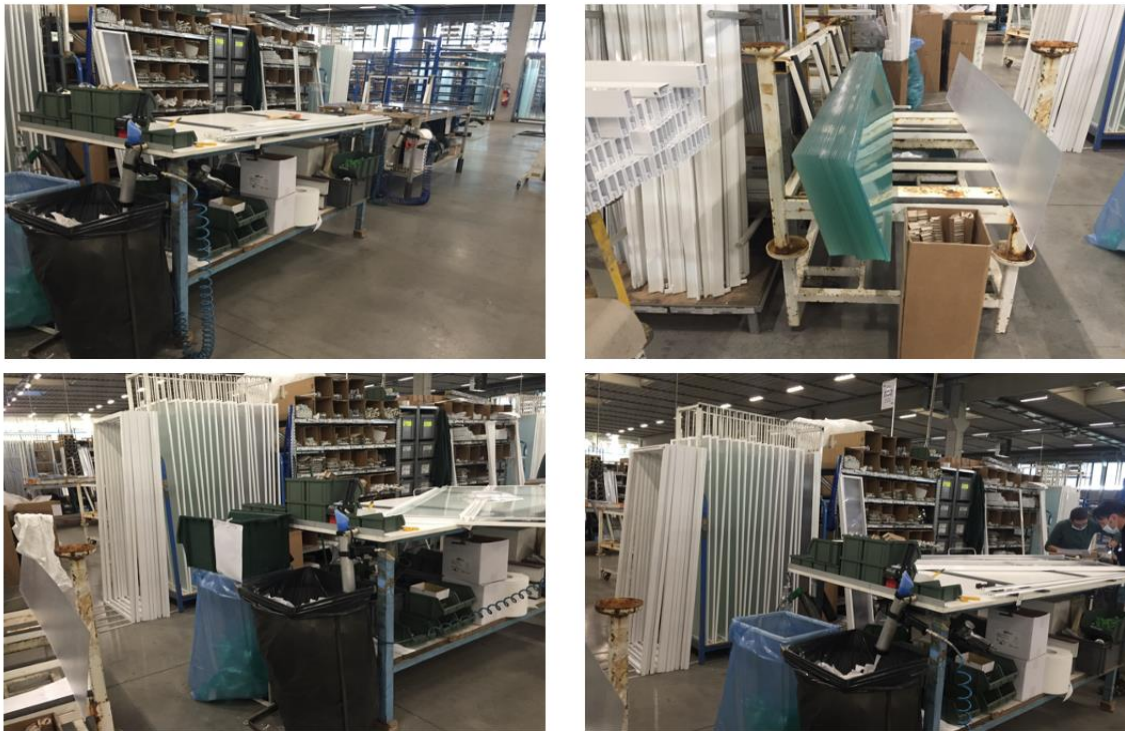


Figura 37 Isola B01

Lo studio condotto su quest'isola, con N osservazioni, ha fatto emergere i seguenti risultati mostrati in Tabella 10.

Attività	Tempo impiegato	%	% cumulata	Note
PRELEVA PROFILI ALLUMINIO O SUBASSEMBLATI	00:00:20	4,96%		
PRELEVA VETRI	00:00:18	4,47%	9,43%	
METTE SILICONE	00:00:00	0,00%		
INCOLLA	00:00:00	0,00%		
AVVITA	00:02:49	41,94%	41,94%	
PULISCE PEZZI	00:00:48	11,91%		
CONTROLLA	00:00:00	0,00%	11,91%	
PRELEVA MATERIALI PER IMBALLO	00:01:05	16,13%	16,13%	
MOVIMENTA PRODOTTO SUL BANCO	00:00:11	2,73%		
MOVIMENTA PF	00:00:57	14,14%	16,87%	MOVIMENTA CON CARRELLO
ATTIVITA' SVA	00:00:15	3,72%	3,72%	
TEMPO PEZZO	00:06:43			

Tabella 10 Studio di "real time monitoring" sull'isola B01

Dalla Tabella 10 emerge il fatto che per realizzare 1 pezzo di PF si impiegano in media 6'43'', ma l'aspetto più importante da sottolineare sono le tempistiche impiegate per le attività indirette senza valore aggiunto, tra le quali spiccano le fasi critiche di ricerca e prelievo del materiale e di imballaggio sul banco di lavoro (16,13% del tempo totale impiegato per la realizzazione di 1 PF), oltre che la movimentazione del PF sulla rastrelliera per mezzo dell'apposito carrello (16,87% del totale).

Per quanto riguarda le fasi di ricerca e prelievo del materiale, queste sono direttamente legate alle modalità di asservimento (feeding) dei materiali alle isole di lavoro, la maggior parte dei quali infatti vengono posti su delle ceste nelle prossimità delle isole secondo una logica di feeding di stoccaggio a bordo linea ("line-side stocking"), con conseguenti problematiche sia a livello di ingombro di spazio che di tempo perso nella

ricerca e prelievo, aspetti entrambi confermati tramite questo studio osservativo, mentre solamente la viteria viene fornita alle isole con una logica di kitting.

In aggiunta a questo, alcuni materiali, come ad esempio alcuni profili lunghi o premontati, vengono posti su delle scaffalature collocate lungo la corsia, e di conseguenza nei casi in cui questi materiali siano richiesti per le operazioni di assemblaggio delle isole, oltre a impiegare ancora più tempo nella loro ricerca, si fa totale affidamento all'esperienza e alla memoria dell'operatore per la loro ricerca lungo la corsia, poiché non dotati di alcuno strumento digitale di localizzazione dei materiali. Tutte queste considerazioni possono essere estese anche alle altre isole di lavoro.

Per cercare di comprendere più nel dettaglio i flussi dei materiali nelle isole di lavoro, viene riportata la seguente Figura 39 rappresentante le operazioni di assemblaggio nell'isola B08 (mostrata in Figura 38), adibita alla serie "Polaris Zenit Alter".



Figura 38 Layout attuale isola B08

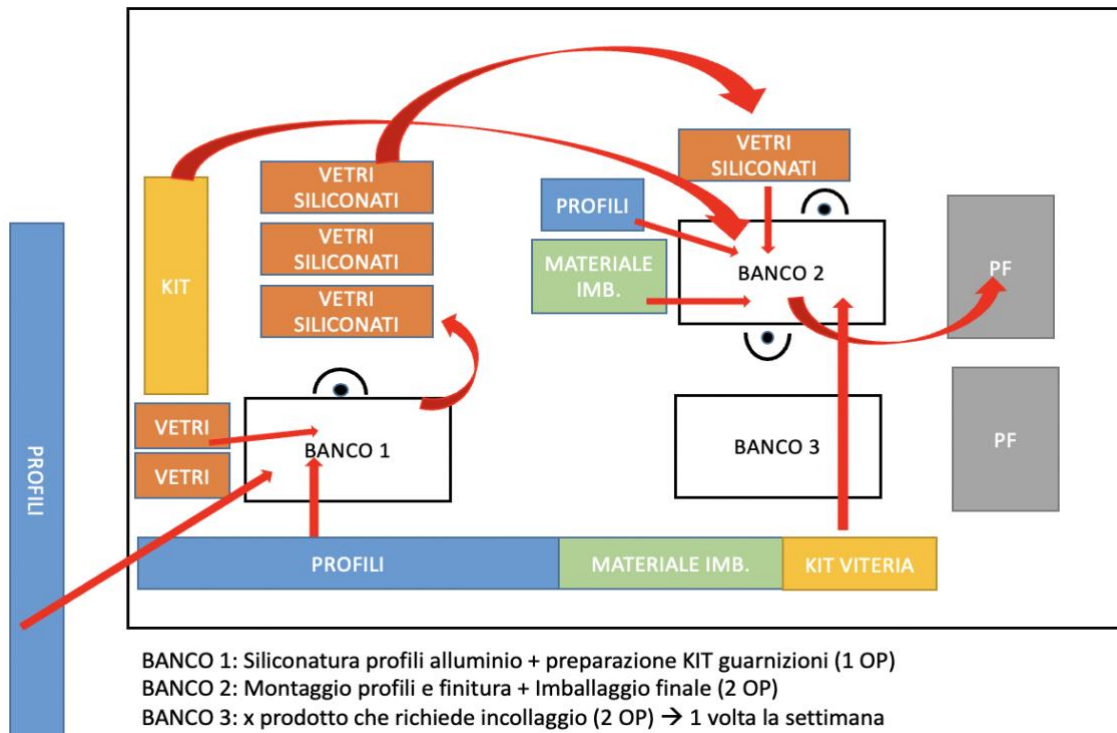


Figura 39 Task di assemblaggio nell'isola B08

Nello specifico, le mansioni richieste all'operatore del banco 1, nell'isola B08, cambiano nel pomeriggio. Infatti, devono essere effettuate delle verifiche di misura dei vetri, che seguiranno due percorsi diversi a seconda che sia richiesta o meno la siliconatura su di essi:

- Se non è richiesta la siliconatura, i vetri adeguatamente controllati vengono direttamente posizionati sulla rastrelliera verticale collocata nelle prossimità dell'isola
- Se invece è richiesta la siliconatura, l'operatore dovrà eseguire i seguenti task:
 - vengono innanzitutto prelevati e siliconati i profili di alluminio
 - in seguito, vengono prelevati dalla cesta i vetri che andranno poi incollati ai profili
 - infine, l'operatore posizionerà i vetri siliconati sulla rastrelliera verticale, in modo che il silicone abbia il tempo di asciugarsi (è richiesta una notte, perciò in questo caso si lavora con un giorno di anticipo rispetto al banco 2).

Il tempo impiegato per queste operazioni è di circa 4 minuti per 4 pezzi finiti.

Nel banco 2, invece, gli operatori eseguono i seguenti task:

- viene innanzitutto prelevato il vetro siliconato, al quale verrà effettuata una pulizia
- vengono montati ulteriori profili, se richiesto dal PF
- vengono fissate viti e guarnizioni tramite gli appositi kit
- vengono inserite le protezioni e l'imballo
- infine, il PF viene posizionato sulla rastrelliera dei PF

Il tempo richiesto per queste operazioni sul banco 2 è di circa 3'30'' a pezzo.

Viene riportato nelle seguenti Figure 40-41 il medesimo approfondimento eseguito nell'isola B06, adibita alla serie "Trendy Air".

Task	op 1	op 2	op 3	Attività aggregate	% aggregata
Preleva alluminio, barre	00:01:09	00:01:15	00:00:30		
Preleva vetri	00:00:31	00:00:42	00:00:49	Prelievo materiale	7.27%
Posiziona, incastra	00:03:34	00:06:15	00:05:38		
Fissa con scotch	00:00:04	00:00:00	00:00:00		
Awita	00:02:46	00:02:54	00:02:31	Montaggio	34.90%
Controlla e pulisce pezzi	00:01:41	00:01:12	00:02:59	Controllo e pulizia	8.64%
Preleva e imballa	00:14:18	00:07:00	00:07:03	Imballaggio	41.75%
Movimenta vetro SL	00:00:00	00:00:00	00:00:00		
Movimenta PF	00:01:29	00:01:53	00:01:41	Movimentazioni SL e PF	7.44%
Attività senza VA	00:00:00	00:00:00	00:00:00	Altro (N.V.A.)	0.00%
Totale	00:25:32	00:21:11	00:21:11		100.00%

totale pezzi	7
sec/ pezzo	582
pezzi/h	6.19

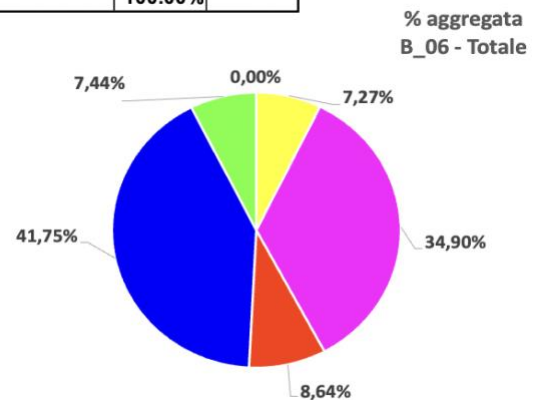


Figura 40 Studio di "real time monitoring" sull'isola B06

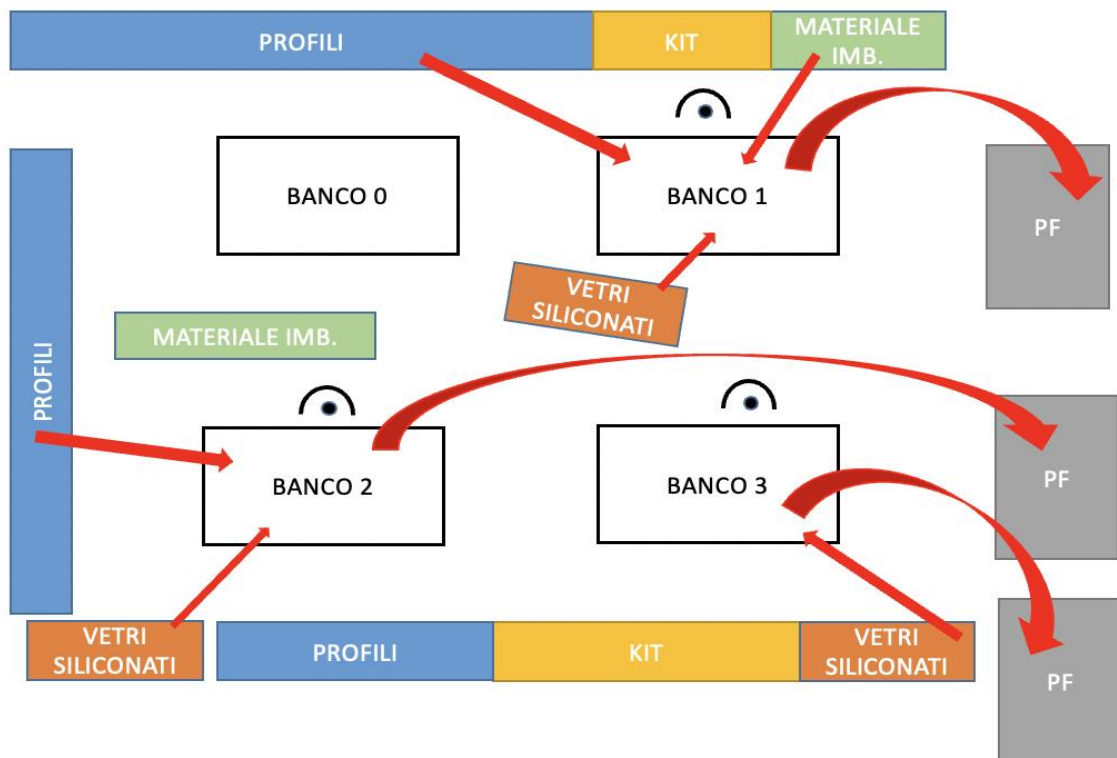


Figura 41 Task di assemblaggio nell'isola B06

Il medesimo studio osservativo è stato eseguito anche al reparto sacchetti/premontaggi (risultati in Figura 42) e al reparto vetri (risultati in Figura 43).

Anche in questo caso risultano particolarmente critiche le fasi di prelievo del materiale (nel reparto sacchetti), al quale l'operatore destina in media il 44,49% del tempo totale

di realizzazione di un sacchetto, e le fasi di movimentazione dei vetri sulle UDC (nel reparto specchi), al quale corrisponde in media un 10,99% del tempo totale.

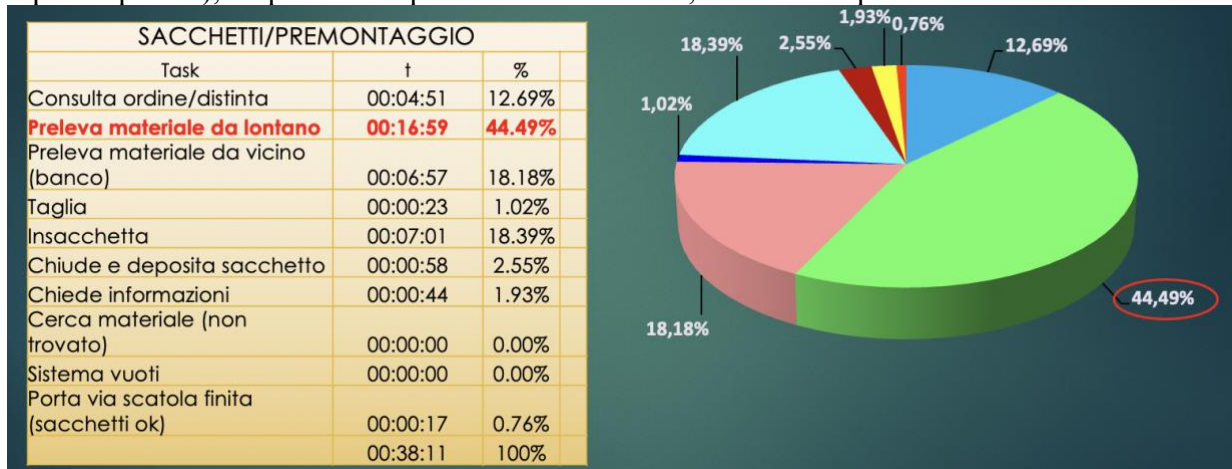


Figura 42 Studio di "real time monitoring" sul reparto sacchetti/premontaggi

PICKING VETRI %		
travel con trolley	00:01:32,00	24,08%
travel	00:00:14,00	3,66%
legge lista carta, cerca mat	00:00:40,00	10,47%
toglie carta da vetri	00:00:34,00	8,90%
movimenta vetri su udc	00:00:42,00	10,99%
prelieva vetri	00:02:40,00	41,88%
altro	00:00:00,00	0,00%
	00:06:22,00	
righe	3	
colli	9	
tempo riga	00:02:07,33	
tempo collo	00:00:42,44	

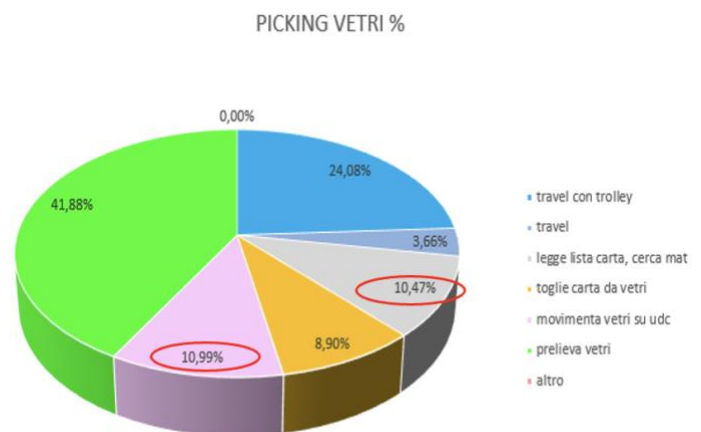


Figura 43 Studio di "real time monitoring" nel reparto vetri

Sono stati quindi rilevati i fabbisogni dei materiali destinati alle isole di assemblaggio, con diverse provenienze, secondo quanto raffigurato nella Tabella 11.

MATERIALE UTILIZZATO IN ASSEMBLAGGIO- 1 GIORNO	Codici	Quantità
ALLUMINIO CORTO	226	912
ALLUMINIO LUNGO	244	1.721
BUFFER PREMONTAGGIO	400	2.459
BUFFER SACCHETTI	163	822
CONSUMO	329	3.968
GUARNIZIONI	107	1.349
KARDEX	428	8.576
VETRO	342	1.419
Totale complessivo	2.239	21.226

Tabella 11 Fabbisogni di materiali

3.2.3. Studio delle isole di lavoro e individuazione del nuovo modello produttivo

Prima di discutere su argomenti tecnici relativi a come dovranno apparire le isole di assemblaggio alla situazione futura desiderata, occorre prima delineare la situazione attuale delle isole nel polo produttivo centrale di Bonavigo.

Innanzitutto, si distinguono 3 linee di assemblaggio diverse:

- Linea A
- Linea B
- Linea degli speciali

Come si può facilmente intuire, la differenza tra le tre linee appena elencate consiste essenzialmente nelle serie di box doccia prodotte, poiché le procedure di lavoro sono grosso modo le stesse.

La linea A, per esempio, è costituita dalle isole A01, A02, A03, A04 per le serie “Europa”, “Europa sp”, “New Cee”, “Cee Art”, dopodiché dalla A05 per le serie “Flex” e pareti vasca, dalla A06 per le serie “Jolly” e “Claire Nice” ed infine dall’isola A07 per le serie “America Jolly”, “Rapid Palerme” e “Praia”.

La linea B, invece, è costituita dall’isola B01 per la serie “Ciao”, dalla B02 per la serie “Ciao-America Up”, dalla B03 per la serie “America Up Rapid”, dalla B04 per la “America Up”, dalla B05 per la “America Up-Plus Rapid”, dalla B06 per la “Trendy Air”, dalla B07 per la “Claire-Praia Design”, ed infine dalla B08 per la serie “Polaris Zenit Alter”.

La linea degli speciali, infine, è costituita da 8 ulteriori banchi di lavoro.

Alla situazione attuale la gestione dei materiali nelle isole è la seguente:

- La minuteria (viti, plastiche varie, ecc.) è immagazzinata in delle cassette poste sotto al banco di lavoro (vedi Figura 44) e anche in degli scaffali posizionati dietro ai banchi di lavoro (vedi Figura 45).



Figura 44 Posizionamento della minuteria sotto il banco di lavoro (situazione as-is)



Figura 45 Posizionamento della minuteria in cassette poste dietro il banco di lavoro (situazione as-is)

- Le lastre di vetro e in generale i profili lunghi sono stoccati nelle prossimità delle isole con una logica di “line-side stocking” (vedi Figure 46-47).



Figura 46 Posizionamento dei profili lunghi nell'intorno dell'isola di lavoro



Figura 47 Posizionamento delle lastre di vetro nelle vicinanze del banco di lavoro

- Il cartone per il pre-imballo dei box è stoccato in degli scatoloni molto ingombranti posti tra i vari banchi di lavoro.
- Il refill dei vari componenti negli appositi scaffali segue una logica a vista: se l'addetto nota che manca un componente, provvede a riempirlo per intero, anche nel caso in cui quel componente abbia consumi molto bassi, per cui come conseguenza ne risulta che alcuni componenti rimangono nelle prossimità delle isole "a fare la polvere", finendo poi addirittura scartati in alcuni casi.

Ne consegue una serie di criticità, alcune delle quali emerse grazie allo studio di "real time monitoring" effettuato alle isole, e riportate a seguire:

- Elevato tempo di ricerca del materiale: sulla base dei PF richiesti dagli ODP, infatti, l'operatore deve impiegare tempo in attività senza valore aggiunto, quali in primis lo sforzo mnemonico per capire la locazione del componente tra i diversi scaffali/ceste (allo stato attuale, infatti, le diverse aree di stoccaggio non sono mappate a sistema), dopodiché il tempo del viaggio (andata + ritorno) e infine il tempo per il prelievo del suddetto componente, il tutto ripetuto per gli n componenti richiesti secondo la distinta base del PF da completare
- Elevato ingombro di spazio nell'intorno delle isole, che infatti risultano essere molto disordinate, da cui si ha anche una bassa pulizia della pavimentazione

Dall'identificazione di tutte queste inefficienze del singolo operatore e di conseguenza dell'intera linea, è stato delineato lo scenario futuro (to-be) delle isole, le quali dovranno essere costituite da:

- Banco di lavoro

- 1 o più torrette, dove una torretta non è altro che un carrello contenente tot cassette destinate ad accogliere tot componenti di minuteria (viti, plastiche varie, e così via) che, essendo richiesti per la maggior parte dei PF completati nella specifica isola, rimarranno all'interno dell'isola e nello specifico nelle strette vicinanze del banco di lavoro, con un riordino su fabbisogno netto (logica di “*continuous replenishment*”)
- 1 o più carrellini contenenti profili lunghi, premontati, binari, e così via, che invece sono caratteristici dello specifico PF richiesto dall'ODP del giorno, e che saranno portati all'isola nelle quantità strettamente necessarie (logica JIT)
- 1 o più ceste contenenti i profili di vetro di dimensioni diverse in funzione degli ODP giornalieri della specifica isola, e che saranno trasportati di giorno in giorno dal magazzino vetri fino all'intorno dell'isola richiedente dove saranno stoccati fino al loro esaurimento (logica JIT)
- 1 o più rastrelliere, posizionate nell'intorno dell'isola, nelle quali saranno posizionati i PF pre-imballati (vedi Figura 48), e al cui riempimento saranno portate dal robot AMR alla macchina di imballaggio.



Figura 48 Rastrelliere PF

Il concept prospettato alla situazione futura delle isole viene visualizzato in Figura 49, mostrata a seguire.

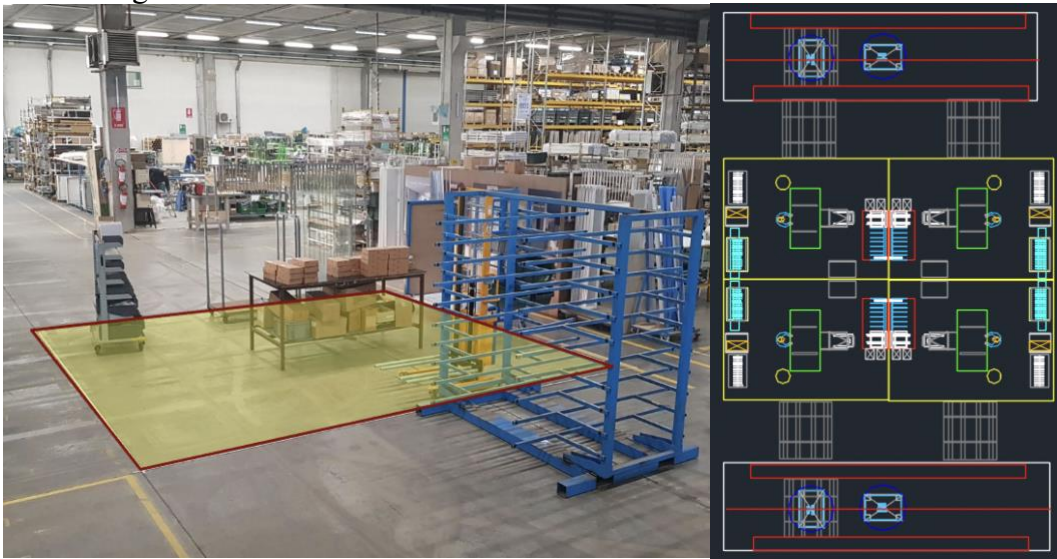


Figura 49 Isole di lavoro allo stato futuro desiderato to-be

Dopo aver stabilito che alla situazione futura (to-be) quasi tutti i componenti saranno al di fuori delle isole di assemblaggio e che di volta in volta verrà portato il necessario in base agli ODP da completare, sono stati studiati i flussi dei componenti da portare in produzione analizzandone frequenza e quantità.

Questo tipo di analisi ha comportato la suddivisione della componentistica in macroaree sulla base delle relative modalità di movimentazione e di destinazione.

Sono state individuate le seguenti aree di stoccaggio (stoccaggio decentralizzato):

- Alluminio corto
- Alluminio lungo
- Buffer premontaggio
- Buffer sacchetti
- Materiale di consumo
- Guarnizioni
- Guarnizioni in rotoli
- Componentistica in kardex
- Vetro

Le aree di destinazione sono invece le seguenti:

- Isole (di assemblaggio)
- Kanban isole
- Kanban premontaggi
- Kanban sacchetti
- Premontaggio
- Sacchetti

Per quanto riguarda il feeding dei componenti dalle varie aree di stoccaggio alle varie aree di destinazione elencate precedentemente, si faccia riferimento al prossimo paragrafo.

3.2.4. Studio del feeding

Come dimostrato precedentemente a più riprese, l'attuale sistema produttivo, basato su delle isole di lavoro con postazione fissa per modelli, non risulta essere adeguato a gestire l'elevatissima numerosità dei modelli attualmente gestiti.

Detto ciò, sono stati condotti ulteriori studi su quelli che sono i flussi di materiali dalle varie zone di stoccaggio alle zone di destinazione elencate in precedenza.

Come vedremo, infatti, tale studio ha evidenziato la necessità di effettuare un feeding alle isole in maniera efficiente, puntuale e organizzata, e di come in questo passo risieda il cuore del problema per poter rendere finalmente il sistema produttivo flessibile e dinamico, come richiesto dal mercato.

L'analisi dati è stata condotta in relazione a una giornata di lavoro rappresentativa ed è riportata nelle seguenti Tabelle 12-14, relative alle zone di destinazione delle isole di assemblaggio, del reparto premontaggio e del reparto sacchetti.

ASSEMBLAGGIO	MEDIA		MAX	
	NR	QTA	NR	QTA
ALLUMINIO CORTO	7,0	28	24,0	66
ALLUMINIO LUNGO	5,9	44	29,0	146
BUFFER PREMONTAGGIO	10,8	68	33,0	201
BUFFER SACCHETTI	3,4	18	9,0	55
CONSUMO	7,8	96	21,0	264
GUARNIZIONI	3,0	40	7,0	110
KARDEX	10,7	217	27,0	800
VETRO	7,7	35	18,0	80
Totale complessivo	53,2	523	121,0	1382

Tabella 12 Analisi dati di feeding alle isole di assemblaggio (1 gg rappresentativo)

PREMONTAGGIO	N°	Q
ALLUMINIO CORTO	111	714
ALLUMINIO LUNGO	104	581
CONSUMO	3	173
GUARNIZIONI	35	539
KARDEX	90	2438
Totale complessivo	343	4445

Tabella 13 Analisi dati di feeding al reparto premontaggi (1 gg rappresentativo)

SACCHETTI	N°	Q
CONSUMO	3	56
GUARNIZIONI	3	81
GUARNIZIONI ROTOLO	8	337
KARDEX	324	5675
Totale complessivo	338	6149

Tabella 14 Analisi dati di feeding al reparto sacchetti (1 gg rappresentativo)

A partire da questi dati rappresentativi e dai gap evidenziati tra situazione as-is e to-be desiderata, si è capito che per poter servire le isole di lavoro era necessario effettuare un ulteriore studio di progettazione dei carrelli aventi proprio il compito di servire queste zone in modo efficiente, puntuale e flessibile.

Ovviamente i carrelli dovranno essere tarati in base alle caratteristiche geometriche dei componenti in questione, perciò sono state evidenziate due tipologie di carrelli, che saranno mostrati a seguire, relativamente a:

- Profili lunghi
- Minuteria (viti, plastiche, ecc.)

Per andare nel dettaglio, è stata condotta un'analisi sull'anagrafica dei componenti, tramite la quale è stata decisa, principalmente in base al consumo medio ma anche in base alle dimensioni, la logica di feeding alle isole.

Questo studio ha evidenziato la necessità di attuare diverse politiche di feeding in relazione alle diverse tipologie di componenti:

- Per i componenti di minuteria (viteria e plastiche varie di piccole dimensioni), quindi di piccole dimensioni, richiesti per la maggior parte dei box doccia delle serie prodotte dall'isola è stato deciso di mantenerli fissi in delle apposite torrette/carrellini da posizionare nell'intorno del banco di lavoro, in modo da minimizzare il tempo di spostamento e ricerca della parte.

Questi componenti sono stati quindi posizionati in questi carrellini, mostrati in Figura 50, in delle apposite cassette (identificate da barcode e codice), e sono stoccati nell'intorno delle postazioni di lavoro secondo una logica di “*continuous replenishment*” (stoccaggio a bordo linea) con una politica di riordino su fabbisogno netto, con tutti questi componenti che verranno prelevati dal magazzino centrale della minuteria rappresentato dai magazzini verticali (kardex).

Questi carrellini costituiti da n cassette contenenti n componenti diversi sono quindi riforniti sulla base dei consumi, nel senso che non appena una cassetta contenente ad esempio un determinato tipo di viti è prossima all'esaurimento, viene generato immediatamente l'ordine di un suo refill, in modo che l'operatore abbia sempre a disposizione questi componenti per poter completare i propri box richiesti.



Figura 50 Carrellini minuteria

- Per i componenti lunghi e quindi di più grandi dimensioni (ad esempio profili lunghi, premontati, binari) richiesti per qualche specifico box doccia delle serie prodotte dall'isola è stata profilata invece una logica di feeding di tipo JIT. Infatti, quando un componente di questo tipo è richiesto per il soddisfacimento di un determinato ODP, scatta immediatamente la richiesta di prelievo al suo supermarket di provenienza, nelle quantità strettamente necessarie, e di consegna all'isola tramite degli appositi carrelli progettati per contenere tali profili lunghi in maniera ergonomica (vedi Figura 51).

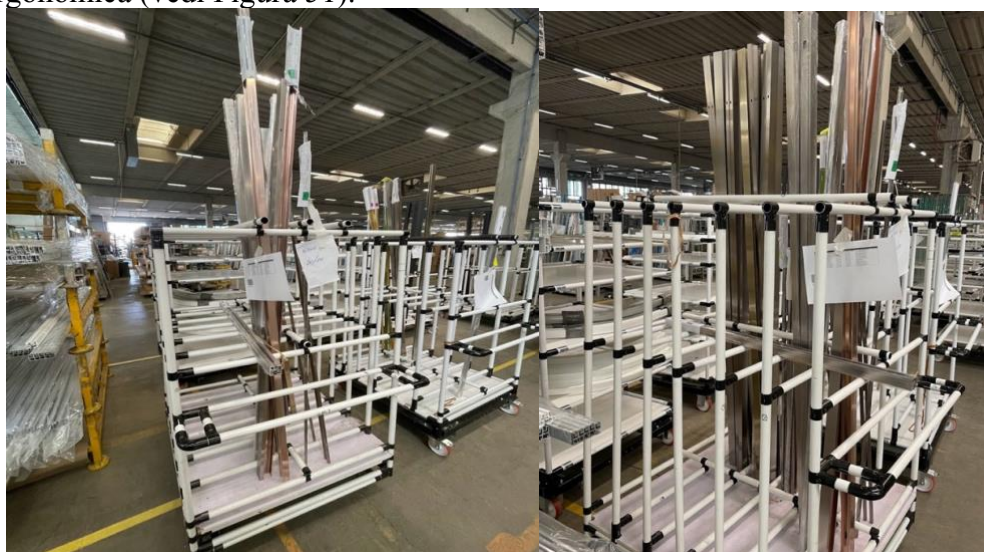


Figura 51 Carrellini profili lunghi

- Infine, anche per il feeding dei vetri, è stata profilata una politica di JIT a partire dal magazzino vetri.

Questi sono quindi portati su delle ceste, mostrate in Figura 52, in profilazioni dimensionalmente differenti sempre sulla base di quelle che sono le necessità degli ODP giornalieri della specifica isola.



Figura 52 Ceste vetri

La situazione appena descritta ricalca perfettamente lo stato to-be desiderato dall'azienda, dove in un'isola di lavoro, non più monomodello, ci dovrà essere spazio per contenere le torrette dei componenti fissi a consumo, i carrelli contenenti profili lunghi gestiti con modalità JIT, le ceste contenenti i vetri e stoccate nell'intorno delle isole, e infine le rastrelliere dove andranno posizionati i PF preimballati che il MIR avrà il compito di prelevare e portare alla macchina imballatrice.

3.2.5. Definizione del nuovo layout

Tutte le analisi condotte fino ad ora hanno contribuito a dimensionare le aree di stoccaggio, le zone per il montaggio, oltre che tutte le relative corsie per la movimentazione dei componenti.

Per permettere il soddisfacimento della domanda in tempi rapidi, e con una elevata flessibilità, sono state quindi identificate nel layout futuro 53 isole di assemblaggio, all'interno delle quali potrà lavorare un operatore alla volta.

In queste isole, in particolare, ciascun operatore non avrà più da compiere prodotti di una singola serie, ma al contrario spazierà in modo flessibile in base all'andamento degli ordini di produzione giornalieri: in questo modo si avranno quindi delle linee di assemblaggio con i requisiti di flessibilità e rapidità richiesti dalle attuali logiche di mercato.

È stato quindi definito il nuovo layout dello stabilimento di Bonavigo, mostrato in Figura 53, per un totale di 2170 mq, suddivisi nelle seguenti aree:

- Un'area di 310 mq per il montaggio degli specchi (ampliabile)
- Un'area di 150 mq per i premontaggi
- Un'area di 50 mq per la preparazione dei sacchetti

- Un supermarket di 780 mq a 6 livelli differenziati in base alla tipologia di materiale e alla modalità di gestione (picking o stock)
- Un'area di 700 mq per il magazzino vetri

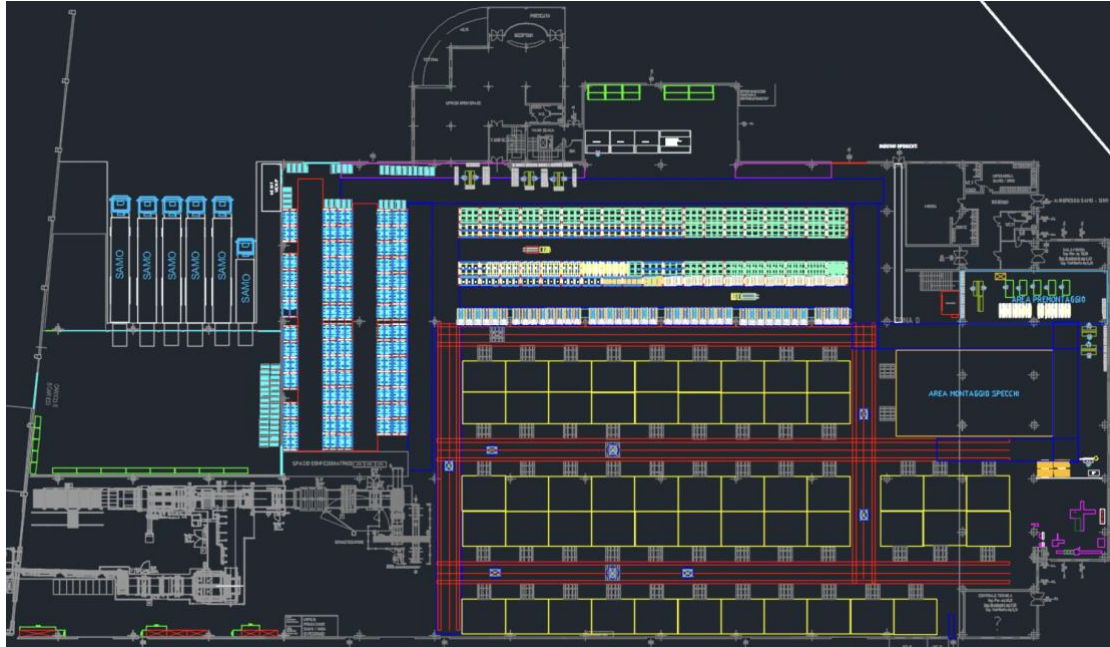


Figura 53 Layout futuro

Rispetto al layout della situazione di partenza possiamo notare alcuni cambiamenti, tra i quali il trasloco del magazzino vetri e del reparto pre-montaggi, oltre all'estensione del magazzino principale all'area precedentemente adibita allo stoccaggio dei vetri. Alla situazione futura ci sarà il trasloco anche del reparto specchi e l'adozione delle nuove isole di lavoro, non più monomodello ma flessibili come spiegato in precedenza.

3.2.6. Implementazione dei sistemi WMS/MES

Detto dei gap che si intende colmare tramite questo progetto, buona parte di esso ruota intorno all'implementazione di un software a supporto della gestione della produzione e del magazzino.

Allo stato attuale Samo utilizza come sistema informativo ERP il sistema Sap, con i moduli MM, PP e WM, dove:

- Con MM si acquistano i materiali
- Con PP si gestisce la produzione interna
- Con WM si gestisce solamente la locazione dei vetri (tutto il resto del materiale non è mappato)

Ulteriore precisazione è relativa al fatto che allo stato attuale non esiste né WMS (dipartimentale logistico) né MES (dipartimentale produttivo): tutte le operazioni, infatti, sono svolte manualmente e affidandosi alla diligenza operativa e supporti cartacei

Quello che è apparso molto chiaro fin dall'inizio è che, dovendo gestire un'elevata quantità di codici e il frazionamento della produzione in lotti unitari/piccoli, risulta

ormai indispensabile gestire tutto il materiale con un sistema WM, e non solamente i vetri come allo stato attuale.

Dopodiché è risultato che il modulo PP di Sap, viste le complessità a livello organizzativo della produzione, non riesce a gestire la produzione interna in modo flessibile come richiesto, e per questo Samo è stata costretta ad utilizzare anche delle funzioni personalizzate.

Infine, per via del fatto che Samo si inserisce in un contesto MTS (“*Make To Stock*”), e che quindi la produzione è finalizzata al magazzino e non è su commessa, come mostrato in Figura 54, è stato necessario dover ricorrere a programmi esterni a Sap per indirizzare le priorità degli ordini di produzione compatibilmente con gli ordini cliente.

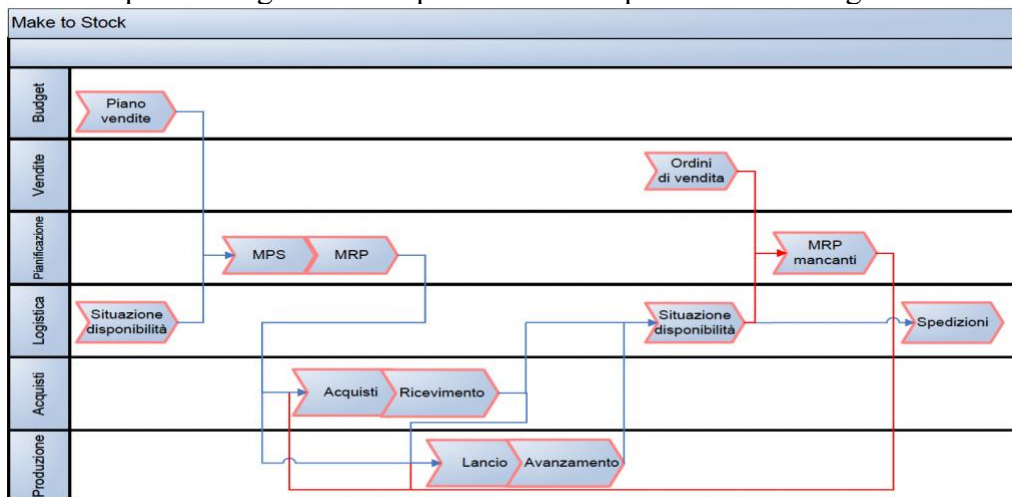


Figura 54 Logica di un'azienda di tipo MTS

Per questi motivi è stata individuata la necessità di dover ricorrere a una soluzione dipartimentale logistico-produttiva che garantisca la rintracciabilità puntuale della merce e che guidi gli operatori al completamento delle loro attività esecutive logistiche e produttive.

Dopo un'attenta selezione del software più appropriato per il proprio contesto, la scelta di Samo è ricaduta sulla soluzione proprietaria Silwa della società Stesi, specializzata nella progettazione, realizzazione ed avviamento di software di supervisione per sistemi logistici e produttivi integrati.

Tra gli obiettivi del software sono presenti i seguenti:

- Utilizzo ottimale delle risorse logistiche (spazio, mezzi, uomini)
- Migliori condizioni di lavoro per il personale
- Miglioramento dell'efficienza produttiva
- Paperless
- Indipendenza dalla memoria degli operatori

Per il raggiungimento di tali obiettivi, il software scelto presenta una serie di requisiti, riportati a seguire:

- Affidabilità delle giacenze
- Massimo sfruttamento dello spazio fisico
- Rintracciabilità puntuale della merce
- Riduzione degli errori di carattere operativo
- Riduzione dei tempi di movimentazione

- Ottimizzazione dei flussi dei materiali

Inoltre, il software selezionato, a livello di vincoli, dovrà anche:

- Utilizzare i sottosistemi logistici già presenti
- Essere integrato con il sistema informativo esistente (SAP), preservandone tutte le funzionalità attuali e già in fase di implementazione
- Essere aperto ad attività di gestione e controllo di produzione (in modo da snellire le personalizzazioni fatte su SAP ed eliminando di conseguenza i programmi esterni attualmente in uso)
- Essere valutato come inseribile in un progetto di Industria 4.0
- Essere implementabile a step scalabili successivi
- Gestire gli attuali supporti fisici presenti
- Essere anche aperto per la logistica di spedizione e all'utilizzo negli altri stabilimenti del Gruppo (Roverchiara, Pagazzano e Olmi)

Dal punto di vista delle linee guida è quindi richiesta l'attivazione di un sistema di tipo WMS/MES, che si occupi della gestione di tutte le attività esecutive logistico-produttive. Nello specifico, la soluzione dovrà gestire i flussi di:

- Entrata merce (MP/SL)
- Allocazione guidata di MP/SL per lo stoccaggio in scaffale/magazzino verticale/a terra
- Assegnazione delle “*picking lists*” agli operatori addetti
- Gestione degli abbassamenti dei materiali dalle aree di stoccaggio per facilitare il picking al piano terra
- Permettere l'invio delle “*picking lists*” in diverse fasi a seconda dei componenti coinvolti
- Raggruppamento degli ordini di produzione in liste di produzione giornaliere per operatore
- Raggruppamento delle liste di prelievo dei materiali per zona di prelievo e zona di destinazione
 - Prelievo per produzione o premontaggio, manuale
 - Prelievo per produzione o premontaggio, dal magazzino verticale (kardex) con logiche di raggruppamento ottimizzate e interfaccia con sistema “*pick to light*”
- Gestione di tutte le informazioni necessarie alle singole isole di lavoro (liste di produzione, distinte, specifiche di montaggio, conferme di produzione, ecc.)
- Asservimento dell'assemblaggio con prelievo e mantenimento del kanban
- Scarico dei componenti e carico del prodotto finito
- Chiamata AMR per portare le rastrelliere contenenti i PF alla macchina imballatrice
- Inventario

Per poter permettere la realizzazione e l'attivazione di un sistema informativo logistico di tipo dipartimentale presso la sede centrale di Bonavigo e presso il magazzino esterno di Roverchiara, è stato necessario fornire a Stesi un'accurata analisi dei flussi logistici, in maniera aderente a quelli che sono i processi operativi aziendali, in seguito alla quale il sistema Silwa sarà interfacciato al sistema ERP Sap attualmente in uso in azienda.

È stato quindi progettato il modello logistico, mostrato graficamente in Figura 55, coperto e integrato dal software dipartimentale, comprendente le seguenti fasi del flusso logistico:

- Accettazione
- Versamento
- Movimentazione
- Prelievo
- Spedizione



Figura 55 Modello logistico coperto e integrato dal software dipartimentale

Per quanto riguarda la mappatura e la gestione dello spazio logistico, questi sono gestiti sul sistema WMS, e in particolare per ogni ubicazione saranno definiti dei parametri (dimensione, portata, tipologia, classe ABC, accesso lento/veloce) che saranno utilizzati per determinare l'ubicazione di versamento.

Alla fase di accettazione merce, verrà registrato su Sap il Documento di Trasporto (DDT) o l'ordine fornitore che in seguito verrà comunicato a Silwa, e per ogni UDC verrà spuntato il relativo codice tramite la selezione del barcode dell'articolo e infine verrà dichiarata la quantità contata con eventuale rilevazione del lotto.

Su Sap si provvederà in seguito alla gestione degli scostamenti tra le quantità dichiarate e quelle contate.

Una volta accettata la merce in ingresso, il flusso logistico prosegue alla successiva fase di versamento guidato a magazzino, con l'ausilio di Silwa tramite la funzione "versamento guidato UDC".

Ogni locazione potrà essere associata a:

- Codice articolo
- Famiglia di articoli (categoria merceologica/commerciale/responsabile MRP)
- Classe ABC

Ogni articolo potrà poi essere associato a una zona specifica del magazzino (kardex, vetri speciali, vetri standard, alluminio, ecc.) tenendo conto delle regole di stoccaggio definite (morfologia e dimensioni articolo UDC, indici di rotazione, famiglie, ecc.). “Sparando” l’UDC, l’operatore potrà visualizzare tramite il sistema fino a un massimo di N ubicazioni di destinazioni compatibili con le associazioni di cui sopra. Nella successiva fase di movimentazioni interne di UDC e articoli, di particolare importanza è il tema dell’asservimento (feeding) alla produzione. Sap invierà gli ODP al WMS, contenenti il numero dell’ODP, l’articolo e le quantità da produrre, la lista di componenti da utilizzare e infine il responsabile MRP. Silwa riceverà tutti gli ordini almeno aperti, dove ogni ordine avrà una priorità indicata da Sap, e tramite il sistema si utilizzerà il pannello produzione per attivare lo spostamento dei materiali dalle varie aree di magazzino alle aree di produzione. Per poter sostenere questi flussi di materiali, il WMS creerà anche le liste di prelievo delle diverse tipologie di componenti richiesti dall’ODP, tramite le quali verranno assegnate delle missioni agli operatori secondo un algoritmo per la creazione del “percorso minimo”, con il passaggio una ed una sola volta per ogni ubicazione, e tenendo conto delle caratteristiche dell’articolo per comporre l’unità di prelievo. Il prelievo si concluderà con il controllo di coerenza fra prelievo fisico e quanto dichiarato. Infine, una volta prelevati i diversi materiali occorrenti per l’ODP in questione, questi verranno portati all’isola richiedente. Si può quindi concludere questa breve rassegna sulle logiche del software dipartimentale affermando che gli obiettivi prefissati di flessibilità e dinamicità per le isole di lavoro siano raggiungibili e anzi ruotino intorno a una corretta implementazione e utilizzo di tale sistema, il che è raggiungibile solamente tramite un pieno e convinto coinvolgimento da parte dei vari operatori impegnati in produzione.

Si può visualizzare infine a livello schematico, dalla Figura 56, come la soluzione proposta si integri con lo scenario attuale di Samo.

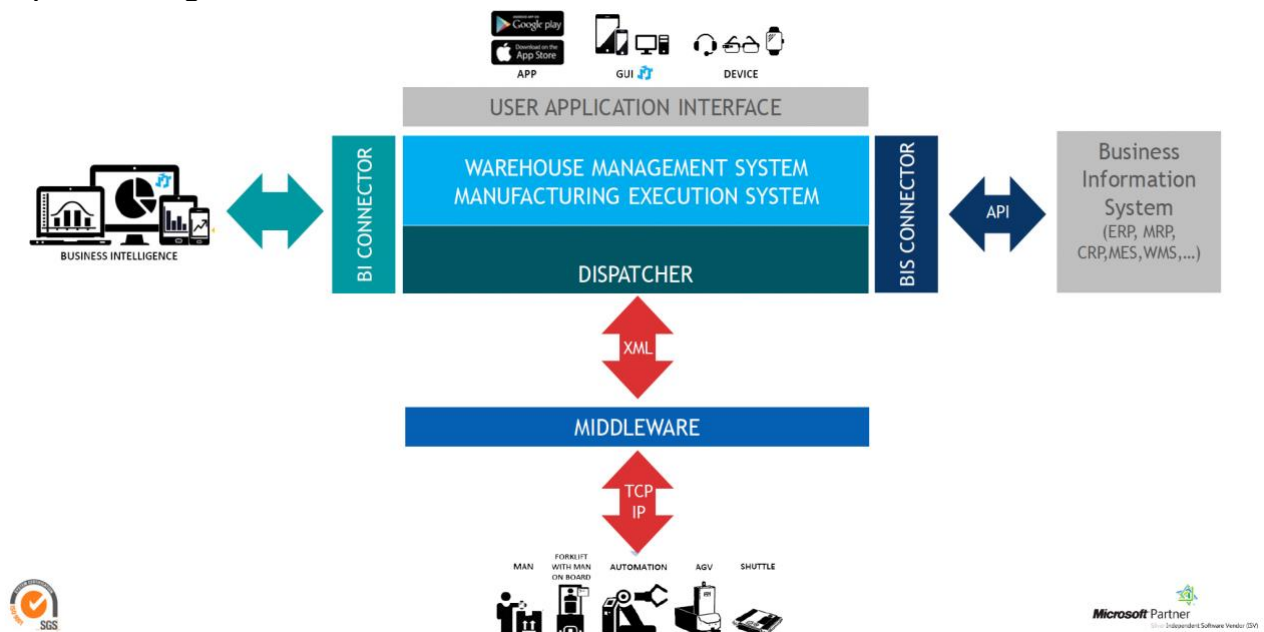


Figura 56 Integrazione della soluzione software proposta

CONCLUSIONI

Giunti alla conclusione di questa tesi, è possibile fornire una serie di considerazioni per ricapitolare il contenuto del lavoro.

Innanzitutto, è stato definito un sistema di parts feeding, sottolineando la sua importanza in termini di efficienza e flessibilità per l'intero sistema di assemblaggio, per poi passare a tracciare le principali politiche di parts feeding, sempre nel Capitolo 1. Nel Capitolo 2 invece è stata compresa l'importanza di progettare un sistema di parts feeding che sia ibrido, per tener conto della diversità dei componenti gestiti in uno stabilimento a livello di consumi e dimensioni geometriche.

Sempre nel Capitolo 2 è stato riproposto un modello quantitativo, a partire da studi presenti in letteratura, che consenta al decisore aziendale di selezionare la politica di parts feeding più conveniente per ciascun tipo di componente/parte, sulla base del calcolo della relativa funzione di costo data da diversi contributi a livello di costi. Per validare maggiormente tale modello, sempre nel corso del Capitolo 2 è stato proposto un ulteriore approfondimento delle funzioni di costo precedentemente menzionate, e nel quale viene valutato il come e il perché il costo di parts feeding sia influenzato dalle caratteristiche intrinseche delle parti, in modo tale da giustificare come mai una politica di parts feeding risulti essere più o meno conveniente, sempre in termini economici, per un determinato tipo di parte/componente.

Detto quindi del contenuto fortemente bibliografico dei primi due Capitoli, nel corso del Capitolo 3 si è entrati all'interno di uno caso reale, rappresentato dall'azienda (Samo S.p.A.) nella quale il sottoscritto ha sostenuto il proprio tirocinio formativo, e all'interno del quale sono stati definiti in dettaglio gli aspetti più critici tenuti in considerazione per il raggiungimento degli obiettivi prefissati dal progetto nato in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova, uno dei quali è relativo proprio al tema del feeding alle linee di assemblaggio.

Sebbene il progetto Samo non sia ancora concluso definitivamente, è stato possibile analizzare la situazione di partenza (as-is) e quella futura desiderata (to-be), in modo da comprendere almeno parzialmente gli step che Samo si è prefissata per permettere alle linee di assemblaggio di raggiungere le caratteristiche di efficienza e flessibilità richieste dal mercato e per le quali si era reso necessario un progetto di revisione dell'intero sistema produttivo di questo calibro.

Complessivamente mi ritengo soddisfatto dei contenuti esplicitati nel corso di questa tesi, per via del fatto che sono stati trattati sia argomenti prettamente teorici, derivanti dalla letteratura, che argomenti concreti e tecnici relativi all'esperienza vissuta in prima persona presso la Samo S.p.A., all'interno della quale ho potuto contribuire grazie alle conoscenze acquisite durante gli anni di studi universitari.

BIBLIOGRAFIA

- Battini, D., Faccio, M., Persona, A., & Sgarbossa, F. (2009). Design of the optimal feeding policy in an assembly system. *International Journal of Production Economics*, 121(1), 233–254.
- Baudin, M. (2004). *Lean logistics: The nuts and bolts of delivering materials and goods*. Productivity Press.
- Berg, J. P. van den, & Zijm, W. H. M. (1999). Models for warehouse management: Classification and examples. *International Journal of Production Economics*, 59(1–3), 519–528.
- Caputo, A. C., & Pelagagge, P. M. (2011). A methodology for selecting assembly systems feeding policy. *Industrial Management & Data Systems*, 111(1), 84–112.
- Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2008). Analysis and optimization of assembly lines feeding policies. *Advances in Manufacturing Technology–XXII*, 189–197.
- Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2015). A decision model for selecting parts feeding policies in assembly lines. *Industrial Management & Data Systems*, 115(6), 974–1003.
- Choi, W., & Lee, Y. (2002). A dynamic part-feeding system for an automotive assembly line. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1–2), 123–134.
- Corakci, M. A. (2008). An evaluation of kitting systems in lean production. *University college of Boras, school of engineering, SE, 501*, 90.
- Corréa, A. I., Langevin, A., & Rousseau, L.-M. (2007). Scheduling and routing of automated guided vehicles: A hybrid approach. *Computers & Operations Research*, 34(6), 1688–1707.
- Ding, F.-Y. (1992). KITTING IN JIT PRODUCTION-A KITTING PROJECT AT A TRACTOR PLANT. *Industrial Engineering*, 24(9), 42–43.
- Drira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255–267.
- Drury, J. (1988). Towards more efficient order picking. IMM Monograph No. 1. *The Institute of Materials Management*.
- Emde, S., & Boysen, N. (2011). Optimally routing and scheduling tow trains for JIT-supply of mixed-model assembly lines. *European Journal of Operational Research*, S0377221711008162.
- Faccio, M. (2014). The impact of production mix variations and models varieties on the

parts-feeding policy selection in a JIT assembly system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 72(1–4), 543–560.

Faccio, M., Gamberi, M., & Persona, A. (2013). Kanban number optimisation in a supermarket warehouse feeding a mixed-model assembly system. *International Journal of Production Research*, 51(10), 2997–3017.

Field, K. (1997). Point-of-use storage saves TI millions. *Modern Materials Handling*, 52(7), 42–44.

Fonseca, D. J., Uppal, G., & Greene, T. J. (2004). A knowledge-based system for conveyor equipment selection. *Expert Systems with Applications*, 26(4), 615–623.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, 177(1), 1–21.

Hanson, R. (2012). *In-plant materials supply: Supporting the choice between kitting and continuous supply*. Chalmers Univ. of Technology.

Henderson, R., & Kiran, A. (1993). Kitting elimination supports just-in-time principles. *Industrial Engineering*, 25(3), 46–48.

Heragu, S. S. (2018). *Facilities Design* (0 ed.). CRC Press.

Hua, S. Y., & Johnson, D. J. (2010). Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking. *International Journal of Production Research*, 48(3), 779–800.

Hurrion, R. D. (1997). An example of simulation optimisation using a neural network metamodel: Finding the optimum number of kanbans in a manufacturing system. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1105–1112.

Johansson, E., & Johansson, M. I. (2006). Materials supply systems design in product development projects. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(4), 371–393.

Johansson, M. I. (1991). Kitting systems for small size parts in manual assembly systems. Pridham, M & O'Brien (Eds.), *Production research: approaching the 21st century*, 225–230.

Khayat, G. E., Langevin, A., & Riopel, D. (2006). Integrated production and material handling scheduling using mathematical programming and constraint programming. *European Journal of Operational Research*, 175(3), 1818–1832.

Kilic, H. S., & Durmusoglu, M. B. (2013). A mathematical model and a heuristic approach for periodic material delivery in lean production environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5–8), 977–992.

- Kilic, H. S., & Durmusoglu, M. B. (2015). Advances in assembly line parts feeding policies: A literature review. *Assembly Automation*, 35(1), 57–68.
- Kilic, H. S., Durmusoglu, M. B., & Baskak, M. (2012). Classification and modeling for in-plant milk-run distribution systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9–12), 1135–1146.
- Kulak, O. (2005). A decision support system for fuzzy multi-attribute selection of material handling equipments. *Expert Systems with Applications*, 29(2), 310–319.
- Lashkari, R. S., Boparai, R., & Paulo, J. (2004). Towards an integrated model of operation allocation and material handling selection in cellular manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, 87(2), 115–139.
- Limère, V., Landeghem, H. V., Goetschalckx, M., Aghezzaf, E.-H., & McGinnis, L. F. (2012). Optimising part feeding in the automotive assembly industry: Deciding between kitting and line stocking. *International Journal of Production Research*, 50(15), 4046–4060.
- Mirhosseyni, S. H. L., & Webb, P. (2009). A Hybrid Fuzzy Knowledge-Based Expert System and Genetic Algorithm for efficient selection and assignment of Material Handling Equipment. *Expert Systems with Applications*, 36(9), 11875–11887.
- Nori, V. S., & Sarker, B. R. (1998). Optimum number of Kanbans between two adjacent stations. *Production Planning & Control*, 9(1), 60–65.
- Ohno, K., Nakashima, K., & Kojima, M. (1995). Optimal numbers of two kinds of kanbans in a JIT production system. *International Journal of Production Research*, 33(5), 1387–1401.
- Pareschi, A., Persona, A., Ferrari, E., & Regattieri, A. (2011). *Logistica Integrata e Flessibile* (2^a ed.). Società Editrice Esculapio.
- Raman, D., Nagalingam, S. V., Gurd, B. W., & Lin, G. C. I. (2009). Quantity of material handling equipment—A queuing theory based approach. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25(2), 348–357.
- Romano, P. (2009). *Gestione dei materiali nelle operations: Principi, tecniche e applicazioni*. Cedam.
- Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. *European Journal of Operational Research*, 122(3), 515–533.
- Satoglu, S. I., Durmusoglu, M. B., & Dogan, I. (2006). Evaluation of the conversion from central storage to decentralized storages in cellular manufacturing environments using activity-based costing. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 616–632.

Selcuk Kilic, H., & Bulent Durmusoglu, M. (2012). Design of kitting system in lean-based assembly lines. *Assembly Automation*, 32(3), 226–234.

Sendil Kumar, C., & Panneerselvam, R. (2007). Literature review of JIT-KANBAN system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3–4), 393–408.

Shahabudeen, P., Gopinath, R., & Krishnaiah, K. (2002). Design of bi-criteria kanban system using simulated annealing technique. *Computers & Industrial Engineering*, 41(4), 355–370.

Sule, D. R. (2008). *Manufacturing Facilities: Location, Planning, and Design, Third Edition* (3rd ed). CRC Press.

Tuzkaya, G., Gülsün, B., Kahraman, C., & Özgen, D. (2010). An integrated fuzzy multi-criteria decision making methodology for material handling equipment selection problem and an application. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 2853–2863.

Caputo, A. C., & Pelagagge, P. M. (2011). A methodology for selecting assembly systems feeding policy. *Industrial Management & Data Systems*, 111(1), 84–112.

Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2015a). Planning models for continuous supply of parts in assembly systems. *Assembly Automation*, 35(1), 35–46.

Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2015b). A decision model for selecting parts feeding policies in assembly lines. *Industrial Management & Data Systems*, 115(6), 974–1003.

Caputo, A. C., Pelagagge, P. M., & Salini, P. (2018). Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1208–1232.

Finnsgård, C., Wänström, C., Medbo, L., & Neumann, W. P. (2011). Impact of materials exposure on assembly workstation performance. *International Journal of Production Research*, 49(24), 7253–7274.

Hanson, R. (2012). *In-plant materials supply: Supporting the choice between kitting and continuous supply*. Chalmers Univ. of Technology.

Hanson, R., & Brolin, A. (2013). A comparison of kitting and continuous supply in in-plant materials supply. *International Journal of Production Research*, 51(4), 979–992.

Hanson, R., & Finnsgård, C. (2014). Impact of unit load size on in-plant materials supply efficiency. *International Journal of Production Economics*, 147, 46–52.

Hanson, R., & Medbo, L. (2012). Kitting and time efficiency in manual assembly. *International Journal of Production Research*, 50(4), 1115–1125.

Hua, S. Y., & Johnson, D. J. (2010). Research issues on factors influencing the choice of kitting versus line stocking. *International Journal of Production Research*, 48(3), 779–800.

Kilic, H. S., & Durmusoglu, M. B. (2015). Advances in assembly line parts feeding policies: A literature review. *Assembly Automation*, 35(1), 57–68.

Neumann, W. P., & Medbo, L. (2010). Ergonomic and technical aspects in the redesign of material supply systems: Big boxes vs. narrow bins. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40(5), 541–548.

Wänström, C., & Medbo, L. (2008). The impact of materials feeding design on assembly process performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 20(1), 30–51.

SITOGRAFIA

<https://www.saloodo.com/logistics-dictionary/rack/>

<https://bizzottoscaffalature.it/portapallet-b110/21-portapallet-m11080.html>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Bins>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Transpallet>

https://it.wikipedia.org/wiki/Automated_guided_vehicle

https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_delle_scorte

<https://en.wikipedia.org/wiki/EUR-pallet>

<https://www.fabioscolari.it/il-principio-di-pareto-la-legge-80-20/>

<https://www.samo.it/it/tecnologie-per-il-bagno>

RINGRAZIAMENTI

Giunto alla conclusione di questo elaborato nonché dell'intero percorso universitario, è doveroso da parte mia fare alcuni ringraziamenti a una serie di persone senza le quali non sarebbe stato possibile per me arrivare fino a questo prestigioso traguardo.

I primi ringraziamenti vanno certamente alla mia famiglia, in particolar modo a mia madre, che anche nei momenti più difficili e di sconforto non ha mai smesso di credere in me, e che continua ancora oggi a essere il mio esempio da seguire.

Un altro ringraziamento sentito va anche ad Asja, che da ormai 4 anni mi sostiene e crede in me, e con la quale giorno dopo giorno mi confronto e programmo il nostro futuro insieme.

Ringrazio anche mio fratello Federico, con il quale ho il più classico dei rapporti fraterni di amore et odio, ma sul quale so che posso fare affidamento in qualsiasi momento io abbia bisogno.

Passando agli amici, non posso far altro che ringraziare tutti coloro che sono rimasti nella mia vita e che mi vogliono bene anche senza essere presenti tutti i giorni, ma vorrei fare in particolare un ringraziamento speciale a Francesco, amico fedele e fidato da più di 10 anni e una delle poche persone con la quale riesco sempre a essere me stesso.

Ringrazio anche mio padre per il contributo che ha dato alla mia istruzione nonché alla mia educazione, oltre che per il fatto che è anche grazie a lui se sono diventato la persona che sono oggi.

I miei più sentiti ringraziamenti vanno anche al mio relatore, il Professore Alessandro Persona, e al mio tutor aziendale, Mirko Venturato, nonché a tutti i dipendenti della Samo S.p.A. con i quali ho avuto il piacere di collaborare in questi mesi di tirocinio che sono stati per me di fondamentale importanza.

L'ultimo ringraziamento è quello che voglio fare a me stesso, per non aver mai mollato e per aver sempre creduto che questo giorno sarebbe arrivato, nonostante tutte le delusioni ma anche le gioie passate in questi lunghi, faticosi, ma anche molto gratificanti anni di studio universitario.