UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI ASSEMBLAGGIO MIXED-MODEL PER PRODOTTI RADIOCOMANDATI: IL CASO BARBIERI S.R.L.

Relatrice:

Chiar.ma Prof.ssa Daria Battini

Laureando:

Enrico Capito

Anno Accademico 2019/2020

RINGRAZIAMENTI:

Tante sono le persone che mi hanno accompagnato dall'inizio di questo viaggio: alcune c'erano allora e ci sono ancora, certe non ci sono più mentre altre, ne sono sicuro, ci saranno; a tutte loro va il mio pensiero e profonda gratitudine.

Desidero ringraziare la Professoressa Daria Battini per la disponibilità e gli utili consigli ricevuti nella redazione di questo progetto di Tesi.

Una menzione speciale ai miei genitori, Francesco e Paola, e a mio fratello Davide, per la vicinanza, la perseveranza e il supporto fornitimi durante questi anni di studio.

Un sentito grazie a Martina, che ha affrontato il tutto con pazienza e discrezione, sempre presente quando veramente contava.

Un pensiero particolare ai miei nonni e zia paterni, per le lunghe chiacchierate, i confronti e i consigli ricevuti su qualsiasi argomento in questi anni.

Infine, la mia gratitudine va ai colleghi incontrati nella mia esperienza lavorativa in Barbieri S.r.l.: all'Ingegnere Gianni Barbieri, che aveva già capito tutto molto prima di me; ad Andrea e Gabriele, per gli innumerevoli consigli e le ore passate insieme a risolvere gli inconvenienti; a Erminio, Ivano, Luca, Matteo e Paolo, senza i quali la realizzazione di questa Tesi sarebbe stata molto più difficile e complicata.

SOMMARIO:

L’obiettivo e l’oggetto di questo elaborato di Tesi è lo studio e l’implementazione di un nuovo sistema di assemblaggio manuale per prodotti Radiocomandati presso Barbieri S.r.l., azienda da sempre operante nel settore della piccola meccanizzazione agricola, della silvicoltura e del giardinaggio. Lo scopo della nuova linea è l’incremento della produttività e della varietà offerta dei prodotti Radiocomandati rispetto alla situazione attualmente in essere all’interno dell’azienda, così da convergere verso le richieste provenienti dal mercato e dai clienti.

L’esperienza di tirocinio svolta in Barbieri S.r.l. ha permesso di analizzare accuratamente il processo di assemblaggio attuale, in modo da rilevarne le principali criticità: lo studio dei cicli di assemblaggio, la fase di rilevamento tempi e il bilanciamento delle attività fra gli operatori hanno permesso di proporre differenti soluzioni fattibili per la nuova linea di prodotti Radiocomandati.

L’analisi è poi proseguita al di là del processo di assemblaggio vero e proprio. In particolare, si è concentrata sull’acquisto delle parti di assemblaggio, sulla gestione dei componenti critici e sulla corretta feeding-policy da adottare per il nuovo sistema.

Infine, è stato valutato un ipotetico nuovo layout per la linea di prodotti Radiocomandati di Barbieri S.r.l., con un calcolo dei costi e dei ricavi marginali che ciò comporterebbe.

Per le tempistiche e il training necessari all’adozione delle soluzioni proposte, non è stato ancora possibile implementare del tutto il nuovo sistema di assemblaggio; il lavoro svolto rappresenta comunque una base di partenza per una possibile futura adozione nei prossimi mesi.

INDICE:

INTRODUZIONE 1

CAPITOLO 1: DEFINIZIONE DEI SISTEMI DI ASSEMBLAGGIO, RILEVAMENTO TEMPI E BILANCIAMENTO DEL SISTEMA 3

1.1 Introduzione ai Sistemi di Assemblaggio 3

1.2 Classificazione dei Sistemi di Assemblaggio 4

1.2.1 Classificazione in base alla tipologia di prodotto 4

1.2.1.1 Single-Model Assembly Lines 4

1.2.1.2 Mixed-Model Assembly Lines 4

1.2.1.3 Multi-Model Assembly Lines 4

1.2.2 Classificazione in base alla cadenza del Sistema di Assemblaggio 5

1.2.2.1 Sistema di Assemblaggio sincrono o a cadenza imposta 5

1.2.2.2 Sistema di Assemblaggio asincrono o a cadenza non imposta 5

1.2.3 Classificazione in base alla tipologia di layout 6

1.3 Analisi della Famiglia dei Prodotti 6

1.3.1 Algoritmo di Clustering *ROC* (Rank Order Clustering) 7

1.4 Ciclo di Assemblaggio e Matrice di Incidenza 8

1.4.1 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche 8

1.4.2 Matrice di Incidenza 8

1.5 Tecniche di rilevamento tempi 9

1.5.1 Tecnica di rilevamento tempi basata sul metodo Bedaux (Cronotecniche) 9

1.6 Bilanciamento dei Sistemi di Assemblaggio 12

1.7 Virtual Average Model (*VAM*) 14

1.8 Indici di bilanciamento di un Sistema di Assemblaggio 15

CAPITOLO 2: LOTTI ECONOMICI, SCORTE DI SICUREZZA E FEEDING-POLICY.....19

2.1 Modello del Lotto Economico di Acquisto 19

2.2 Scorte di Sicurezza e loro ottimizzazione economica 21

2.3 Definizione del Parts-Feeding System 23

2.3.1 Immagazzinamento delle parti di assemblaggio 24

2.3.1.1 Magazzino Centralizzato con feeding diretto 24

2.3.1.2 Magazzino Decentralizzato a bordo linea 24

2.3.1.3 Magazzino Centralizzato con feeding indiretto dal Supermarket .. 25

2.3.2 Tipologie di feeding al Sistema di Assemblaggio 25

2.3.2.1 Pallet-to-Work Station (P-WS) 25

2.3.2.2 Trolley-to-Work Station (T-WS) 26

2.3.2.3 Kit-to-Assembly Line (K-AL) 26

2.4 Scelta della Feeding-Policy 27

2.4.1 Fase della raccolta dati 27

2.4.2 Decisione di Centralizzazione o Decentralizzazione 27

2.4.3 Calcolo della politica di feeding ottimale 29

CAPITOLO 3: IL CASO BARIBIERI S.R.L.: STUDIO PRELIMINARE E DEFINIZIONE DELLA FAMIGLIA DI PRODOTTI 33

3.1 Il contesto aziendale 33

3.1.1 L'azienda e la sua organizzazione interna 33

3.1.2 I principali Prodotti 36

3.1.2.1 Motofalciatrice C70 36

3.1.2.2 Motofalciatrice C80 36

3.1.2.3 Motocoltivatore Flex 2+2 37

3.1.2.4 Motozappa B115 37

3.1.2.5 Trinciasarmenti G/660 e G/775 38
3.1.2.6 Prodotti Radiocomandati 38
3.1.2.7 Prodotti a marchio Iseki 39
3.2 Fase di Studio Preliminare e Analisi della situazione as-is 42
3.2.1 Isola di Assemblaggio 1 42
3.2.1.1 Problematiche legate al bilanciamento e al Work-in-Process 43
3.2.1.2 Problematiche di approvvigionamento alla linea 44
3.2.1.3 Task critici del Ciclo di Assemblaggio 44
3.2.1.4 Gestione dei componenti critici 45
3.2.1.5 Problematiche di spazio 45
3.2.2 Isola di Assemblaggio 2 48
3.2.2.1 Problematiche legate al bilanciamento 48
3.2.2.2 Problematiche legate al flusso dei materiali dall'Isola di Ass. 1 49
3.2.2.3 Problematiche legate al feeding alla Stazione 49
3.3 Analisi della Famiglia di Prodotti 51
CAPITOLO 4: IL CASO BARBIERI S.R.L: PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO DEL SISTEMA 59
4.1 Assemblaggio del Modello *B* 59
4.1.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio, Modello *B* 59
4.1.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *B* 62
4.1.3 Matrice di Incidenza, Modello *B* 63
4.2 Assemblaggio del Modello *K* 63
4.2.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio, Modello *K* 63
4.2.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *K* 66
4.2.3 Matrice di Incidenza, Modello *K* 67
4.3 Assemblaggio del Modello *T* 67

4.3.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio, Modello *T* 67
4.3.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *T* 70
4.3.3 Matrice di Incidenza, Modello *T* 71
4.4 Joint Precedence Diagram 72
4.5 Joint Incidence Matrix 73
4.6 Fase di Rilevamento Tempi 74
4.6.1 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *B* 75
4.6.2 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *K* 75
4.6.3 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *T* 76
4.7 Virtual Average Model *(VAM)* 76
4.8 Bilanciamento del Sistema di Assemblaggio 78
4.8.1 Dati di input al Sistema e Rough Cut Capacity Planning 78
4.8.2 Metodo di Bilanciamento per tentativi 81
4.8.3 Indici di Bilanciamento del metodo per tentativi 83
4.8.4 Euristico di Bilanciamento Largest Candidate Rule (*LCR*) 86
4.8.5 Indici di Bilanciamento del metodo *LCR* 88
4.8.6 Euristico di Bilanciamento Ranked Positional Weights (*RPW*) 90
4.8.7 Indici di Bilanciamento del metodo *RPW* 93
4.8.8 Euristico di Bilanciamento Killbridge & Wester's Method (*KWM*) 94
4.8.9 Indici di Bilanciamento del metodo *KWM* 97
4.9 Confronto fra gli Indici di Performance 99
4.9.1 Indici di Ozio e di Work-Overload del Sistema di Assemblaggio 99
4.9.2 Indice di Efficienza del Sistema di Assemblaggio 100
4.9.3 Indici di livellamento fra e all'interno delle Stazioni del Sistema di Ass.. 100

CAPITOLO 5: IL CASO BARBIERI S.R.L.: GESTIONE DEL SISTEMA DI ASSEMBLAGGIO, NUOVO LAYOUT E CONCLUSIONI 105

5.1 Lotti Economici di Acquisto 105

5.2 Scorte di Sicurezza 110

5.3 Scelta della Feeding-Policy 115

5.3.1 Gestione dei componenti a domanda indipendente 115

5.3.2 Gestione dei componenti a domanda dipendente 115

5.4 Gestione delle parti di assemblaggio 125

5.4.1 Gestione dei componenti voluminosi 125

5.4.2 Gestione dei componenti di minuteria 126

5.4.3 Gestione dei componenti tramite Trolley 129

5.5 Layout del nuovo Sistema di Assemblaggio 129

5.5.1 Stazione 1 130

5.5.2 Stazione 2 131

5.5.3 Stazione 3 132

5.5.4 Stazione 4 133

5.5.5 Stazione 5 133

5.6 Valutazione Economica 138

5.6.1 Costi marginali 138

5.6.2 Ricavi marginali 139

5.7 Progetti futuri 141

5.8 Conclusioni 142

BIBLIOGRAFIA 147

SITOGRAFIA 149

INTRODUZIONE:

Per Sistema Produttivo solitamente si intende tutto l'insieme di operatori umani, risorse automatizzate, impianti, attrezzature e organizzazioni che permette di produrre un prodotto o di erogare un servizio. Negli ultimi anni si è assistito ad una crescita enorme della varietà richiesta dal mercato, con i clienti che ricercano un prodotto o un servizio fatto su misura, customizzato per lo specifico interesse, che si differenzi da quello di tutti gli altri. A partire dagli anni '80 ciò ha segnato un punto di rottura nella produzione industriale per come era sempre stata conosciuta; fin dai suoi inizi negli anni '20 con la produzione di massa fordista, infatti, l'obiettivo era sempre stato quello di produrre il più possibile, offrendo al mercato una bassa varietà e sfruttando in questa maniera le economie di scala per abbassare i costi di produzione.

Ciò si collega con l'obiettivo di questa Tesi e del progetto di tirocinio svolto presso Barbieri S.r.l, quello di cercare di implementare un nuovo Sistema di Assemblaggio manuale per una famiglia di prodotti introdotta recentemente nel portafoglio dell'azienda, i Radiocomandati rotativi a lama singola e i Radiocomandati rotativi a coltelli. La finalità della nuova linea di assemblaggio è l'incremento della produttività rispetto al sistema di assemblaggio attualmente presente in azienda; allo stesso tempo, si vuole cercare di offrire al mercato un ampio mix di prodotti secondo le richieste provenienti dai clienti, adottando così una logica di assemblaggio di tipo Mixed-Model. La Tesi ha cercato di sviluppare il nuovo sistema adottando un approccio il più coerente e integrato possibile, che man mano sviluppasse la nuova linea di assemblaggio in continuità con i risultati parziali che via via emergevano durante l'esperienza di tirocinio in azienda. I primi 2 capitoli trattano i sistemi di assemblaggio a livello teorico, i successivi 3 riprendono alcune delle nozioni teoriche e tecniche presentate e le applicano al caso studio di Barbieri S.r.l.

Il Capitolo 1 definisce cos'è un sistema di assemblaggio e alcune sue possibili classificazioni. Successivamente, lo studio della famiglia di prodotti permette di comprendere quali sono i modelli che possono essere assemblati sul nuovo sistema produttivo.

Definiti i task di assemblaggio, è necessario misurarne la durata attraverso l'applicazione di una opportuna metodologia di rilevamento tempi (in questa Tesi si farà uso del metodo Bedaux). Infine, nel capitolo si è fornita una possibile classificazione dei bilanciamenti per un sistema di assemblaggio, i quali hanno lo scopo di assegnare le diverse attività precedentemente misurate ai diversi operatori; questo al fine di garantire una certa produttività richiesta al sistema rispettando dunque un tempo ciclo impostato. A valle dei metodi di bilanciamento, sono stati introdotti alcuni Indicatori di Performance che permettono di valutare la bontà del metodo utilizzato.

Il Capitolo 2 conclude la trattazione teorica approfondendo la gestione delle parti di assemblaggio e il loro approvvigionamento al sistema. In particolare, si affronta il tema dei lotti economici di acquisto e si espone la procedura di calcolo della scorta di sicurezza. Per quanto riguarda la gestione delle parti di assemblaggio, il capitolo affronta le diverse tipologie di magazzino e si sofferma sull'esposizione delle differenti feeding-policy adottabili per alimentare un sistema di assemblaggio.

Il Capitolo 3 introduce l'azienda Barbieri S.r.l., il contesto nel quale essa opera e i principali prodotti assemblati all'interno dello stabilimento. Illustra poi le due isole di assemblaggio per prodotti Radiocomandati presenti al momento in azienda, soffermandosi sulle criticità emerse durante la fase di studio preliminare.

Il Capitolo 4 tratta la progettazione di dettaglio del nuovo sistema di assemblaggio: per ogni modello ne vengono descritti i task di assemblaggio, il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche e la Matrice di Incidenza. L'applicazione di diversi metodi di bilanciamento sul Virtual Average Model *(VAM)*, il calcolo degli Indici di Performance e il confronto fra gli stessi hanno portato alla scelta del bilanciamento più consono alle richieste aziendali.

Infine, nel Capitolo 5 vengono analizzati i lotti economici di acquisto ottimali delle parti di assemblaggio, le scorte di sicurezza per alcuni componenti critici e come le parti di assemblaggio debbano essere portate in linea. Viene poi presentato un ipotetico layout del nuovo sistema di assemblaggio, con un calcolo dei costi e dei ricavi marginali che l'adozione delle soluzioni proposte comporterebbe. Un report finale di confronto fra la situazione pre e post caso studio conclude la fase di analisi svolta in Barbieri S.r.l.

CAPITOLO 1: DEFINIZIONE DEI SISTEMI DI ASSEMBLAGGIO, RILEVAMENTO TEMPI E BILANCIAMENTO DEL SISTEMA

L'obiettivo del capitolo è offrire una introduzione ai sistemi di assemblaggio e alle modalità con le quali essi possono essere classificati. Dopo aver definito cosa si intende per sistema di assemblaggio, il capitolo tratta a livello teorico i concetti che vengono approfonditi e analizzati quantitativamente nei capitoli successivi: l'analisi della famiglia di prodotti, il metodo Bedaux per il rilevamento della durata delle attività e il bilanciamento dei sistemi di assemblaggio.

1.1 Introduzione ai Sistemi di Assemblaggio:

Si è soliti definire un impianto industriale come un insieme di macchinari, apparecchiature, attrezzature o servizi per trasformare una materia prima o un semi-lavorato in un prodotto finito. Ciò è reso possibile grazie all'impiego di capitale, di macchinari, di uomini, del know-how umano e tecnologico presente nell'impianto industriale.

All'interno degli impianti industriali si trovano i sistemi di assemblaggio: si tratta di sistemi i quali, partendo da più parti da assemblare, tramite un processo convergente danno come output dei prodotti finiti che possono essere venduti sul mercato. Attorno ai sistemi di assemblaggio ruotano quattro aspetti fondamentali, ognuno dei quali influenza il modo in cui il sistema è concepito e allo stesso tempo è influenzato dai tre parametri rimanenti [1]:

1) **Layout:** per layout si intende la disposizione planimetrica delle attrezzature e delle risorse umane/automatiche all'interno del sistema di assemblaggio;
2) **Logistica delle parti di assemblaggio:** le parti da assemblare devono essere portate nel punto giusto del sistema di assemblaggio, nei tempi giusti e nelle quantità ottimali;

3) **Produttività:** è necessario sapere adattare il sistema di assemblaggio a produrre ciò che il mercato vuole per essere produttivi quanto serve, evitando l'insoddisfazione del cliente ma allo stesso tempo non creando un quantitativo di scorte eccessivo;
4) **Ergonomia e Sicurezza:** all'interno di un sistema di assemblaggio sono presenti delle stazioni, in ognuna delle quali solitamente si trovano uno o più addetti al processo di assemblaggio. Nel sistema è necessario gestire le risorse umane in ergonomia e in sicurezza, dunque l'operatore deve essere posto in condizioni favorevoli di lavoro;

1.2 Classificazione dei Sistemi di Assemblaggio:

1.2.1 Classificazione in base alla tipologia di prodotto: secondo Becker & Scholl [2], i sistemi di assemblaggio si possono classificare in tre casistiche differenti, secondo la tipologia di prodotto in essi assemblata:

- ***1.2.1.1 Single-Model Assembly Lines:*** dal sistema di assemblaggio esce un flusso continuo di prodotti tutti uguali fra loro. Questa configurazione si usa quando si intende offrire al mercato un modello specifico in grandi quantità, con un'unica variante uscente dalla linea di assemblaggio;

- ***1.2.1.2 Mixed-Model Assembly Lines:*** se si vuole far lavorare il sistema di assemblaggio in quest'ottica, si cerca di offrire un mix di modelli differenti con alcune caratteristiche diversificate ma riconducibili ad un'unica famiglia di prodotti. Dal sistema escono i modelli seguendo gli ordinativi provenienti dal mercato;

- ***1.2.1.3 Multi-Model Assembly Lines:*** si tratta di un sistema di assemblaggio intermedio fra i due appena descritti: dal sistema escono dei lotti di prodotti uguali fra loro e alla fine di ogni batch di modelli vi è un tempo di set-up per la preparazione del sistema alla successiva produzione;

La Figura 1.1 riassume le 3 tipologie di sistemi di assemblaggio appena descritte:

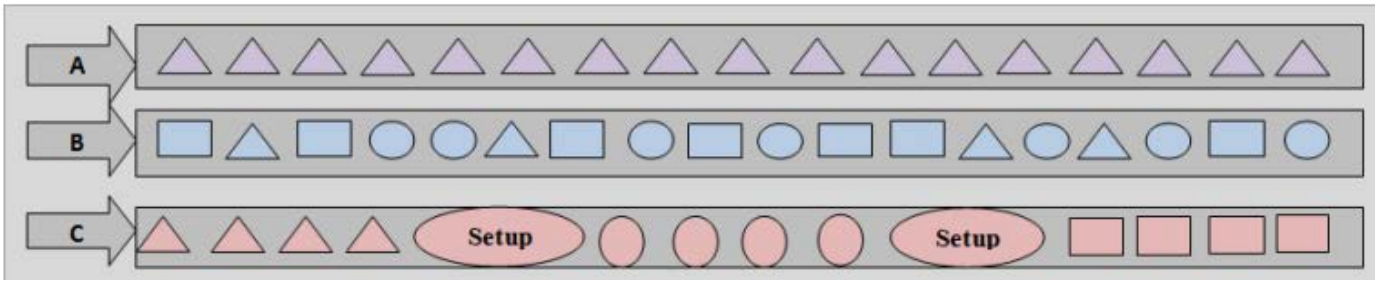

Figura 1.1: classificazione dei sistemi di assemblaggio in base alla tipologia di prodotto [Becker e Scholl, 2˙003]

1.2.2 Classificazione in base alla cadenza del Sistema di Assemblaggio: sempre Becker & Scholl [2] propongono una classificazione in base alla cadenza della linea:

- ***1.2.2.1 Sistema di Assemblaggio sincrono o a cadenza imposta:*** detto anche linea sincrona, è un sistema di assemblaggio attraverso il quale il prodotto si muove da una stazione di assemblaggio all'altra secondo un ritmo predefinito precedentemente impostato. In questi sistemi, il prodotto rimane fermo in una stazione per un tempo fisso che è chiamato tempo ciclo. Questi, chiamato anche *Takt Time*, è il tempo massimo di fermata del prodotto nella singola stazione di assemblaggio, oppure in altri termini il tempo che l'operatore ha a disposizione per l'esecuzione dei propri task.

- ***1.2.2.2 Sistema di Assemblaggio asincrono o a cadenza non imposta:*** in questi tipi di sistemi di assemblaggio l'operatore non ha ozio e fa avanzare il prodotto solamente al termine delle proprie attività di montaggio. In questa configurazione della linea il tempo ciclo T_C non è fisso, non rappresenta un vincolo ed è solo un obiettivo, poiché in alcuni casi l'operatore può anche superarlo.

1.2.3 Classificazione in base alla tipologia di layout: una linea di assemblaggio può essere classificata anche secondo la tipologia di layout che essa assume [1], ossia secondo la sua disposizione planimetrica all'interno dello stabilimento (alcuni esempi sono la linea seriale, la linea con stazioni in parallelo, la linea a *U*, la linea a postazione singola). Gli operatori, i macchinari, le attrezzature e tutto ciò che entra a far parte del sistema di assemblaggio devono essere disposti secondo una configurazione che permetta all'azienda di rispondere nel modo corretto alle esigenze del mercato, nelle tempistiche corrette e con i giusti aspetti ergonomici del personale coinvolto. Un layout sbagliato comporta dei costi extra che il sistema di assemblaggio si trova a dover sostenere; cosa più grave, i costi in più devono essere sostenuti per ogni unità di prodotto realizzata dal sistema produttivo.

1.3 Analisi della Famiglia dei Prodotti:

Nella fase di studio preliminare di un sistema di assemblaggio è necessario conoscere quali sono i prodotti che lo vanno a comporre.

La Product Flow Analysis (*PFA*), o Analisi della Famiglia di Prodotti, usa delle Matrici di Incidenza composte da zeri e uni per andare ad indagare le similitudini fra tutte le famiglie di prodotti. Queste matrici mettono in colonna i prodotti che si vogliono assemblare nel sistema e nelle righe le attività di assemblaggio che è necessario eseguire per poter realizzare il prodotto, i cosiddetti task di assemblaggio. Si definisca a_{ij} il singolo valore di cella della Matrice di Incidenza, identificato dalla *i*-esima riga e dalla *j*-esima colonna; si ha che:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, se\ il\ prodotto\ presenta\ quella\ attività\ di\ assemblaggio; \\ 0, se\ il\ prodotto\ non\ presenta\ quella\ attività\ di\ assemblaggio; \end{cases}$$

1.3.1 Algoritmo di Clustering *ROC* (Rank Order Clustering): chiamato anche algoritmo di King [3], permette di raggruppare fra loro i prodotti che presentano caratteristiche simili; a partire dalla Matrice di Incidenza composta da uni e zeri, l'algoritmo di Clustering *ROC* calcola un punteggio per ogni riga e un punteggio per ogni colonna. Si definiscono:

- i = i-esima riga della Matrice di Incidenza, con i= 1, ……, m;
- j= j-esima colonna della Matrice di Incidenza, con j= 1, ……, n;
- a_{ij}= singolo valore presente in i-esima riga e in j-esima colonna;

Per ogni i-esima riga si calcola il punteggio W_i, definito come:

$$W_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} * 2^{n-j} ;$$

Successivamente si ordinano tutti i punteggi ottenuti in ordine decrescente. Lo stesso procedimento poi si attua ad ogni j-esima colonna della Matrice di Incidenza:

$$W_j = \sum_{i=1}^{m} a_{ij} * 2^{m-i} ;$$

Anche in questo caso i punteggi W_j ottenuti vanno posti in ordine decrescente. Il procedimento va iterato fino ad ottenere un risultato soddisfacente, con cluster di uni e zeri ben distinguibili gli uni dagli altri che vanno a identificare i diversi prodotti componenti il sistema di assemblaggio.

1.4 Ciclo di Assemblaggio e Matrice di Incidenza:

La fase di studio preliminare relativa all'identificazione della famiglia di prodotti permette di fare emergere le comunanze fra i vari modelli e di valutare un ipotetico sistema di assemblaggio che sappia rispondere alle richieste del mercato, nei termini del mix produttivo identificato. Tuttavia, ed è un aspetto fondamentale, finora non si è trattato di come l'identificazione della famiglia di prodotti non tenga conto di quelli che sono i vincoli e le precedenze tecnologiche delle attività di assemblaggio che vanno a costituire il prodotto finito.

1.4.1 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche: in questo tipo di diagramma la rappresentazione avviene attraverso nodi ed archi: il nodo rappresenta un task di assemblaggio, inteso come un'attività indivisibile ed elementare che può essere eseguito da una sola risorsa (sia essa umana o automatica). La freccia invece che unisce i due task rappresenta la precedenza tecnologica, ovvero indica che il task *h*-esimo (per esempio, il task 4 di Figura 1.2) non può essere eseguito prima del completamento del task *i*-esimo (per esempio, il task 3 di Figura 1.2).

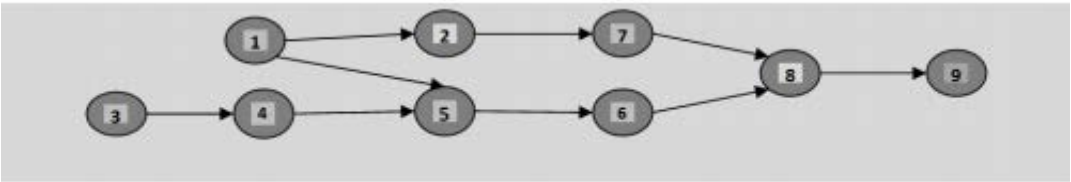

Figura 1.2: esempio di Diagramma delle Precedenze Tecnologiche [Boysen et al., 2˙006a]

1.4.2 Matrice di Incidenza: con un elevato numero di task, di difficile rappresentazione, si è soliti passare da un Diagramma delle Precedenze Tecnologiche ad una Matrice di Incidenza (*N*N)*, con *N* indicante il numero di task componenti il generico modello. Si consideri una generica cella x_{ih} della Matrice di Incidenza, data dall'incrocio della riga dell'*i*-esimo task con la colonna dell'*h*-esimo task (con *i* che precede *h* più tutti i suoi successori); si ha:

$$x_{ih} = \begin{cases} 1 \; se \; c' \text{è} \; una \; precedenza \; tecnologica \; fra \; i \; due \; task \; e \; i \; successori \; di \; h \; ; \\ 0 \; se \; non \; c' \text{è} \; alcuna \; precedenza \; tecnologica \; fra \; i \; due \; task \; e \; i \; successori \; di \; h; \end{cases}$$

1.5 Tecniche di rilevamento tempi:

Una volta definito il ciclo di assemblaggio del prodotto e la sua suddivisione in task, il successivo bilanciamento non può prescindere da una accurata attività di rilevamento tempi. Il rilevamento della durata di un task può venire effettuato mediante una serie di tecniche che puntano a quantificare "l'ammontare di tempo necessario all'operatore per l'esecuzione del proprio compito, secondo lo specifico metodo che si è deciso di utilizzare" [4].

La definizione dell'opportuna tecnica e la sua successiva applicazione portano a definire le eventuali attività critiche del ciclo di assemblaggio e forniscono una base di partenza per i successivi metodi di bilanciamento.

Tre sono le principali tecniche di rilevamento tempi che si possono applicare:

- le Cronotecniche, che prevedono l'uso di un cronometro;
- il Work-Sampling, una tecnica basata sul campionamento statistico del lavoro;
- le tecniche basate sui Tempi Predeterminati (Predetermined Motion Time System, PMTS) [4];

1.5.1 Tecnica di rilevamento tempi basata sul metodo Bedaux (Cronotecniche):

Si tratta di una cronotecnica che prende il nome dall'omonimo ingegnere Charles E. Bedaux, il quale la applicò per la prima volta in Francia negli anni '20 del secolo scorso [5].

Ciò che contraddistingue questa cronotecnica rispetto agli altri metodi è l'assegnazione in una opportuna efficienza per ogni rilevamento effettuato su un determinato task. Questa efficienza viene anche chiamata passo di Bedaux o speed-rate, ed è una misura della velocità, dell'accuratezza, della sicurezza e dell'esperienza con la quale l'operatore svolge il proprio task.

I valori dello speed-rate S_i facenti riferimento all'i-esimo rilevamento si possono disporre lungo la scala di Bedaux dove:

- se S_i<60 lo speed-rate è insufficiente;
- se S_i = 60 lo speed-rate è il valore minimo indispensabile per un generico rilevamento;

- se S_i = 70 si ha un valore dello speed-rate medio associabile all'*i*-esimo rilevamento;
- se S_i = 80 lo speed-rate ha un valore di ottimo, è quello al quale l'operatore dovrebbe tendere;
- se S_i > 80 si ha un valore dello speed-rate che supera l'ottimo ma che non è mantenibile per l'operatore nel lungo termine;

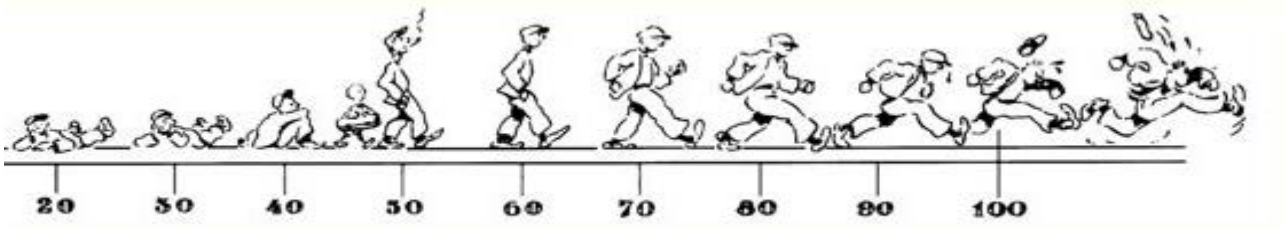

Figura 1.3: rappresentazione grafica dello speed-rate, metodo Bedaux [www.Bedaux.com]

Una volta effettuata una serie di rilevamenti *i* fino ad un numero di rilevamenti *n* per il *j*-esimo task, e assegnata quindi loro una opportuna efficienza Bedaux, si normalizzano i tempi rispetto ad una Efficienza Standard Bedaux S^*(posta solitamente pari a 80); a questo punto è possibile calcolare il Tempo Standard Bedaux per il *j*-esimo task secondo la formula:

$$t_{j,S^*} = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{t_{i,j} * S_i}{S^*} \right) * \frac{1}{n};$$

Il termine fra parentesi nella formula sopra indicata sottolinea la normalizzazione dei tempi rispetto all'Efficienza Standard Bedaux S^*: questa normalizzazione serve ad abbassare e ad alzare rispettivamente quei tempi a cui è stata assegnata una efficienza troppo bassa o troppo alta nell'*i*-esimo rilevamento del *j*-esimo task; questo permette di ottenere un valore temporale del task né troppo alto né troppo basso, quindi sostenibile nel lungo periodo. Infine, il rapporto fra la sommatoria dei tempi normalizzati ed il numero di rilevamenti effettuati *n* ci permette di giungere al tempo standard di Bedaux per il *j*-esimo task.

È tuttavia necessaria una maggiorazione del tempo standard, poiché finora non si è tenuto conto degli opportuni coefficienti di riposo (Rest Allowance) che rientrano nello svolgimento del task e della frequenza f_j, fattori che devono essere considerati.

$$t'_{j,\,s^*} = t_{j,s^*} * \left(1 + \sum RA_j[\%]\right) * \frac{1}{f_j};$$

METODI BEDAUX S. r. l.	COEFFICIENTI DI RIPOSO			
NECESSITA' FISIOLOGICHE	DONNA	5%	UOMO	4%
FATICA	Leggera ≤ 2 Kg.	Med.Leggera ≤ 5 Kg.	Media ≤ 15 Kg.	Pesante ≥ 15 Kg.
	2%	4%	6%	8%
POSIZIONE LAVORO	Normale	Disagevole		
Seduto	0%	###		
In piedi	2%	3%		
	In piano	In piano sconnesso	Salita o discesa	Con carrello
In marcia (carico)	2%	3%	4%	1%
PERICOLOSITA'	Bassa	Moderata	Costante	Alta
	0%	1%	2%	4%
ATTENZIONE	Modesta	Leggera	Continua	Alta
	0%	1%	2%	4%
MONOTONIA	Nulla	Ciclo ≤ 1 min.	Ciclo ≤ 0,5 min.	
	0%	2%	4%	
TEMPERATURA - UMIDITA'	Condizionam.	Normale	Moderata	Forte
	0%	1%		
20 - 22 °C - Um. 80% 24°C - Um. 60%			3%	
27°C - Um. 80% 30°C - Um. 60%				8%
RUMOROSITA'	Debole	Normale	Forte	Lacerante
	0%	1%	2%	3%
ILLUMINAZIONE	Buona	Normale	Scarsa	Insuffic.
	0%	1%	3%	6%
INQUINAMENTO	Debole	Polveri	Maschera	
	0%	3%	5%	

Tabella 1.1: coefficienti di riposo del metodo Bedaux [www.Bedaux.com]

Come si può osservare nella Tabella 1.1, il valore del tempo standard Bedaux per il *j*-esimo task deve essere maggiorato secondo opportuni coefficienti percentuali che tengono conto in prima istanza del sesso dell'operatore e della configurazione del compito che questi svolge; sono poi presi in esame dei fattori ambientali come la

temperatura/l'umidità, l'inquinamento e la rumorosità. Ciò che solitamente ne risulta, sulla base dei rilevamenti effettuati nel tempo, è una maggiorazione del tempo di esecuzione del task del 5-6% per un operatore di sesso maschile e del 6-7% per un'operatrice di sesso femminile.

1.6 Bilanciamento dei Sistemi di Assemblaggio:

Una volta effettuato un numero di rilevamenti *n* per quantificare la durata di un task, si presenta il problema del bilanciamento del sistema di assemblaggio. Bisogna quindi assegnare i diversi task alle stazioni al fine di rispettare la quantità produttiva desiderata *Q*, espressa di solito in *[pz/min]* o *[pz/h]*; la bontà o meno del bilanciamento viene successivamente valutata attraverso degli Indici di Performance.

Una possibile classificazione dei problemi di bilanciamento considera, oltre ai modelli presenti sulla linea e alla cadenza del sistema, la frequenza del bilanciamento, il grado di automazione e la tipologia di business sul quale si va ad effettuare il bilanciamento [6].

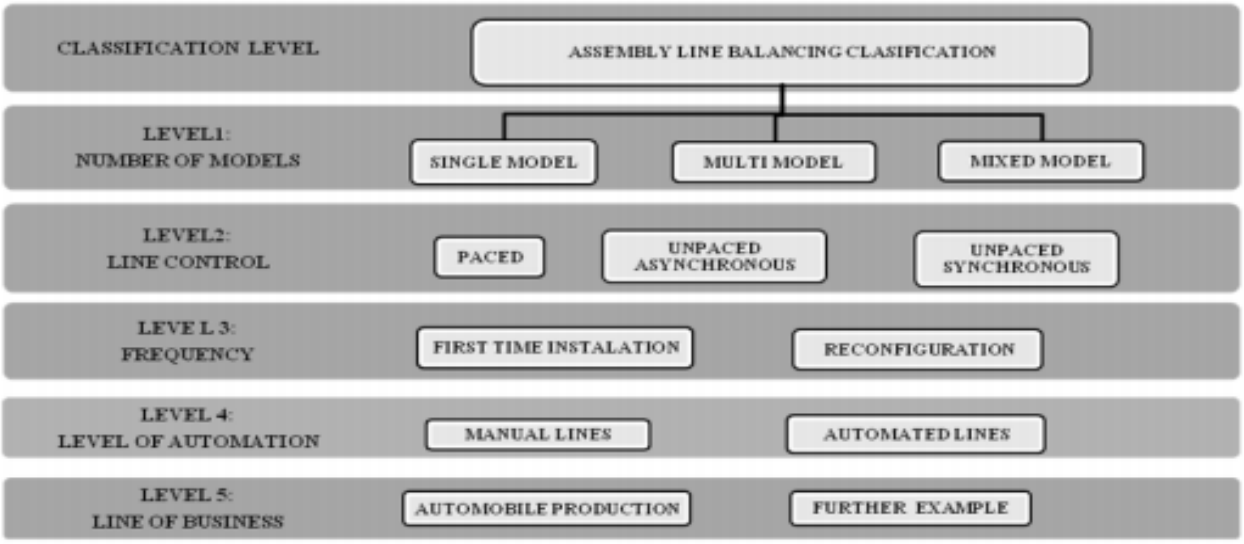

Figura 1.4: tipologie di bilanciamento per le linee di assemblaggio [Boysen et al., 2'006a]

I problemi di bilanciamento delle linee di assemblaggio vengono normalmente chiamati *ALBP* (Assembly Line Balancing Problem); una casistica che ricade all'interno degli *ALBP* è quella che fa riferimento al bilanciamento di un singolo modello e che viene chiamata *SALBP* (Single Assembly Line Balancing Problem).

Due sono i parametri fondamentali attorno ai quali ruota un Assembly Line Balancing Problem:

- il tempo ciclo T_C, detto tempo di takt o ritmo della linea ed espresso solitamente in *[min/pz]* o *[h/pz]*: indica ogni quanto tempo un prodotto finito deve uscire dal sistema di assemblaggio. A partire dal tempo ciclo è possibile ricavare la produttività desiderata *Q* (e viceversa), detta anche Production Rate, con $Q = \frac{1}{T_C}$ espressa in *[pz/min]* o *[pz/h]*.
- *K*, che rappresenta il numero delle stazioni di assemblaggio/risorse del sistema;

A partire dal tempo ciclo T_C e dal numero delle stazioni *K*, si possono definire le 4 principali casistiche per un S*ALBP* [2].

1) **Single Assembly Line Balancing Problem Feasibility (*SALBP-F*):** sono noti sia il numero delle stazioni *K* (e quindi degli operatori) che il tempo ciclo T_C. Una metodologia di bilanciamento di tipo *SALBP-F* vuole trovare una soluzione fattibile dati questi due parametri in ingresso;
2) **Single Assembly Line Balancing Problem di tipo 1 (*SALBP-1*):** noto il tempo ciclo T_C, e quindi la produttività desiderata *Q*, il *SALBP-1* cerca di minimizzare il numero delle stazioni *K* nel rispetto del tempo ciclo T_C;
3) **Single Assembly Line Balancing Problem di tipo 2 (*SALBP-2*):** è noto il numero delle stazioni *K*, di conseguenza si deve fronteggiare un layout già predisposto; l'obiettivo, dunque, è cercare di sfruttare l'investimento iniziale già effettuato in persone e macchinari, producendo il più possibile. Un problema di tipo *SALBP-2* massimizza la produttività del sistema, rendendo quindi minimo il tempo ciclo T_C.
4) **Single Assembly Line Balancing Problem Efficiency (*SALBP-E*):** sia il tempo ciclo T_C che il numero delle Stazioni *K* sono liberi di variare, devono perciò essere minimizzati entrambi. Per fare questo solitamente si introduce una funzione obiettivo che massimizzi l'Efficiency, cioè l'efficienza del sistema di assemblaggio;

	Cycle time c	
	Given	Minimize
No. m of stations		
Given	SALBP-F	SALBP-2
Minimize	SALBP-1	SALBP-E

***Figura 1.5: casistiche possibili per un problema di tipo SALBP [Becker & Scholl, 2˙006*]**

Ogni metodo di bilanciamento si applica allo specifico caso in esame e punta alla minimizzazione/massimizzazione di opportune funzioni obiettivo che devono sottostare a determinati vincoli. Per esempio, il bilanciamento può essere focalizzato sulla minimizzazione dei costi della manodopera e del mancato completamento del pezzo [Kottas & Lau, 1˙973], sulla massimizzazione dell'efficienza della linea [Moodie & Young, 1˙965], sulla massimizzazione del profitto [Scholl, 1˙999], o ancora sulla minimizzazione della distanza percorsa nel sistema di assemblaggio [Kabir & Tabucanon, 1˙995].

1.7 Virtual Average Model (*VAM*):

Gli algoritmi di bilanciamento presentati nel Paragrafo 1.6 solitamente fanno riferimento ad un singolo modello di prodotto. Si tratta però di una situazione che raramente si presenta nella realtà: le aziende, infatti, per offrire una varietà di prodotti e venire incontro alle esigenze sia dei clienti che del mercato sviluppano dei sistemi di assemblaggio Multi-Model o meglio ancora Mixed-Model.

Quello che quindi si fa è utilizzare il Virtual Average Model, o *VAM*. Si tratta di una metodologia utilizzata per il bilanciamento dei sistemi di assemblaggio multiprodotto: il *VAM* è definito come il Modello Virtuale Medio, non esistente dunque nella realtà ma in grado di rappresentare l'intera famiglia di prodotti.

Sia $t'_{j\,VAM}$ il tempo di esecuzione del task *j* sul modello medio virtuale, per calcolarlo è necessario definire il mix in termini di quantità di produzione sugli *M* modelli del sistema:

$$t'_{j\,VAM} = \frac{\sum_{m=1}^{M} t_{jm} * d_m}{\sum_{m=1}^{M} d_m};$$

Con questa procedura si riporta l'intero mix di produzione ad un solo Modello Medio Virtuale; la formula, in sostanza, rappresenta una media pesata dei tempi dei task sulla domanda dei modelli.

1.8 Indici di bilanciamento di un Sistema di Assemblaggio:

Gli indici di bilanciamento sono degli indicatori di performance che servono per valutare la bontà del bilanciamento effettuato. Essi si concentrano prevalentemente sull'efficienza del sistema di assemblaggio e sui suoi tempi di ozio/sovraccarico, sia all'interno della singola stazione *K*-esima che fra stazioni diverse. Quello che normalmente si fa è porre a confronto tra di loro gli indici di bilanciamento di due o più metodi, in modo da poter adottare la soluzione migliore secondo le specifiche esigenze del caso in esame.

Si definiscono di seguito i principali Indici di Performance:

- ***Indice di Ozio Totale del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_1 = \sum_{k=1}^{K} \sum_{m=1}^{M} \Delta_{mk}^{-} \, , con \; \Delta_{mk}^{-} = max\,\{0; T_{CR} - \tau_{mk}\};$$

  φ_1 rappresenta l'ozio totale del sistema, con Δ_{mk}^{-} ozio relativo alla stazione *K*-esima nell'assemblaggio del modello *m*-esimo. Questo indice va a considerare tutte le stazioni che lavorano al di sotto del tempo ciclo e che quindi oziano;

- ***Indice di Ozio massimo del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_2 = max(\Delta_{mk}^{-});$$

  indice che rappresenta l'ozio massimo, verificatosi nella stazione *K*-esima sul modello *m*-esimo;

- ***Indice di Work-Overload Totale del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_3 = \sum_{k=1}^{K} \sum_{m=1}^{M} \Delta_{mk}^{+}, con\ \Delta_{mk}^{+} = max\ \{0; \tau_{mk} - T_{CR}\};$$

φ_3 rappresenta il work-overload totale del sistema, con Δ_{mk}^{+} work-overload della *K*-esima stazione nell'assemblaggio del modello *m*-esimo. Questo indice va a considerare tutte le stazioni che lavorano al di sopra del tempo ciclo e che quindi sono sovraccaricate;

- ***Indice di Work-Overload massimo del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_4 = max(\Delta_{mk}^{+});$$

work-overload massimo, verificatosi nella stazione *K*-esima sul modello *m*-esimo:

- ***Indice di Efficienza del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_5 = \frac{\sum_{k=1}^{K} \tau_k'}{max(\tau_k') * K};$$

φ_5 rappresenta l'efficienza del bilanciamento. Il denominatore dell'indice è dato dal carico di lavoro della stazione critica (il "collo di bottiglia" del sistema di assemblaggio) moltiplicato per il numero delle *K* stazioni presenti nel sistema di assemblaggio, quelle cioè che si devono adeguare alla stazione più lenta presente in linea;

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni (Smoothness Index Between Stations):***

$$\varphi_6 = \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{K} |\tau_{mk} - \tau_m|;$$

φ_6 indica il livellamento fra le stazioni, con τ_m rappresentante il tempo di assemblaggio medio sull'*m*-esimo prodotto all'interno di una stazione del sistema.

Si dovrebbe evitare che quest'ultime siano troppo sbilanciate, con operatori che lavorano molto e altri che oziano tanto;

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni Pesato (Smoothness Index Between Stations Weighted):***

$$\varphi_7 = \sum_{m=1}^{M} \left(\frac{\sum_{k=1}^{K} |\tau_{mk} - \tau_m| * d_m}{\sum_{m=1}^{M} d_m} \right);$$

è un indice di livellamento fra le stazioni pesato sulla domanda, dà un peso maggiore al modello che viene prodotto maggiormente;

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni (Smoothness Index Within Stations):***

$$\varphi_8 = \sum_{k=1}^{K} \sum_{m=1}^{M} |\tau_{mk} - \tau_k|;$$

indica lo sbilanciamento totale di tutte le *K*-esime stazioni nell'assemblaggio degli *m*-esimi modelli;

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni pesato (Smoothness Index Within Stations Weighted):***

$$\varphi_9 = \sum_{k=1}^{K} \left(\frac{\sum_{m=1}^{M} |\tau_{mk} - \tau_k| * d_m}{\sum_{m=1}^{M} d_m} \right);$$

indica lo sbilanciamento totale delle *K*-esime stazioni nell'assemblaggio degli *m*-esimi modelli, pesato però sul mix produttivo;

CAPITOLO 2: LOTTI ECONOMICI, SCORTE DI SICUREZZA E FEEDING-POLICY

Il Capitolo 2 si focalizza su ciò che ruota attorno ad un sistema di assemblaggio; si cerca dunque di spiegare come acquistare in maniera ottimale le parti di assemblaggio (modello del lotto economico di acquisto), come gestire alcuni componenti critici (scorte di sicurezza), come scegliere le modalità per alimentare e gestire i sistemi di assemblaggio (Parts-Feeding System).

2.1 Modello del Lotto Economico di Acquisto:

Il modello del lotto economico di acquisto o Economic-Order Quantity (*EOQ*) è stato teorizzato per la prima volta nel 1˙913 [Harris et al., 1˙913]. Noto per la sua semplicità e per la sua immediata applicazione, il modello permette di calcolare la quantità ottimale di acquisto arrivando alla minimizzazione del suo costo totale, formato dal costo di giacenza e dal costo dell'ordinare.

Quello che solitamente avviene in un magazzino è che, dato un certo livello di inventario, questi progressivamente scenda con un tasso di consumo *d* a mano a mano che le parti vengono portate alla linea di assemblaggio. Arrivati ad un punto di riordino *R*, per evitare il rischio di rimanere senza la parte di assemblaggio, viene lanciato l'ordine di una determinata quantità *Q*; il livello di inventario continua a scendere durante il lead-time di approvvigionamento, fino al ricevimento dell'ordinativo *Q* e al suo successivo stoccaggio a magazzino.

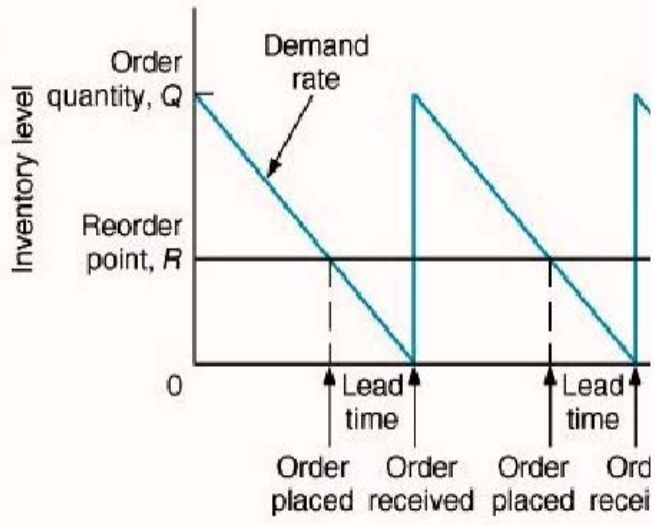

Figura 2.1: andamento dei consumi a magazzino, modello del lotto economico di acquisto [Abdullah et al., 2˙013]

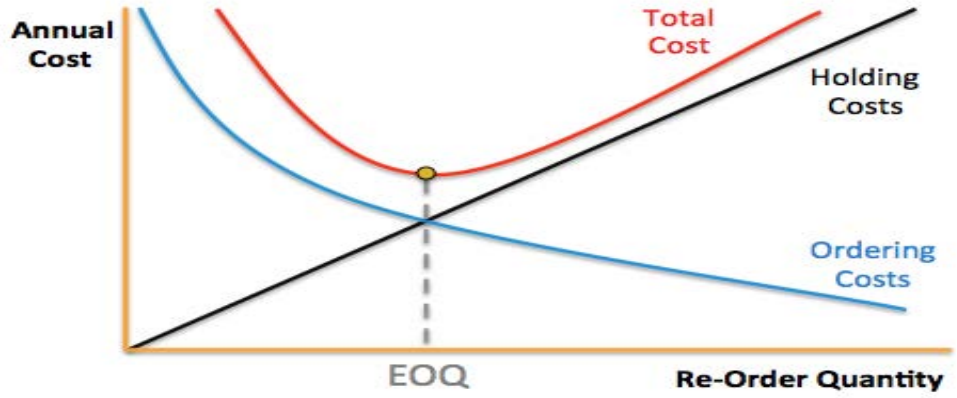

Figura 2.2: andamento dei costi di giacenza e dei costi dell'ordinare, modello del Lotto economico di acquisto [lorenzogovoni.com/lotto-economico]

Come evidenziato in Figura 2.2, il calcolo del costo totale associato al lotto economico di acquisto rappresenta un trade-off fra due tipi diversi di costo: all'aumentare della quantità ordinata in ascissa *Q* aumentano i costi di giacenza perché più merce viene ordinata più è elevato il costo del capitale immobilizzato a magazzino; allo stesso tempo però sono bassi i costi dell'ordinare, perché grossi quantitativi di *Q* implicano un minore numero di ordini e costi di gestione più bassi. Per una quantità *Q* di ri-ordino bassa si hanno invece bassi costi di giacenza ma elevati costi dell'ordinare, poiché viene lanciato un maggiore quantitativo di ordinativi. Quella che ne risulta è una curva di costo totale, somma delle due curve rappresentanti rispettivamente i costi di giacenza e i costi dell'ordinare. La derivata della funzione di costo totale porta al calcolo del punto di minimo della curva e alla corrispettiva quantità ottimale da acquistare Q^*:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 * D_a * C_{ord.}}{h}};$$

dove D_a *[pz/anno]* è la domanda annua del componente in esame ed *h* il suo Holding Cost *[%]*, risultato del prodotto fra il prezzo *p [€]* della parte e il suo tasso di giacenza *i [%]*. L'unico parametro della formula sul quale si può andare ad agire per diminuire il lotto di acquisto è il costo dell'ordinare $C_{ord.}$ *[€/ordine]*.

Nel corso dei decenni il concetto del lotto economico classico [7] si è evoluto e ha preso in considerazione aspetti anche di natura sociale e di stretta attualità, che oltrepassano i soli costi di giacenza e dell'ordinare: fra questi si citano i costi associati al deterioramento

delle scorte [Ghare & Scharder, 1˙963], l'effetto dell'inflazione [Buzacott, 1˙975], i costi di trasporto [Zaho et al., 2˙004], le emissioni dovute al trasporto e al recupero degli sprechi [Battini et al., 2˙012].

2.2 Scorte di Sicurezza e loro ottimizzazione economica:

Il calcolo del lotto ottimale di acquisto permette, se effettuato correttamente, la minimizzazione dei costi di giacenza e di quelli organizzativi-gestionali. Tuttavia, questo approccio non mette del tutto al riparo il sistema di assemblaggio dalle variabilità che spesso incorrono lungo tutta la Supply-Chain, dai fornitori (lato dell'offerta o "upstream") fino ai clienti a valle (lato della domanda o "downstream").

A monte del sistema di assemblaggio, infatti, si possono verificare delle variabilità nei tempi di approvvigionamento, nella produzione dei componenti, nella quantità e nella qualità delle parti di assemblaggio provenienti dai fornitori; la fornitura si potrebbe aggravare ulteriormente qualora essa provenisse da paesi geograficamente distanti. Allo stesso modo, il sistema a valle può presentare una variabilità nella domanda, con richieste improvvise da parte del mercato alle quali il sistema di assemblaggio non può far fronte e che lo possono mettere in crisi.

La formula classica relativa al calcolo della scorta di sicurezza SS è di semplice e immediata comprensione [Persona et al., 2˙003]; essa è definita come:

$$SS = K * \sigma_d * \sqrt{LT};$$

- *K* può assumere svariati valori e fa riferimento al Livello di Servizio LS [%] che il sistema di assemblaggio vuole garantire, rappresenta un valore di sicurezza;
- σ_d: deviazione standard del componente, espressa solitamente nell'unità di tempo *[pz/gg]* o *[pz/mese]*;
- $\sqrt{LT}$: lead-time di approvvigionamento, espresso in *[gg]* o *[mese]* solitamente;

Un approccio invece più preciso e innovativo proposto negli scorsi anni è il modello di ottimizzazione economica [8], che sceglie il valore del parametro *K* del Livello di Servizio cercando di ottenere la minimizzazione del costo totale associato alla scorta di sicurezza SS. Il costo è dato da:

$$C_{TOT} = C_{GIAC.} + C_{RS\,tot.};$$

Si tratta di un trade-off tra due voci di costo con andamento differente: all'aumentare della scorta di sicurezza messa a magazzino aumentano proporzionalmente i costi di giacenza, mentre diminuiscono quelli associati alla rottura di stock. Dall'altra parte, bassi valori della scorta di sicurezza danno luogo a bassi costi di giacenza, con il rischio però di mandare in crisi il sistema di assemblaggio nel caso dovessero verificarsi cambiamenti inattesi nei livelli di consumo e/o di fornitura.

Esplicitando entrambe le voci di costo si ha:

$$C_{GIAC.} = \left(K * \sigma_d * \sqrt{LT}\right) * h = SS * h;$$

- $C_{GIAC.}$: Costo di Giacenza, dato dalla scorta di sicurezza SS *[pz]* moltiplicata il suo Holding Cost *h [%]*;

$$C_{RS\,tot.} = n_{RS} * C_{RS} + n_{RS} * D_{RS} * C_{manc.};$$

- C_{RS}: Costo della Rottura di Stock, si tratta di un costo di tipo organizzativo che viene sostenuto dall'azienda ogni volta che si verifica una rottura di stock. Comprende costi come la riorganizzazione della linea di assemblaggio, la rischedulazione del mix produttivo o il dover gestire la manodopera inoccupata a causa del fermo linea;
- $C_{manc.}$: Costo di Mancanza, è un ulteriore costo che si deve sostenere a causa della mancanza della parte di assemblaggio. È un costo di penalità sul ritardo di consegna e/o un costo di mancata vendita, nel caso il cliente decida di rivolgersi ad un competitor;

La funzione di costo totale assume dunque la forma:

$$C_{TOT} = C_{GIAC.} + C_{RS\,tot.} = SS * h + n_{RS} * C_{RS} + n_{RS} * D_{RS} * C_{manc.};$$

La funzione ha un andamento parabolico che varia all'aumentare del valore di *K*: i costi decrescono fino ad un punto di minimo per poi assumere nuovamente un andamento crescente a mano a mano che aumenta il Livello di Servizio richiesto. Il valore di *K* corrispondente al punto di minimo è quello che minimizza il costo totale e viene assunto come il Livello di Servizio ottimale; con quel valore di *K* fissato si ha dunque il corrispettivo quantitativo in pezzi della scorta di sicurezza SS per la parte di assemblaggio.

2.3 Definizione del Parts-Feeding System:

Soffermandosi sulla gestione delle parti di assemblaggio, risulta fondamentale per il corretto funzionamento del sistema il Parts-Feeding System, inteso come il sistema gestionale di alimentazione dei componenti alle linee di assemblaggio. Esso è composto da tre sottoproblemi [9]:

- ***Storage:*** prende in esame tutte quelle decisioni relative allo stoccaggio dei materiali, alle quantità ottimali da acquistare/immagazzinare e al calcolo delle scorte di sicurezza;
- ***Transport:*** riguarda tutte quelle decisioni di carattere gestionale relative al trasporto delle parti, inerenti alla scelta del mezzo appropriato da utilizzare;
- ***Feeding-Policy:*** è la scelta della tecnica e della stategia corretta di alimentazione della linea di assemblaggio;

I tre sottoproblemi sono disposti secondo un percorso circolare continuo con al centro il Parts-Feeding System; ciascuno dei tre sottoproblemi è strettamente correlato e dipendente dagli altri due (Figura 2.3).

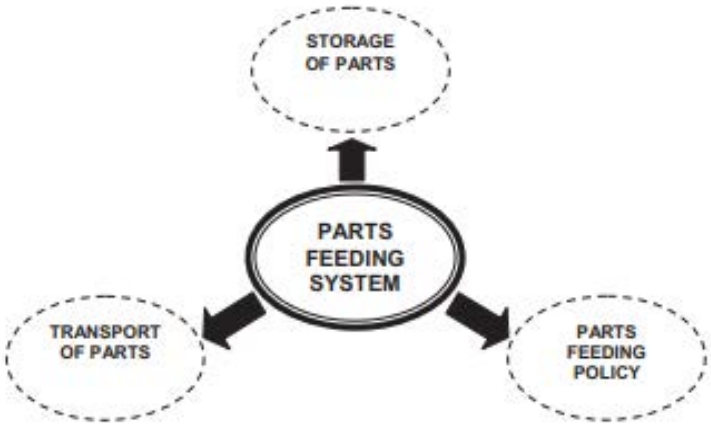

Figura 2.3: Parts-Feeding System: Storage, Transport e Feeding-Policy [Kilic et Durmusoglu, 2˙015]

2.3.1 Immagazzinamento delle parti di assemblaggio: in letteratura si trovano principalmente tre possibili politiche di immagazzinamento [10]:

- ***2.3.1.1 Magazzino Centralizzato con feeding diretto:***

  Si tratta della soluzione più tradizionale, con un feeding alla linea di assemblaggio di tipo diretto. Con l'adozione di questa politica, i componenti provenienti dai fornitori esterni o dagli impianti di produzione interni vengono tutti stoccati in un magazzino centralizzato. Da qui successivamente i componenti vengono portati alle singole linee di assemblaggio, solitamente in grossi contenitori di parti omogenee.

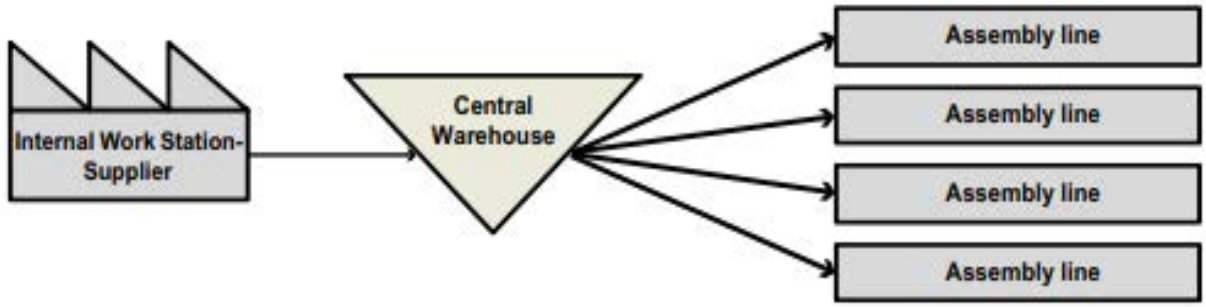

Figura 2.4: magazzino centralizzato con feeding diretto [Battini et al., 2'010]

- ***2.3.1.2 Magazzino Decentralizzato a bordo linea:***

  Una soluzione con magazzino decentralizzato non prevede lo stoccaggio dei componenti in un unico magazzino centralizzato, ma essi vengono tutti quanti posti a bordo linea in un magazzino nei pressi dell'operatore.

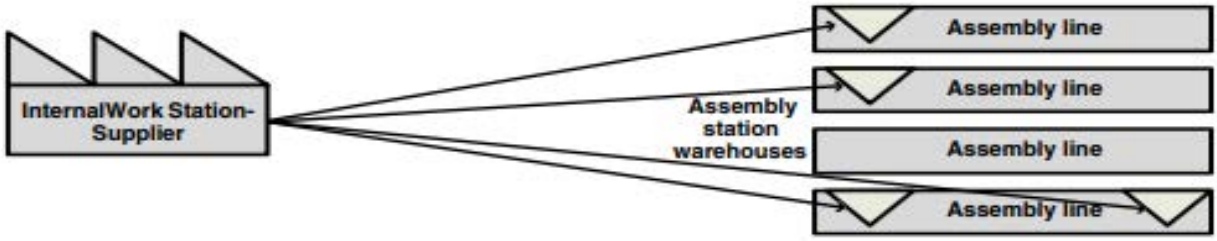

Figura 2.5: magazzino decentralizzato a bordo linea [Battini et al., 2'010]

- ***2.3.1.3 Magazzino Centralizzato con feeding indiretto dal Supermarket:***

  Una terza soluzione che ha preso piede negli ultimi anni nei sistemi di assemblaggio è il Supermarket, dove per Supermarket si intende un magazzino intermedio e decentralizzato che contiene piccole quantità di tutte le parti necessarie alle linee di assemblaggio attigue, cosa che permette una politica di feeding al sistema di assemblaggio di tipo indiretto.

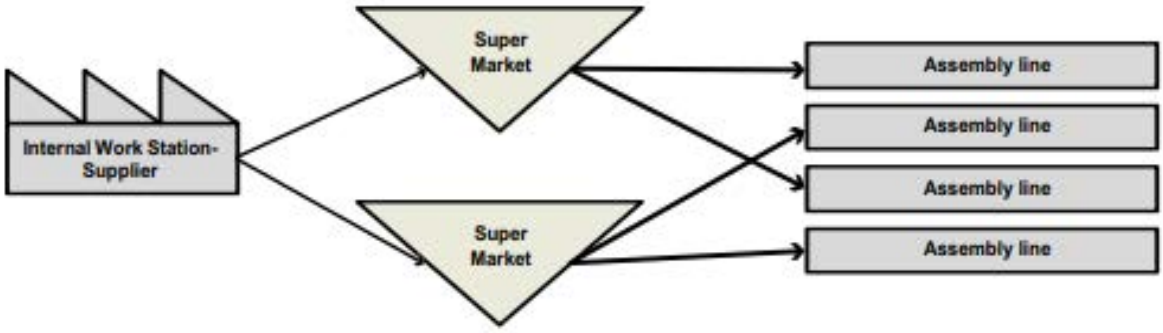

Figura 2.6: magazzino centralizzato con feeding indiretto dal Supermarket [Battini et al., 2˙010]

2.3.2 Tipologie di feeding al Sistema di Assemblaggio:

Scelta la tipologia di magazzino da adottare e tenuto conto dei mezzi di trasporto utilizzabili, resta da considerare la terza variabile nel dimensionamento del sistema di feeding delle parti di assemblaggio, ovvero la politica di feeding alla linea. Si definiscono tre tipologie possibili di feeding per le linee di assemblaggio [11]:

- ***2.3.2.1 Pallet-to-Work Station (P-WS):***

  In questa configurazione, dopo che è stato lanciato l'ordine di produzione del prodotto, per ogni componente un pallet/bancale di parti omogenee viene prelevato nel magazzino centrale dall'operatore della logistica e portato a bordo linea, dove resta fino alla fine della produzione del lotto. Quando lo scheduling della linea prevede di cambiare il modello, il pallet viene

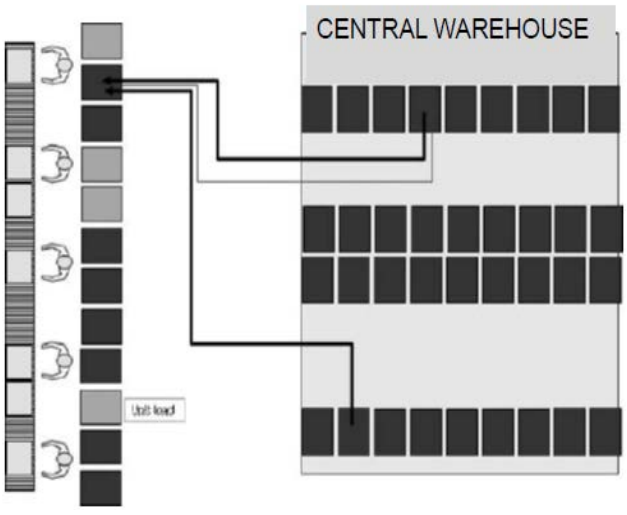

Figura 2.7: feeding-policy tramite Pallet-to-Work Station (P-WS) [Battini et al., 2˙009]

portato via e sostituito da uno nuovo con una diversa parte proveniente dal magazzino centrale.

- ***2.3.2.2 Trolley-to-Work Station (T-WS):***

Con questa tipologia di feeding, tramite l'attività di picking a magazzino si mettono in un trolley tutti quei componenti che servono all'assemblatore per svolgere i propri task; il trolley viene poi posto alle spalle dell'operatore in ogni singola stazione. All'interno del trolley si trovano tutte le parti necessarie allo svolgimento dei task all'interno della stazione; nel frattempo, nel magazzino/Supermarket vengono preparati degli altri carrelli con le parti necessarie all'assemblaggio del prodotto successivo.

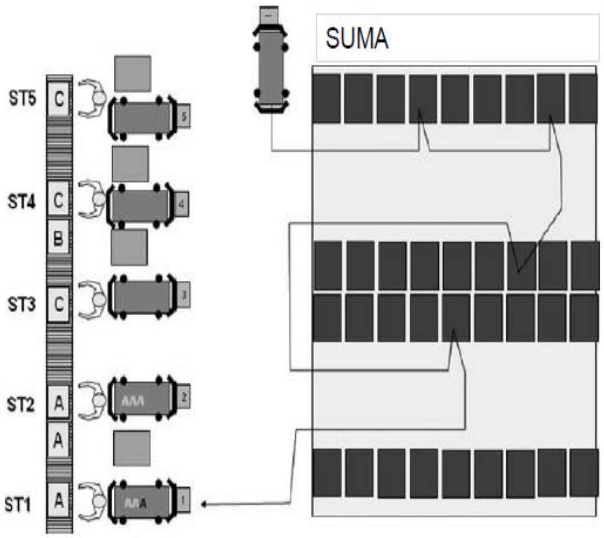

Figura 2.8: feeding-policy tramite Trolley-to-Work Station (T-WS) [Battini et al., 2'009]

- ***2.3.2.3 Kit-to-Assembly Line (K-AL):***

Si tratta di una politica di feeding facente uso di un kit "viaggiante", ossia il trolley contiene tutti i pezzi necessari a tutte le stazioni del sistema di assemblaggio. A mano a mano che il prodotto avanza anche il trolley prosegue nel suo avanzamento e passa di volta in volta ai diversi operatori della linea di assemblaggio. La differenza principale con il feeding tramite Trolley-to-Work Station è che quest'ultimo può contenere i componenti per l'assemblaggio di più prodotti, il kit serve invece alla produzione di un solo prodotto finito.

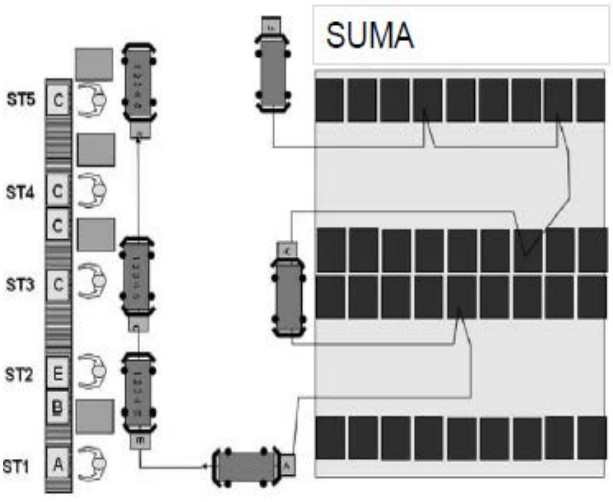

Figura 2.9: feeding-policy tramite Kit-to-Assembly Line (K-AL) [Battini et al., 2'009]

2.4 Scelta della Feeding-Policy:

Stimare quale sia la politica corretta da adottare per l'approvvigionamento della linea di assemblaggio non risulta semplice, a causa dell'enorme varietà dei componenti, della frequenza con cui essi sono richiesti e delle dimensioni dei lotti da produrre. Oltre a queste variabili vanno considerati altri fattori come le dimensioni del magazzino, la distanza dello stesso dalle linee di assemblaggio, la stima dei costi di trasporto e di stoccaggio.

Alcuni studi [12] si concentrano sul calcolo della funzione di costo totale riguardante l'alimentazione alle diverse linee di assemblaggio, secondo la feeding-policy che si sceglie di adottare. Altri si focalizzano sulle operazioni di preparazione dei diversi kit [Carlsson & Hensvold, 2˙008, Caputo & Pelagagge 2˙011] o sulla corretta gestione del Supermarket [Limère et al., 2˙012]. Infine, alcune ricerche considerano costi che in prima istanza potrebbero essere trascurati, come i costi della qualità o i costi amministrativi, spesso associati ad errori nella preparazione dei kit da parte degli operatori della logistica [Caputo, Pelagagge, Salini, 2˙015].

Un approccio innovativo emerso negli ultimi anni è quello proposto da dei ricercatori italiani [11], i quali hanno integrato insieme due decisioni fondamentali come la centralizzazione/decentralizzazione delle parti di assemblaggio e la politica di feeding adeguata a portare i componenti alla linea. Lo studio si articola in tre fasi principali:

2.4.1 Fase della raccolta dati:

La fase di raccolta dati inizia dopo l'emissione degli ordini di produzione riferiti ad un certo periodo, dai quali è possibile ricavare tutte le informazioni necessarie alla costruzione delle matrici *Q* e *Z*.

2.4.2 Decisione di Centralizzazione o Decentralizzazione:

Step 1: a partire dai parametri calcolati nella fase di raccolta dati, a valle della quale si sono ottenute le matrici *Q* e *Z*, è possibile valutare la decisione di centralizzazione o di decentralizzazione rispetto allo specifico componente in esame. La decisione viene fatta

valutando il valore Q_h nella matrice *Q*, il valore dell'indice Z_h nella matrice *Z*, il numero di periodi *m* e la deviazione standard σ del componente.

La Figura 2.10 riassume le 4 casistiche possibili, a seconda dei valori assunti dai due indici $\frac{Z_h}{m}$ e $\frac{\sigma_h * m}{Q_h}$:

	Z_h/m	
	Low	High
$\frac{\sigma_h}{(Q_h/m)}$		
Low	Centralization	Decentralization
High	Centralization	Decision 2

Figura 2.10: decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 1 [Battini et al., 2'009]

Step 2: come indicato in Figura 2.10, con valori entrambi elevati dei due indici $\frac{Z_h}{m}$ e $\frac{\sigma_h * m}{Q_h}$, è necessario procedere con lo step 2 relativamente alla decisione di centralizzazione/decentralizzazione del componente in esame. Questa viene presa considerando il costo *C* del generico componente e l'Effetto Portafoglio *PE;* quest'ultimo rappresenta il valore differenziale fra una decisione di stoccaggio di tipo centralizzato oppure decentralizzato in riferimento al componente.

La Figura 2.11 riassume le quattro casistiche possibili in riferimento allo step 2:

	C_h	
	Low	High
PE_h		
Low	Decentralization	Decentralization
High	Decentralization	Centralization

Figura 2.11: decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 2 [Battini et al., 2'009]

Step 3: per i componenti di assemblaggio che dopo gli step 1 e 2 risultano essere centralizzati, è necessario prendere in considerazione i parametri R_h e Q_p; Q_p

rappresenta il numero di pezzi del componente *h* presente sul bancale, è un parametro che tiene anche in considerazione l'ingombro del componente [Battini et al., 2˙008].

R_h/Q_p	
Low	High
Decision 4	Pallet to Work Station

Figura 2.12: decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 3 [Battini et al., 2˙009]

2.4.3 Calcolo della politica di feeding ottimale:

A valle della decisione di centralizzazione o di decentralizzazione, si è deciso quali componenti era necessario mantenere stoccati presso la linea di assemblaggio e quali invece necessitano di essere depositati presso l'area di stoccaggio del magazzino centralizzato. Per quest'ultimi, si richiede lo studio di quella che è la politica di feeding alla linea ottimale: il Pallet-to-Work Station, il Trolley-to-Work Station e il Kit-to-Assembly Line sono tutte politiche di feeding che considerano variabili diversificate fra di loro, le quali forniscono tempistiche differenti a seconda della scelta adottata; si ottiene una funzione di tempo totale che varia a seconda della feeding-policy considerata.

Feeding tramite Pallet-to-Work Station: con questa feeding-policy viene portato alla linea di assemblaggio un pallet diverso per ogni componente; al termine della produzione del prodotto/del lotto, i pallet vengono riportati al magazzino dagli operatori addetti alla logistica e sostituiti con quelli adibiti all'assemblaggio del nuovo prodotto.

La funzione di tempo totale nel caso di una politica di feeding tramite Pallet-to-Work Station è data da:

$$\boldsymbol{t_{tot\,P-W}} = K_C * Q * N_C * t'_h + \frac{2 * \left[L_{W-AL} + \left(\frac{U}{4} + \frac{V}{2}\right)\right] * N_C * \frac{Q}{L}}{60 * v} + N_C * \frac{Q}{L} * 2 * t_{p-p};$$

Feeding tramite Trolley-to-Work Station: nel Trolley-to-Work Station i pickers provvedono alla preparazione di un trolley differente per ogni stazione presente in linea. I componenti vengono caricati sul trolley e portati alle spalle degli operatori addetti all'assemblaggio; per una stessa stazione, un trolley può presentare componenti differenti a seconda dei task che l'operatore deve svolgere.

La funzione di tempo totale nel caso di una politica di feeding tramite Trolley-to-Work Station è data da:

$$\boldsymbol{t_{tot\,T-W}} = K_C * Q * N_C * t_h'' + \frac{[2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * N * \frac{Q}{L}}{60 * v} + N_C * \frac{Q}{L} * t_p'' + N_C * Q * t_p';$$

Feeding tramite Kit-to-Assembly Line: il picker si occupa di preparare un kit contenente tutti i componenti necessari alla produzione di un prodotto finito. Il kit è "viaggiante", passa da una stazione all'altra via via che il processo di assemblaggio procede.

La funzione di tempo totale nel caso di un feeding tramite Kit-to-Assembly Line è data da:

$$\boldsymbol{t_{tot\,A-L}} = K_C * Q * N_C * t_h''' + \frac{[2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * Q}{60 * v} + N_C * Q * t_p'' + N_C * Q * t_p';$$

Dal confronto dei tempi riferiti ad una specifica politica di feeding, si evince quella più adatta per un componente di assemblaggio stoccato presso un deposito centralizzato.

La Figura 2.13 riepiloga tutta la procedura iterativa per un corretto feeding alle linee: partendo dalla raccolta dati, si passa per la decisione di centralizzazione/decentralizzazione delle parti e, nel caso in cui il componente debba essere stoccato nel magazzino centrale, si valuta la scelta della feeding-policy più adeguata tramite il calcolo dei tempi di approvvigionamento alla linea.

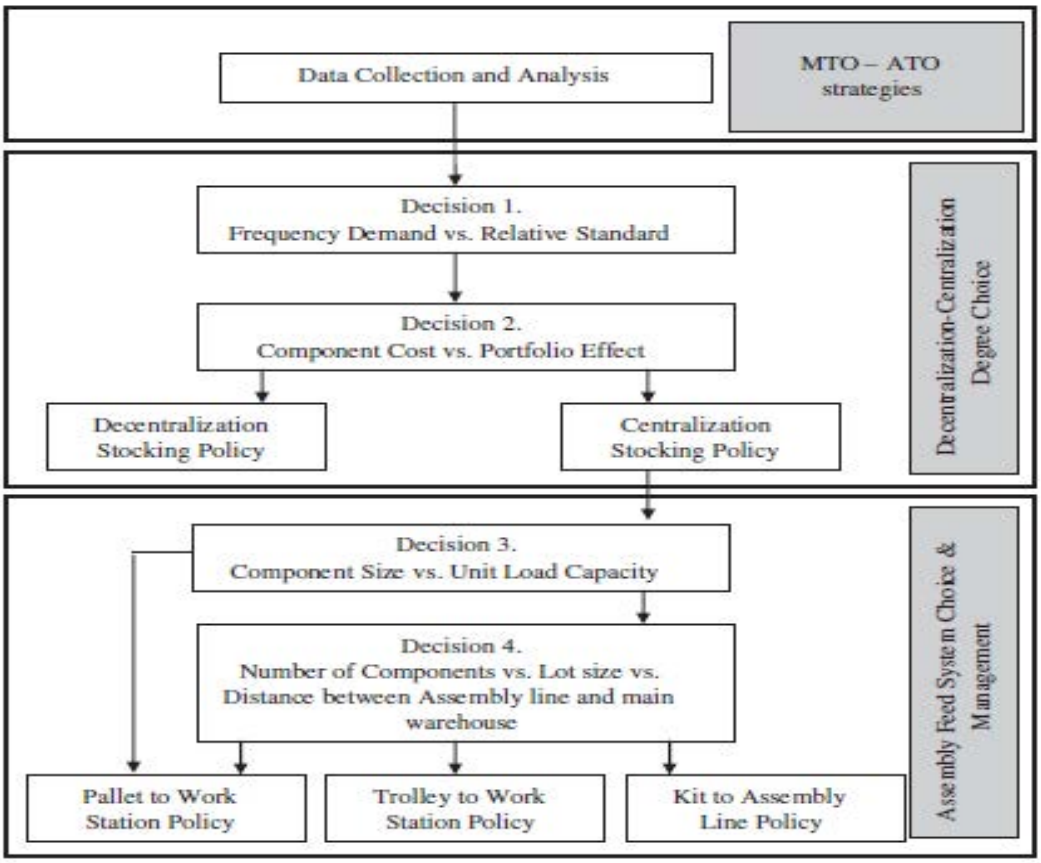

Figura 2.13: riepilogo della procedura per la scelta della feeding-policy [Battini et al., 2˙009]

CAPITOLO 3: IL CASO BARIBIERI S.R.L.: STUDIO PRELIMINARE E DEFINIZIONE DELLA FAMIGLIA DI PRODOTTI

Il Capitolo 3 introduce il caso Barbieri S.r.l. e tratta la fase di studio preliminare che porterà alla progettazione di dettaglio del sistema di assemblaggio manuale di tipo Mixed-Model. Dopo aver inquadrato l'azienda e il contesto entro il quale essa opera, il capitolo si concentra sui prodotti Radiocomandati: ne vengono analizzati i processi e il layout allo stato attuale e, attraverso l'analisi della famiglia di prodotti, si cercano di identificare i diversi modelli che andranno a comporre il nuovo sistema di assemblaggio.

3.1 Il contesto aziendale:

3.1.1 L'azienda e la sua organizzazione interna: Barbieri S.r.l. nasce nel 1˙958 dalla collaborazione dei tre fratelli Barbieri Bruno, Teresio e Virginio; situata su un'area di circa 11˙000 m^2, l'azienda ha da sempre sede nel Basso Vicentino, a Sossano. Fin dalle sue origini, Barbieri S.r.l. si è focalizzata nella piccola meccanizzazione agricola, occupandosi della progettazione, fabbricazione e vendita di trattori agricoli e di altri macchinari per l'agricoltura, la silvicoltura e il giardinaggio. Presente sia sul mercato italiano che su quello estero, la mission di Barbieri è fornire prodotti di qualità, dal design caratteristico e affidabili.

Nel 2˙010, con l'acquisizione del marchio SEP, Barbieri ha incrementato ulteriormente il portafoglio prodotti, offrendo così una maggiore varietà sul mercato rispetto ai suoi prodotti storici. È inoltre dal 2˙012 l'unico rivenditore italiano autorizzato per il marchio giapponese Iseki, produttore di macchinari per l'agricoltura.

Figura 3.1: sede produttiva di Barbieri S.r.l, Sossano (VI) [www.youtube.com/watch?v=XaeChEnSYxo]

I prodotti di Barbieri S.r.l. sono organizzati in famiglie e fortemente soggetti alla variabilità della domanda nel corso dell'anno solare: l'alta stagionalità, accompagnata da un'alta richiesta di prodotti, si ha nei mesi primaverili-estivi, in sostanza da maggio a settembre; si assiste invece ad un calo degli ordinativi nei mesi autunnali e invernali. Ciascuna famiglia conta al suo interno vari modelli: da sempre focalizzata sulla progettazione e l'assemblaggio interno dei prodotti storici dell'azienda come le motozappe, i motocoltivatori e le motofalciatrici, negli ultimi anni il gruppo Barbieri ha introdotto nel proprio portafoglio prodotti anche la famiglia Radiocomandati.

In Barbieri S.r.l. il ciclo di vita di una nuova famiglia di prodotti inizia con la fase di progettazione: fiere di settore, opinioni dei consumatori e ricerche sul mercato danno il via alla fase di sviluppo interno del nuovo prodotto da parte dell'Ufficio Tecnico. A valle della fase di progettazione, prende il via la fase di prototipazione: sulla base dei disegni presenti a sistema e con le indicazioni dei progettisti, dai fornitori esterni e dagli impianti produttivi interni vengono portate all'area di assemblaggio tutte le parti necessarie alla realizzazione e al montaggio del nuovo prodotto. I mesi successivi sono impiegati nella messa a punto del nuovo prototipo: attraverso le prove pratiche sui diversi tipi di terreni, le opinioni di alcuni clienti selezionati e l'assemblaggio di una piccola preserie, nel reparto produttivo si lavora sulle criticità che via via emergono, apportando le necessarie modifiche.

Una volta terminata la fase di realizzazione del prototipo o di una piccola preserie, il prodotto viene rilasciato sul mercato; anello di giunzione fra l'azienda e i consumatori finali è la rete di rivenditori e grossisti presente sul mercato italiano ed estero, i quali fungono anche da cassa di risonanza per il nuovo prodotto. I mesi e gli anni successivi al lancio sono dedicati all'allargamento della famiglia: si forniscono dunque al mercato nuove versioni che differiscono nella tipologia del motore, negli accessori presenti o nelle colorazioni differenti delle parti di assemblaggio. Ovviamente, tutti i modelli sono sempre riconducibili alla medesima famiglia di prodotti.

Utilizzando la classificazione di Wortmann, si può affermare che la produzione in Barbieri faccia prevalentemente riferimento ad un sistema di tipo Assembly To Order (sistema *ATO,* Figura 3.2). A monte del cosiddetto Punto di Disaccoppiamento, o Decoupling Point, si lavora su previsione: in particolare, progettazione e

approvvigionamento delle parti di assemblaggio grezze sono attività fatte sulla base dei dati storici e sull'esperienza passata, in modo dunque preventivo rispetto alle richieste del mercato. Quindi tutte le attività di acquisto, di approvvigionamento e di gestione dei materiali vengono fatte in maniera previsionale prima dell'arrivo di un eventuale ordine. L'assemblaggio vero e proprio, a valle del Punto di Disaccoppiamento, è una fase che ha inizio solamente a ordine del cliente ricevuto: di questa tipologia di attività fanno parte la verniciatura di alcune parti grezze e il montaggio di specifici sotto-assiemi del prodotto finito (gruppi cambio, barre falcianti, riduttori, telai) prima di mandarli all'isola di assemblaggio specifica della famiglia di prodotti. Unica controindicazione è che una gestione del genere porta sì a diminuire gli stock a magazzino, ma inevitabilmente allunga i tempi di risposta al mercato.

Solamente nei mesi invernali, in bassa stagionalità, si assiste ad una logica di Make To Stock (sistema *MTS*): i prodotti infatti vengono assemblati anche senza un reale ordine del cliente a valle e messi a stock nel magazzino, in modo da essere subito disponibili all'inizio della stagione primaverile.

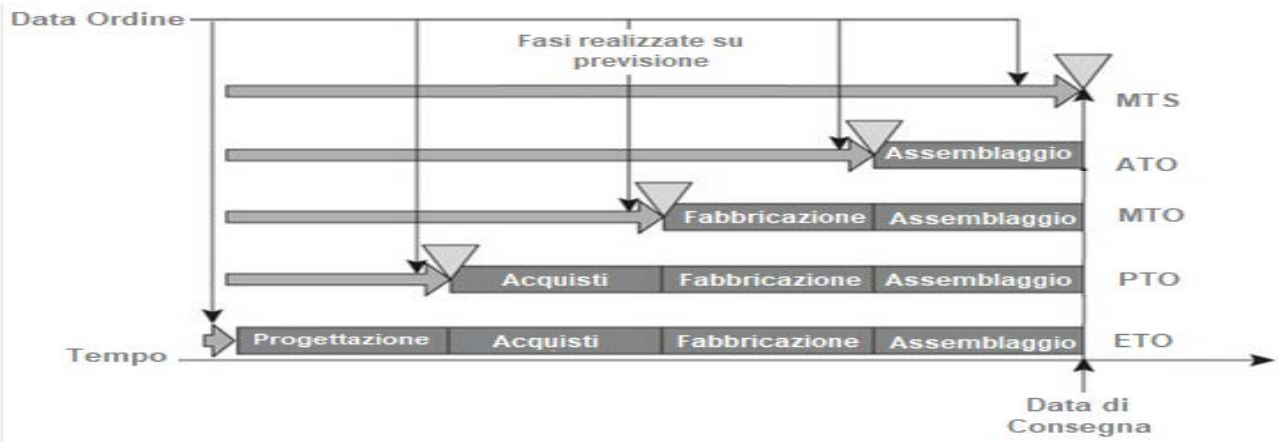

Figura 3.2: classificazione di Wortmann [www.quadrologico.it/i-sistemi-produttivi-secondo-wortmann/]

3.1.2 I principali Prodotti:

3.1.2.1 Motofalciatrice C70: appartenente alla famiglia delle motofalciatrici, è una tipologia di prodotto per lavorazioni professionali su superfici di media estensione. Su di esso possono essere montate due tipi di motorizzazioni auto-avvolgenti differenti, benzina e diesel, con trasmissione ad ingranaggi in bagno d'olio. È un prodotto al quale sono accompagnati degli accessori come la pala, la spazzola e la barra frontale; in particolare quest'ultima ha una larghezza di lavoro variabile di 102-110-117-127 cm. All'interno dello stabilimento, sul reparto addetto ai pre-assemblaggi, vengono creati i gruppi cambio e le barre falcianti, i quali vengono poi mandati in outsourcing al reparto di verniciatura; di ritorno dalla lavorazione esterna, la motofalciatrice viene assemblata e rifinita su una apposita linea di assemblaggio all'interno dello stabilimento produttivo.

Figura 3.3: motofalciatrice C70 [www.barbierisrl.com]

3.1.2.2 Motofalciatrice C80: sempre appartenente alla famiglia delle motofalciatrici, è un prodotto utilizzato nelle attività di taglio erba, nei foraggi, nella gestione e pulizia dei terreni agricoli. Le differenze rispetto alla motofalciatrice C70 risiedono nella sola versione del motore a benzina da 8 CV e nella trasmissione, anche in questo caso sempre ad ingranaggi in bagno d'olio, con interasse a 6 velocità (3 in avanzamento e 3 in retromarcia). La presenza dell'attacco rapido consente l'utilizzo di diversi accessori come la spazzola, la pala e la barra falciante.

Figura 3.4: motofalciatrice C80 [www.barbierisrl.com]

Figura 3.5: particolare di alcuni accessori utilizzabili per la motofalciatrice C80 [www.barbierisrl.com]

3.1.2.3 Motocoltivatore Flex 2+2: appartenente alla famiglia dei motocoltivatori, il prodotto Flex 2+2, grazie alle sue ridotte dimensioni, si adatta bene alla manutenzione degli orti, dei giardini e delle serre; trova inoltre applicazione nella coltivazione delle colture a filare.

Figura 3.6: motocoltivatore Flex 2+2 [www.barbierisrl.com]

È dotato di tre versioni per quanto riguarda il gruppo motore (1 versione benzina e 2 diesel), con trasmissione ad ingranaggi in bagno d'olio e un cambio a 4 velocità (2 in avanzamento e 2 in retromarcia). Al motocoltivatore si accompagnano diversi accessori quali la fresa, la spazzola, le barre falcianti e gli aratri. Così come le motofalciatrici, il motocoltivatore Flex viene assemblato e rifinito sulla medesima linea di assemblaggio, secondo lo scheduling previsto dalla stessa.

3.1.2.4 Motozappa B115: rappresenta il modello di punta della famiglia delle motozappe, è un prodotto caratterizzato da una elevata stabilità, potenza e resistenza. Nelle diverse versioni di gruppi motore disponibili, la B115 fa uso di una frizione multidisco a secco con un avviamento auto-avvolgente. Monta di serie due prese di forza, indipendente e sincronizzata, che permettono l'utilizzo di differenti accessori.

Figura 3.7: motozappa B115 [www.barbierisrl.com]

3.1.2.5 Trinciasarmenti G/660 e G/775: i prodotti appartengono ad una famiglia di modelli utilizzata per la pulizia di erba ed arbusti su terreni incolti. Sono prodotti maneggevoli e facilmente controllabili nel loro ambiente di lavoro: un comando-leva sull'impugnatura del trinciasarmenti permette infatti di bloccare l'avanzamento e di invertire il moto, evitando così facilmente eventuali ostacoli.
La famiglia di prodotti viene assemblata in un reparto differente da quelli precedentemente descritti, in una stazione di lavoro a postazione singola.

Figura 3.8: trinciasarmenti G/660 [www.barbierisrl.com]

3.1.2.6 Prodotti Radiocomandati: si tratta dell'ultima famiglia di prodotti introdotta nel portafoglio di Barbieri S.r.l. Il Radiocomandato Rotativo è uno sfalciaerba con un piatto di taglio e una lama flottante singola che permettono il taglio di grandi volumi di materiale. Presenta due motori elettrici controllati via radio che permettono l'azionamento dei cingoli; a questi si aggiunge il motore a combustione che, in una delle diverse versioni disponibili, presenta una potenza di 13,2 CV.

Figura 3.9: Radiocomandato rotativo a lama singola [www.barbierisrl.com]

Il Radiocomandato Trincia presenta invece al posto del piatto di taglio a lama una cofanatura in lamiera verniciata all'interno della quale è fissato un rotore con 40 coltelli a "Y"; essi permettono lo sminuzzamento pressochè totale del volume di taglio e lo scarico posteriore dello stesso. I motori elettrici sono i medesimi del Radiocomandato Rotativo, mentre il gruuppo motre installato ha una cilindrata di 627 cm^3 e una potenza netta di 23 CV.

Figura 3.10: Radiocomandato rotativo a coltelli con scarico posteriore [www.barbierisrl.com]

La famiglia dei prodotti Radiocomandati presenta un contenuto tecnologico notevolmente più elevato rispetto ai modelli delle altre famiglie descritti precedentemente: il prodotto infatti può essere comandato a distanza tramite un radiocomando, fino a circa 200 metri dall'operatore; inoltre, si può seguire l'intero percorso di lavoro del Radiocomandato anche da Smart-Phone ottimizzandone il cammino di taglio. I prodotti sono progettati per lavorare su grandi pendenze, fino ad una inclinazione massima di 45°; ciò permette di manovrare in comodità il prodotto da remoto durante lo sfalcio di declivi in pendenza, il taglio lungo i cavalcavia, la manutenzione delle corsie autostradali che fiancheggiano la carreggiata oppure la bonifica di terreni incolti con accesso difficoltoso, evitando così all'operatore lavorazioni scomode e/o pericolose.

Il Radiocomandato Rotativo è presente in diverse versioni e viene assemblato in un'isola di assemblaggio dello stabilimento comprendente 4 operatori; il Radiocomandato Trincia viene invece montato in un'altra isola con l'utilizzo di un unico operatore. Entrambi i prodotti vengono assemblati seguendo una logica di Assembly To Order, solitamente in lotti da 4/5 pezzi. Oltre al mercato italiano, essi trovano impiego nel nord Europa, nell'est dell'Europa e negli Stati Uniti.

Si ritornerà in seguito sulla famiglia dei prodotti Radiocomandati, per un'analisi di maggiore dettaglio del loro processo di assemblaggio.

3.1.2.7 Prodotti a marchio Iseki: Iseki è un marchio giapponese che contiene al suo interno un ampio insieme di prodotti, il quale è riconducibili a tre famiglie principali: le macchine da taglio, i trattori sub-compatti e i trattori compatti. L'asemblaggio dei prodotti Iseki avviene sempre all'interno dello stabilimento Barbieri, ma segue una logica differente da quella seguita dalle altre famiglie precedentemente descritte: i modelli arrivano infatti dalla casa madre tramite container, con i principali gruppi macchina già pre-assemblati. All'interno dello stabilimento, un operatore si occupa della finitura dei vari modelli, andando ad assemblare fra loro i vari gruppi funzionali; a prodotto ultimato si occupa dello stoccaggio dello stesso a magazzino, in attesa dell'invio alla rete distributiva italiana ed estera (prevalentemente Francia e Germania).

Figura 3.11: prodotti a marchio Iseki. Da sinistra verso destra, esempio di una macchina da taglio, di un trattore sub-compatto e di un trattore compatto [www.iseki.it]

Anche i prodotti a marchio Iseki seguono una logica di sistema Assembly to Order (*ATO*), poichè i vari assiemi arrivano dalla casa madre per essere assemblati nelle quantità e nel mix richiesto dagli ordinativi della rete distributiva italiana ed estera.

Da quanto appena illustrato, è possibile definire il layout dell'area produttiva come un layout a celle [13]: ciò significa che all'interno di ogni cella le persone, i materiali e le attrezzature dovrebbero essere organizzate per ricevere il feeding, assemblare e completare una determinata famiglia di prodotti (per una visione schematica di cosa si intenda per layout a celle si prenda a riferimento la Figura 3.12).

Insieme all'area produttiva, nello stabilimento è presente tutta l'area addetta alla ricambistica: essa si occupa della gestione di tutta quella componentistica facente riferimento ai modelli degli anni/decenni precedenti che, per semplice usura, rottura meccanica o fine vita sono richiesti dai clienti che hanno acquistato le varie famiglie di prodotti nel corso degli anni. Infine, accanto ai reparti produttivi sono presenti un'area magazzino per la gestione dei componenti di assemblaggio, un'area magazzino per la componentistica dei ricambi e una zona addetta all'imballaggio e alla spedizione dei prodotti finiti.

La Figura 3.12 illustra uno schematico layout dell'area produttiva: su di esso sono rappresentati i flussi di materiale provenienti dal magazzino centrale (in blu) e il flusso dei prodotti finiti verso la zona spedizione una volta ultimato l'assemblaggio (in giallo):

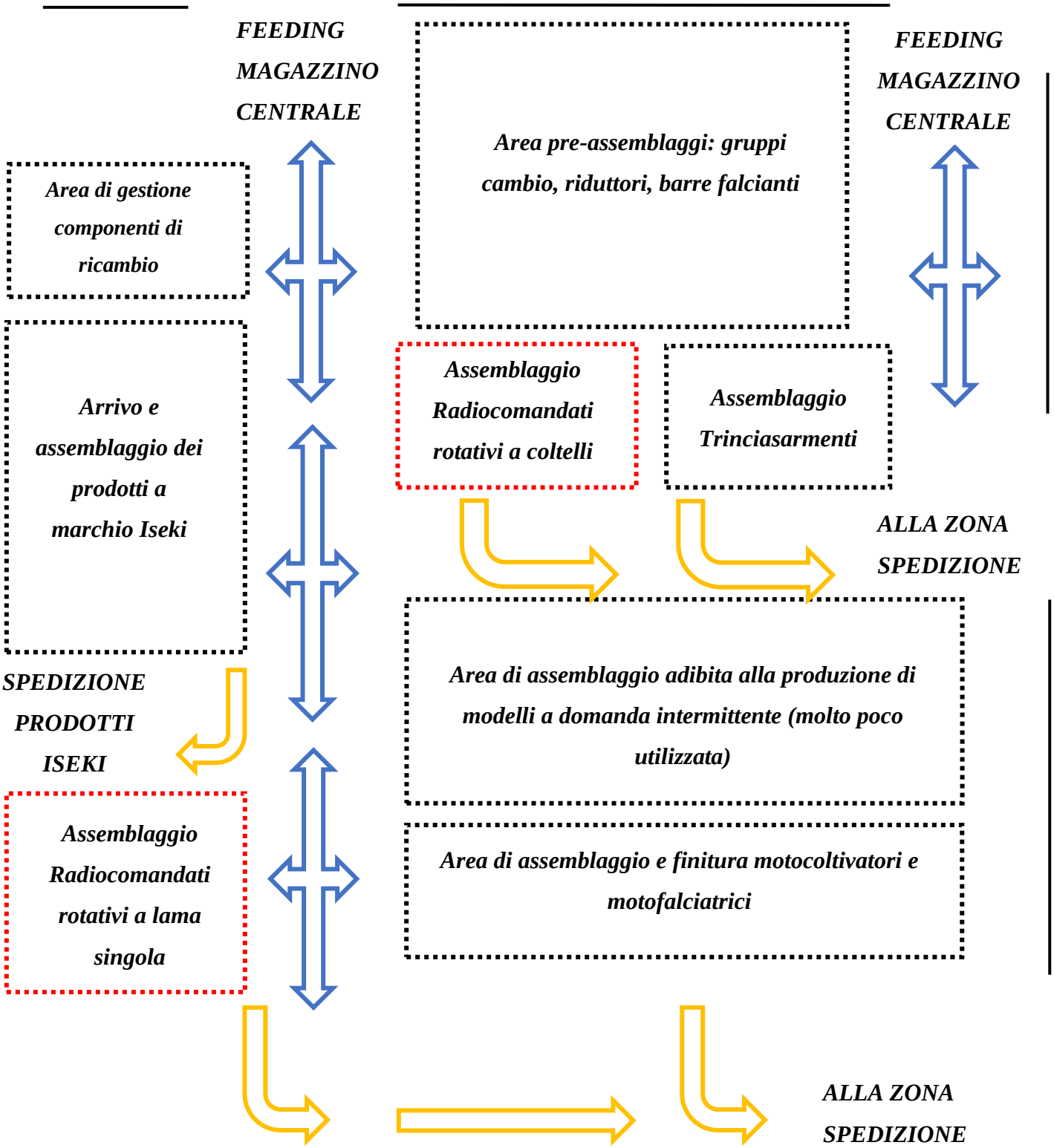

Figura 3.12: layout dell'area produttiva in Barbieri S.r.l.

3.2 Fase di Studio Preliminare e Analisi della situazione as-is:

L'esperienza di tirocinio in Barbieri S.r.l. nasce dalla necessità dell'azienda di implementare una nuova linea di assemblaggio manuale per i prodotti Radiocomandati, seguendo un'ottica Mixed-Model. I modelli che si vogliono assemblare sulla nuova linea presentano alcune caratteristiche comuni a tutti i prodotti, mentre altre sono specifiche solamente di determinati Radiocomandati appartenenti al mix produttivo. Si è quindi reso necessario lo studio e l'osservazione dello stato attuale dell'area produttiva, al fine di comprendere al meglio il ciclo di assemblaggio dei diversi prodotti, le fasi che lo compongono, gli specifici componenti necessari alla produzione di un determinato modello e le criticità attualmente presenti all'interno dell'area produttiva.

3.2.1 Isola di Assemblaggio 1:

All'interno di quest'area avviene la produzione dei Radiocomandati di tipo rotativo a lama singola (Figura 3.12); il prodotto è formato principalmente da 3 sotto-assiemi: il gruppo telaio, il gruppo piatto-lama e il gruppo motore. I modelli vengono costruiti nell'isola di assemblaggio 1 dell'area produttiva con l'utilizzo di 4 operatori: il primo si occupa della costruzione del sotto-assieme telaio, mentre il secondo dell'assemblato piatto-lama e del gruppo motore; a lavorazioni ultimate, il piatto-lama viene assemblato con il corrispondente gruppo motore, sempre dal secondo operatore.

Una volta completati, i kit telaio e piatto + motore vengono assemblati insieme su delle pedane rialzabili dal terzo operatore, il quale aggiunge al prodotto Radiocomandato il serbatoio, il gruppo batteria e si occupa della finitura meccanica della macchina. Al termine della propria fase, provvede lui stesso alla preparazione di alcuni sub-assemblati per il modello successivo come il serbatoio e il contenitore in lamiera di appoggio della batteria; si occupa inoltre anche della preparazione del sub-assemblato coltelli lama + porta-lama, usato nel kit piatto-lama dal secondo operatore.

Il modello viene infine completato dal quarto operatore che si occupa, in prima istanza, del pre-assemblaggio dei componenti che vanno ad accogliere tutta la componentistica elettronica della macchina; una volta ultimati, egli inserisce l'impianto elettrico e l'unità radiocomando all'interno del prodotto prima del suo completamento e successivo scarico.

3.2.1.1 Problematiche legate al bilanciamento e al Work-in-Process:

L'osservazione ripetuta del ciclo di assemblaggio ha portato a constatare, nella sua fase di studio preliminare, uno sbilanciamento fra i carichi di lavoro dei vari operatori. Mentre infatti gli operatori 1, 2 e 4 presentano attività di assemblaggio dalla durata simile, l'operatore 3 risulta essere completamente sbilanciato rispetto agli altri. Avviene così un accumulo anche di 3/4 sub-assemblati a monte della stazione di lavoro 3 i quali, essendo di grandi dimensioni, vanno ad occupare spazio ed ostacolano quello che è il flusso dei materiali e il movimento delle persone all'interno dell'isola di assemblaggio. Allo stesso tempo, l'operatore 4 a valle della stazione 3 presenta una durata dei propri task inferiore rispetto a quelli svolti nella stazione precedente alla propria.

Lo sbilanciamento delle fasi di assemblaggio ha ripercussioni sulla produttività del sistema: essendo presente un collo di bottiglia nell'operatore 3, il tempo ciclo T_C *[min/pz]* della linea inevitabilmente tende ad alzarsi, facendo diminuire in questo modo la produttività *Q [pz/min]* del sistema.

Nella Figura 3.13 è riportata una stima grezza dei tempi delle attività associate a ciascun operatore: si nota come l'operatore 3 abbia un carico di lavoro di circa due ore e mezza maggiore rispetto agli altri.

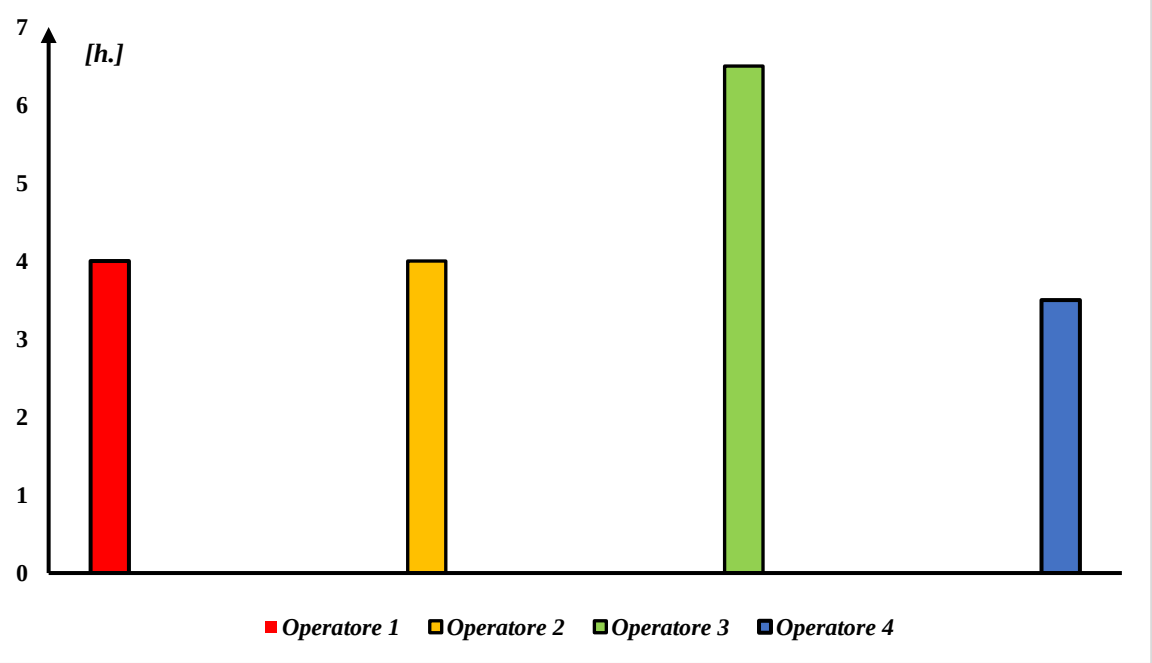

Figura 3.13: distribuzione dei carichi di lavoro, prodotto Radiocomandato rotativo a lama

3.2.1.2 Problematiche di approvvigionamento alla linea:

Tutti i componenti sono gestiti con una feeding-policy di Pallet-to-Work Station: dal magazzino centrale vengono infatti portati dei cassoni di grandi dimensioni contenenti un elevato numero di componenti, i quali sono posti a bordo linea. Data la varietà dei modelli (il prodotto è il Radiocomandato rotativo a lama singola) e il numero di prodotti uscenti dalla linea (4-5 *[pz/sett.]*), un approvvigionamento di questo tipo sembra essere inadeguato: esso tende ad incrementare sensibilmente il numero delle scorte e porta ad occupare una notevole quantità di spazio a bordo linea. La grande varietà dei pezzi presenti nell'isola, magari specifici solo di un determinato modello, porta al non prelievo di certi componenti dai contenitori anche per periodi dell'ordine delle settimane, rendendo quindi lo spazio occupato dalla parte inutilizzabile e dunque inutile. Inoltre, si hanno grosse perdite di tempo da parte degli addetti all'assemblaggio per il prelievo dei componenti, con spostamenti che alla fine portano a grandi distanze percorse all'interno dell'isola. Infine, mantenendo il contenitore sempre in linea, gli operatori della logistica perdono di vista la reale giacenza del componente; quella parte di assemblaggio, che magari presenta un tempo di approvvigionamento critico, rischia di mandare in rottura di stock l'intero sistema qualora sia richiesta dallo scheduling della linea.

3.2.1.3 Task critici del Ciclo di Assemblaggio:

All'interno del ciclo di assemblaggio si sono riscontrate alcune criticità di tipo logistico ed ergonomico. L'operatore 2 infatti nello svolgere i propri task provvede all'assemblaggio del gruppo motore sul kit piatto-lama; questa è una fase che, a causa degli elevati pesi in gioco, necessita dell'uso di un carro-ponte. Non essendo presente una tale attrezzatura nell'isola di assemblaggio 1, l'operatore è costretto a recarsi ogni volta in un'altra parte dell'area produttiva (nell'area dei Radiocomandati rotativi a coltelli, Figura 3.12), in modo da poter eseguire il task appena descritto.

Sempre a questo operatore è associato il feeding dei gruppi motore e dei piatti-lama: si tratta di componenti ingombranti, che non possono essere tenuti su dei pallets a bordo linea. Essi sono portati ogni volta in quantità unitarie alla linea di assemblaggio dall'operatore della logistica che, insieme con l'assemblatore, provvede a posizionarlo sul banco di lavoro (gruppo motore) o sull'apposito cavalletto (piatto-lama) per la

lavorazione. Si tratta di un sollevamento non ergonomico che, come nel caso precedente, necessiterebbe di una attrezzatura specializzata come un carro-ponte.

3.2.1.4 Gestione dei componenti critici:

Sulla linea sono presenti dei componenti che, per alcune loro caratteristiche intrinseche, risultano essere critici. Alcune parti di assemblaggio, infatti, su richiesta di particolari clienti, necessitano di una fase di verniciatura con un particolare colore non standard. La fase di verniciatura viene fatta in outsourcing, con gli aspetti positivi e negativi che questo comporta: se da un lato si evitano i costi e le problematiche di gestione di un impianto di verniciatura, dall'altro la richiesta di un particolare colore non sempre si sposa con la schedulazione cromatica applicata al loro interno dai fornitori delle parti colorate. Hanno quindi luogo lead-time di approvvigionamento alla linea maggiori di quelli solitamente presenti, talvolta variabili, che rischiano di mandare in rottura di stock il sistema durante l'assemblaggio di uno specifico modello. Vi sono poi alcuni componenti che provengono da paesi extra UE; ciò implica considerevoli tempi di approvvigionamento che per svariate ragioni possono rallentare il feeding delle parti alla linea.

3.2.1.5 Problematiche di spazio:

L'isola di assemblaggio 1 risulta essere sottodimensionata in termini di spazio. Il layout non ottimizzato comporta grosse perdite di tempo: per esempio, gli operatori della logistica, nell'effettuare il cambio pallet, sono costretti ad entrare col carrello elevatore all'interno dell'isola, in condizioni di non sicurezza causate dalle manovre necessarie all'effettuazione del cambio pallet o dei contenitori. Le problematiche di spazio sono ulteriormente accentuate dall'accumulo dei *WIP* descritti precedentemente: a causa dello sbilanciamento fra le fasi, gli operatori 1 e 2 sono costretti a spostarsi presso il carro-ponte, scaricare i loro sub-assemblati completi su dei pallets porta-pezzo e a lasciarli a bordo linea in attesa della lavorazione nella stazione 3.

Allo stato attuale, il layout in pianta dell'isola di assemblaggio 1 risulta essere il seguente:

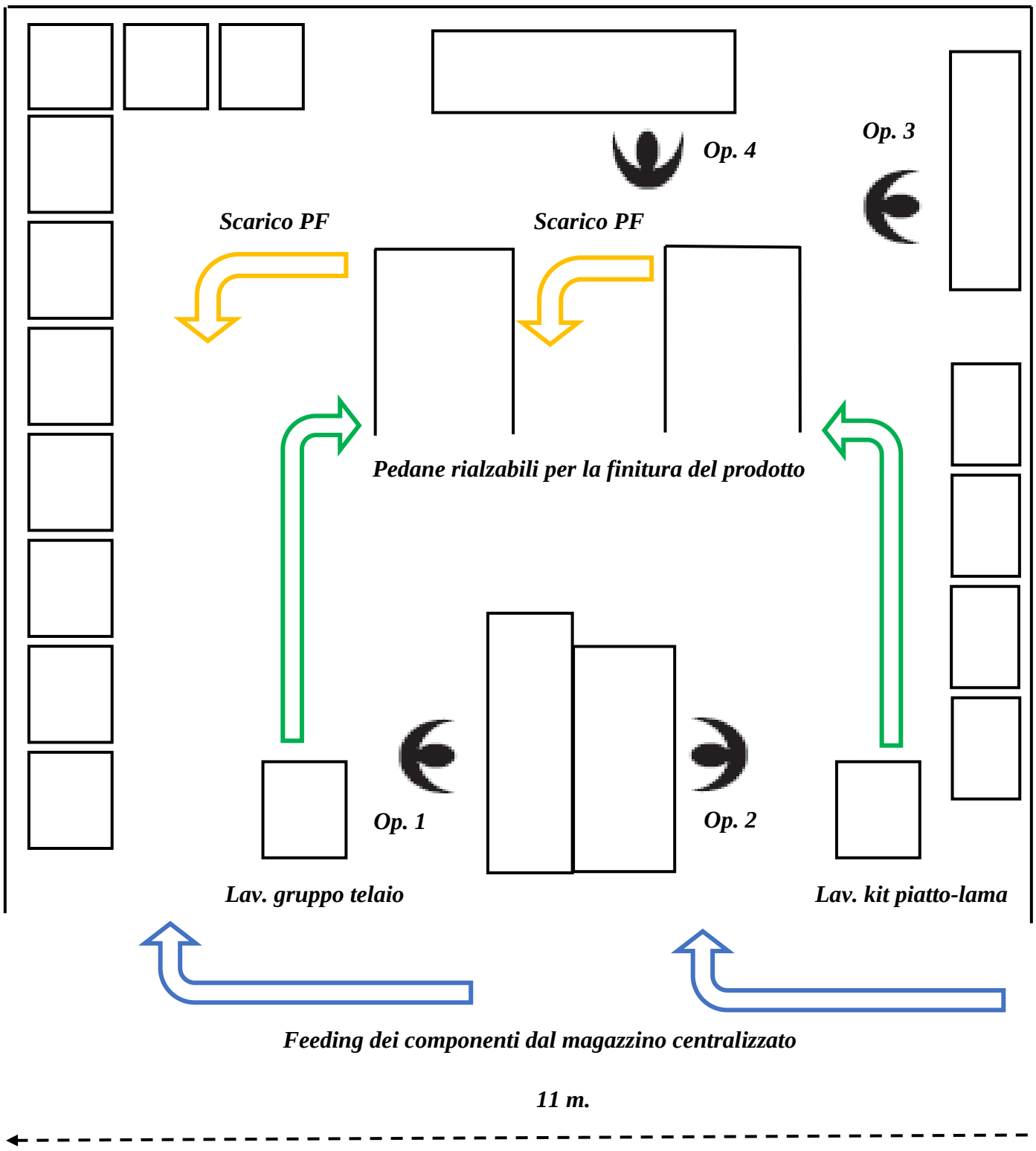

Figura 3.14: disposizione planimetrica dell'isola di assemblaggio 1

Le frecce blu rappresentano il feeding dei materiali all'area produttiva, quelle verdi indicano il flusso del prodotto nello svolgimento del suo ciclo di assemblaggio e quelle gialle lo scarico del prodotto finito ad assemblaggio ultimato. I sub-assemblati telaio e kit piatto-lama vengono lavorati rispettivamente dall'operatore 1 e dall'operatore 2 su appositi cavalletti di lavorazione; ad assemblaggio terminato, vengono portati manualmente con dei carrelli sulle pedane rialzabili per la loro unione e finitura (svolte dall'operatore 3) a cui si aggiunge il montaggio dell'impianto elettrico e lo scarico finale (attività effettuate dall'operatore 4).

Ogni operatore è dotato di un proprio banco di lavoro sul quale sono posizionate tutte le attrezzature necessarie all'assemblaggio del prodotto Radiocomandato e allo svolgimento dei task specifici di ogni stazione. Completano il layout le diverse parti di assemblaggio all'interno dei cassoni disposti sul perimetro dell'isola di assemblaggio 1; la Figura 3.14 evidenzia come il feeding dei componenti sia consentito da un solo lato dell'Isola, fattore che porta ad inefficienze nell'alimentazione delle parti.

L'intera area si estende su una superficie di circa 120 m^2, con un lato singolo di 11 m. I prodotti che vi vengono assemblati fanno riferimento a differenti modelli, assemblati solitamente in lotti di 5 prodotti Radiocomandati; nonostante la produzione in successione di più modelli uguali fra loro, non essendoci un tempo di set-up fra un lotto e l'altro si può classificare la linea di assemblaggio come una tipologia Mixed-Model (Paragrafo 1.2.1).

La Tabella 3.1 riassume le principali caratteristiche dell'isola di assemblaggio 1 al termine della fase di studio preliminare:

PARAMETRI DELLA LINEA	***ATTRIBUTO/VALORE***
Tipologia di prodotto assemblato	**Radiocomandato rotativo a lama singola**
Tipologia di assemblaggio	**Manuale**
Numero di Operatori/Stazioni presenti	**4**
Tipologia di Sistema di Assemblaggio	**Mixed-Model**
Cadenza del Sistema di Assemblaggio	**Non imposta**
Tempo di Assemblaggio stimato (studio preliminare) *[h/pz]*	**Circa 17 *[h/pz]***
Tempo Ciclo stimato (studio preliminare) *[h/pz]*	**Circa 8 *[h/pz]* (con le inefficienze presenti)**

Tabella 3.1: caratteristiche principali isola di assemblaggio 1, prodotto Radiocomandato rotativo a lama singola

3.2.2 Isola di Assemblaggio 2:

L'analisi della famiglia di prodotti Radiocomandati è proseguita nell'isola di assemblaggio 2; a differenza di quanto riscontrato nell'area di assemblaggio precedente, si tratta di una zona produttiva con la presenza di un carro-ponte per il sollevamento dei componenti pesanti e ingombranti. In quest'area avviene l'assemblaggio del Radiocomandato di tipo rotativo a coltelli con scarico posteriore (Figura 3.12); si tratta di una tipologia di modello nuova, entrata in produzione a tutti gli effetti solamente a inizio 2˙020.

La disposizione dell'attuale layout e il personale già impiegato nella produzione degli altri prodotti non hanno permesso di configurare correttamente la stazione di lavoro. In essa ci lavora un solo operatore che è adibito all'intero ciclo di assemblaggio del prodotto, tolta la produzione del gruppo telaio che viene svolta sempre nell'isola di assemblaggio 1. Egli si occupa quindi della lavorazione del kit trincia che va a comporre il prodotto finito, dell'assemblaggio del gruppo motore e dei pre-assemblaggi relativi all'impianto elettrico. A valle di tutto ciò, provvede all'inserimento dell'assieme trincia all'interno del gruppo telaio, al montaggio del sub-assemblato serbatoio e all'inserimento dell'impianto elettrico del prodotto Radiocomandato. Così come nell'isola di assemblaggio 1, le principali criticità riguardano il sovraccarico della risorsa e il feeding dei componenti.

3.2.2.1 Problematiche legate al bilanciamento:

Occupandosi della quasi totalità del ciclo di assemblaggio, la risorsa risulta essere enormemente sovraccaricata rispetto alle richieste che giungono dal mercato: nel secondo quadrimestre del 2˙020, infatti, il Radiocomandato rotativo a coltelli ha subìto un incremento degli ordinativi; a causa della configurazione della stazione, i tempi di risposta ai clienti si sono inevitabilmente allungati, non permettendo così di soddisfare totalmente la domanda di mercato.

3.2.2.2 Problematiche legate al flusso dei materiali dall'Isola di Assemblaggio 1:

Come detto, l'operatore si occupa della quasi totalità dei task componenti il prodotto finito. Non è però adibito all'assemblaggio del gruppo telaio il quale, provenendo dall'isola di assemblaggio 1, a lavorazione ultimata viene portato all'interno della cella e caricato su una pedana rialzabile, in attesa di essere assemblato con il kit trincia. Essendoci però un disallineamento fra i carichi di lavoro, sia fra gli operatori che fra le due Isole di assemblaggio, spesso succede che il gruppo telaio proveniente dall'area 1 non trovi la pedana rialzabile libera, poiché occupata da un altro prodotto in corso di lavorazione. Si rende quindi necessario l'uso del carro ponte, il sollevamento del sub-assemblato telaio e lo scarico dello stesso a bordo linea, in attesa della successiva lavorazione. In questo modo però aumenta anche il tempo ciclo nell'isola di assemblaggio 1 (l'operatore 1 non sta assemblando il modello che serve agli operatori 2, 3 e 4) e diminuisce la produttività della linea manuale Radiocomandati a lama singola.

3.2.2.3 Problematiche legate al feeding alla Stazione:

Così come descritto per l'isola di assemblaggio 1, tutti le parti componenti il prodotto finito sono stoccate a bordo linea e prelevate all'occorrenza. Anche in questo caso, le quantità dei lotti di prodotti assemblati (soprattutto visto il sovraccarico dell'operatore) non sembrano giustificare i costi di giacenza e gli spazi occupati in prossimità della stazione di lavoro. A causa della sua configurazione, l'approvvigionamento dei materiali alla linea risulta essere difficoltoso e si vengono a presentare le stesse problematiche riguardanti i gruppi motore descritte nell'isola di assemblaggio 1.

In Figura 3.15 è rappresentato il layout attuale in pianta dell'isola di assemblaggio 2 (all'interno del tratteggio azzurro è raffigurata l'area utile di lavorazione del carro-ponte):

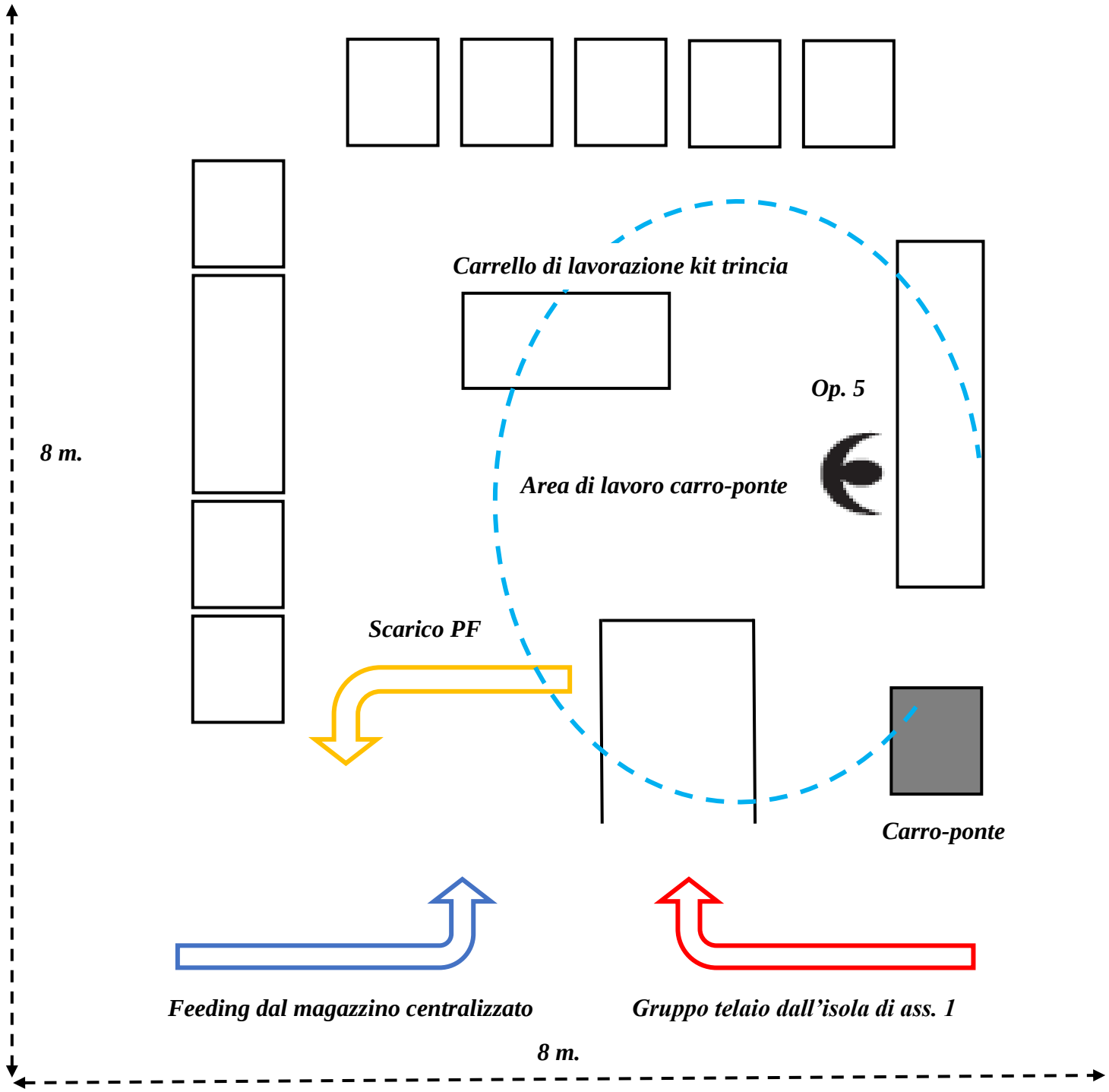

Figura 3.15: disposizione planimetrica dell'isola di assemblaggio 2

L’intera area si estende su una superficie quadrata di circa 65 m^2, circa 8 m per lato.

Sono riassunti in Tabella 3.2 i principali parametri relativi all’isola di assemblaggio 2:

PARAMETRI DELLA LINEA	*ATTRIBUTO/VALORE*
Tipologia di prodotto assemblato	**Radiocomandato Rotativo a coltelli**
Tipologia di assemblaggio	**Manuale**
Numero di Operatori/Stazioni presenti	**1**
Tipologia di Sistema di Assemblaggio	**Single-Model**
Cadenza del Sistema di Assemblaggio	**Non imposta**
Tempo di Assemblaggio stimato (studio preliminare) *[h/pz.]*	**Circa 16 *[h/pz.]***
Tempo Ciclo stimato (studio preliminare) *[h/pz.]*	**Circa 16 *[h/pz.]* (con le inefficienze presenti)**

Tabella 3.2: caratteristiche principali isola di assemblaggio 2, Radiocomandato rotativo a coltelli

3.3 Analisi della Famiglia di Prodotti:

La fase di studio preliminare svolta all’interno delle due isole di assemblaggio 1 e 2 ha permesso di prendere confidenza con i componenti principali che vanno a formare il prodotto finito. A valle dell’analisi della situazione attuale nell’area produttiva, si è provveduto allo studio della distinta base di ciascun modello della famiglia di prodotti Radiocomandati.

Al momento della fase di revisione, si contano in totale sette modelli di prodotto Radiocomandato presenti nelle due isole di assemblaggio. Ogni distinta base è suddivisa in kit, all’interno dei quali sono codificati tutti i componenti che lo vanno a formare; le parti di assemblaggio sono catalogate tramite il loro codice, la loro descrizione, il loro coefficiente di impiego e ulteriori fattori come il peso e la classe merceologica di appartenenza. Dall’analisi delle diverse distinte base, sono emersi cinque tipologie principali di kit:

- **Kit Telaio:** contiene tutti quei componenti che vanno a comporre l’assieme telaio: il telaio vero e proprio del Radiocomandato, gli attacchi e i supporti cingolo varianti a seconda del modello assemblato, i cingoli in gomma, le ruote in ferro, le corone dentate, i motori elettrici. Ai componenti principali si aggiunge poi tutta

la minuteria necessaria per il loro assemblaggio come le viti, le rondelle, i dadi, le ghiere, i rasamenti in acciaio inox e i cuscinetti.

Il kit telaio viene assemblato solamente nell'isola isola di assemblaggio 1 dall'operatore 1.

- **Kit Piatto-Lama:** nel kit sono presenti tutte le parti di assemblaggio che formano il piatto-lama. Il piatto, a seconda del modello assemblato, può presentare una larghezza di taglio da 70 cm. o da 80 cm. Rientrano all'interno del kit il porta-lama per lo specifico piatto, i coltelli lama, il rinforzo piatto, il braccio di sollevamento piatto, la puleggia per la trasmissione del moto, le bandinelle di protezioni anteriori e l'asta di supporto bandinelle. Si tratta di un kit che appartiene solamente ai prodotti Radiocomandati di tipo rotativo con lama singola; esso viene montato nell'isola di assemblaggio 1 dall'operatore 2.

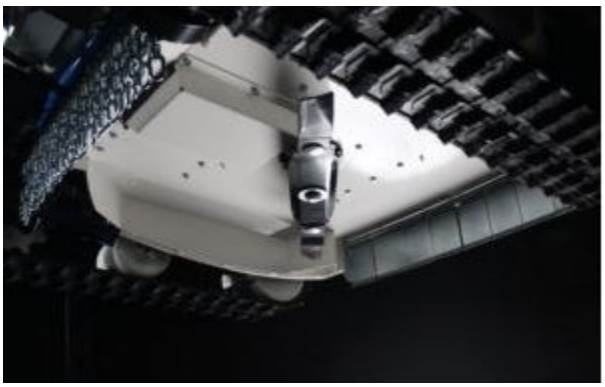

Figura 3.16: particolare della lama di taglio (porta-lama e coltelli lama) assemblata sul piatto [www.barbierisrl.com]

- **Kit Motore:** al suo interno vi sono catalogati quei componenti che compongono il gruppo motore, secondo il modello specifico da assemblare: il motore della cilindrata e della potenza specifica del Radiocomandato, lo statore, il rotore, il mozzo rotore, il diodo, l'acceleratore, il collettore, la marmitta, la protezione superiore e inferiore in lamiera del motore. Poiché questo kit deve essere assemblato assieme al kit piatto-lama per i Radiocomandati rotativi a lama e insieme al kit trincia per i Radiocomandati rotativi a coltelli, il gruppo motore viene portato alle isole di assemblaggio 1 e 2, rispettivamente agli operatori 2 e 5.

- **<u>Kit Trincia:</u>** è un kit caratteristico solamente del Radiocomandato rotativo a coltelli, quindi assemblato dall'operatore 5 nell'isola di Assemblaggio 2. Si compone di una cofanatura in lamiera verniciata, all'interno della quale viene assemblato il rotore con i relativi 40 coltelli a "Y". Il kit contiene poi tutti i componenti responsabili della trasmissione del moto dal gruppo motore al rotore e della protezione durante le operazioni di taglio (ad esempio la cinghia di distribuzione, le flange di fissaggio, le bandinelle di protezione, l'asta di supporto bandinelle); nel kit è inserita anche tutta la minuteria necessaria al montaggio come anelli seeger, cuscinetti, viti, dadi, rondelle e rasamenti.

Figura 3.17: particolare dei coltelli a "Y" assemblati sul rotore [www.barbierisrl.com]

- **<u>Kit Assieme Generale:</u>** contiene al suo interno tutte quelle parti di assemblaggio deputate alla finitura del prodotto Radiocomandato: il serbatoio, il pistone di sollevamento piatto e di sollevamento del trincia, l'impianto elettrico, la parete in lamiera GPS, la batteria, la resistenza di frenata, il supporto fusibile e i distanziali della resistenza di frenata. Le parti appartenenti al kit assieme generale vengono usate dagli operatori 3 e 4 nell'isola di assemblaggio 1, addetti alla finitura e al successivo scarico del prodotto Radiocomandato finito.

Come descritto in precedenza, il prodotto Radiocomandato rotativo a coltelli viene assemblato nell'Isola 2: all'operatore 5 sono quindi assegnate le operazioni di assemblaggio relative al kit trincia, al kit motore (variante secondo il modello assemblato) e il kit assieme generale.

Nella revisione delle differenti distinte basi, è stato esploso ciascun kit in tutti i suoi componenti finiti. L'applicazione del metodo *ROC* (Ranked On Clustering) ha portato a porre un valore uguale a 1 se un certo componente appartiene ad un certo modello e un valore uguale a 0 in caso contrario.

Un esempio della prima fase di applicazione del metodo *ROC* su alcuni codici articolo presenti nei kit dei diversi modelli è fornito nella Tabella 3.3:

CODICE ARTICOLO	Modello 70	Modello 75	Modello 77	Modello 74	Modello 63	Modello 68	Modello 200
6202553	1	1	1	1	1	1	0
6202619	1	1	1	1	1	1	0
6202163	1	1	1	1	1	1	0
6201831	1	1	1	1	1	1	0
6202166	1	1	1	1	1	0	1
6202688	1	1	1	1	1	0	0
6202689	1	1	1	1	1	0	0
6202637	1	1	1	1	1	0	0
6202795	1	1	1	1	1	0	0
6202863	1	1	1	1	1	0	0
6202794	1	1	1	1	0	0	0
IK6201676F	1	0	0	0	0	0	1
IK6201705B	1	0	0	0	0	0	1
Z/314111	1	0	0	0	0	0	1
9031011	1	0	0	0	0	0	1
IK6202321	1	0	0	0	0	0	1
IK6202250B	1	0	0	0	0	0	1
IK6201653C	1	0	0	0	0	0	1
IK6201654C	1	0	0	0	0	0	1
6202091	1	0	0	0	0	0	1
IK6201708B	1	0	0	0	0	0	1
IK6201913	1	0	0	0	0	0	1
6202350	1	0	0	0	0	0	1
339761X1	1	0	0	0	0	0	1
6202624-G	1	0	0	0	0	0	0
6202098	1	0	0	0	0	0	0
6201725-G	1	0	0	0	0	0	0
6202694	1	0	0	0	0	0	0

Tabella 3.3: esempio di applicazione del metodo ROC alla Famiglia di Prodotti Radiocomandati

Attribuiti i valori 1 e 0 alle diverse parti di assemblaggio, secondo la loro appartenenza o meno ad un modello specifico, per ogni riga prima e per ogni colonna poi sono stati calcolati i punteggi W_i e W_j.

$$W_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} * 2^{n-j} ;$$

$$W_j = \sum_{i=1}^{m} a_{ij} * 2^{m-i} ;$$

I punteggi di riga sono stati ordinati in ordine decrescente e lo stesso procedimento è stato applicato, in seconda istanza, ai punteggi di colonna. A valle del riordino dei punteggi W_i e W_j, si vengono a formare dei cluster di codici che identificano a quale modello, o a quale gruppo di modelli, essi appartengono. La procedura di raggruppamento in cluster può essere iterata per n-volte, fino a raggiungere il livello di aggregazione desiderato.

La Tabella 3.4 mostra alcuni codici del kit telaio dopo l'applicazione del metodo *ROC*. Il primo cluster formatosi fa riferimento a tutti quei componenti appartenenti a tutti i modelli: si tratta prevalentemente di parti di minuteria o di componenti di assemblaggio inseriti su tutti i telai di tutti i modelli (motori elettrici e riduttori per esempio). Seguono poi alcuni cluster di codici specifici di un solo modello (in verde, modello 70), oppure di un insieme di prodotti radiocomandati (in rosso; ad esempio, i modelli 75, 63, 77, e 74 montano tutti attacchi cingolo e supporti cingolo uguali fra loro, al netto delle differenti colorazioni). Infine, il modello 200 presenta alcune parti di assemblaggio che vanno montate solo su questo prodotto, costruito nell'isola di assemblaggio 2 (in azzurro).

Il metodo iterativo *ROC* è stato poi applicato a tutti gli altri codici componenti le diverse distinte basi, identificando così le parti di assemblaggio specifiche per un certo modello o comuni a tutti i prodotti.

CODICE ARTICOLO	Modello 70	Modello 75	Modello 63	Modello 77	Modello 68	Modello 74	Modello 200
6202014	1	1	1	1	1	1	1
6202340	1	1	1	1	1	1	1
3000193X1	1	1	1	1	1	1	1
314811	1	1	1	1	1	1	1
339814X1	1	1	1	1	1	1	1
390734X1	1	1	1	1	1	1	1
8900023	1	1	1	1	1	1	1
9102001	1	1	1	1	1	1	1
6202121	1	1	1	1	1	1	1
315921	1	1	1	1	1	1	1
1441858X1	1	1	1	1	1	1	1
6201620A	1	1	1	1	1	1	1
6201858	1	1	1	1	1	1	1
6201861	1	1	1	1	1	1	1
6202426	1	0	1	0	1	1	0
6202470	1	0	1	0	1	1	0
6201663A	1	0	0	0	1	0	0
6201664A	1	0	0	0	1	0	0
6202775	1	0	0	0	1	0	0
6201507	1	0	0	0	1	0	0
IK6201624	1	0	0	0	0	0	1
IK4501636	1	0	0	0	0	0	1
6201726-B	1	0	0	0	0	0	0
6201727-B	1	0	0	0	0	0	0
6201624	0	1	1	1	1	1	0
4501636	0	1	1	1	1	1	0
6202736	0	1	1	1	0	1	1
6202341	0	1	1	1	0	1	1
IK6201901	0	0	0	0	0	0	1
IK6201902	0	0	0	0	0	0	1
IK6202426	0	0	0	0	0	0	1
IK6202470	0	0	0	0	0	0	1
IK6202342	0	0	0	0	0	0	1
IK6202343	0	0	0	0	0	0	1

Tabella 3.4: formazione dei clusters, metodo ROC applicato alla famiglia di prodotti

Una ipotesi semplificativa che si è deciso di utilizzare nell'identificazione dei diversi modelli riguarda i componenti verniciati che giungono alla linea di assemblaggio. Sulla base della richiesta di alcuni clienti alcune parti di assemblaggio vengono verniciate di uno specifico colore, secondo le esigenze del committente; a gestionale, quindi, le parti sono gestite con sigle diverse e il codice di quel componente è specifico solamente di un modello. La semplificazione che si è deciso di adottare nella fase preliminare dello studio riguarda la non considerazione della colorazione specifica: dal punto di vista dell'assemblaggio, infatti, le parti risultano essere completamente uguali fra loro, non influenzando quindi in alcun modo le operazioni di lavorazione che vengono svolte in linea. In questo caso i modelli risultano essere totalmente uguali fra loro, tolta la differente colorazione di alcune parti. Si ritornerà sulla gestione dei colori dei differenti componenti in seguito, trattando le scorte di sicurezza e la feeding-policy alla linea di assemblaggio.

L'analisi della famiglia di prodotti Radiocomandati, a valle dell'applicazione del metodo *ROC* e delle ipotesi semplificative sulla colorazione delle parti, ha fornito l'identificazione di tre modelli principali. Le differenze rimandano a quanto emerso dall'analisi dei differenti kit.

- **Modello *B*:** è un modello assemblato nell'isola di assemblaggio 1. Sono presenti gli attacchi cingolo e i supporti cingolo da 70 cm., caratteristici solamente di questo modello per quanto riguarda i Radiocomandati rotativi a lama singola. La larghezza del piatto-lama è di 70 cm. e ad esso si accompagna il kit del motore *B* da 18 CV, assemblato solamente su questo prodotto Radiocomandato.

- **Modello *K*:** si tratta di un insieme di prodotti che, al netto delle differenti colorazioni di alcune parti, presenta tutti componenti simili fra loro; tutti i modelli sono assemblati nell'isola di assemblaggio 1 dai 4 operatori presenti.

  Il gruppo telaio prevede la presenza degli attacchi e dei supporti cingolo da 80 cm., mentre tutti gli altri componenti sono uguali a quelli del modello *B*. La larghezza del piatto usato è di 80 cm.; il piatto-lama poi è abbinato con un motore di tipo *K*, di differenti prestazioni rispetto al 18 CV del modello *B*. L'assemblaggio del motore sul kit piatto-lama richiede il montaggio di alcuni componenti specifici solo per questi modelli, come la protezione inferiore e superiore del motore, il paracalore per la marmitta e il collettore marmitta.

L’analisi ha poi portato a evidenziare quelli che sono i componenti comuni ai due modelli: motori elettrici, forcelle tendi-cingolo, cingoli in gomma, gruppo serbatoio, gruppo batteria, resistenze di frenata, condensatori.

- **Modello *T*:** si tratta del modello rotativo a coltelli, l’ultimo entrato all’interno della famiglia di prodotti Radiocomandati; viene assemblato nell’isola di assemblaggio 2 dall’operatore 5.

  Il gruppo telaio è uguale a quello del modello *B*, con la presenza dei codici riferiti agli attacchi cingolo e ai supporti cingolo da 70 cm. A differenza dei modelli *B* e *K*, il kit trincia (rotore, coltelli a “Y”, gruppo di trasmissione, il braccio sollevatore del trincia) appartiene solamente a questo modello, così come il motore *T* da 23 CV. Infine, il kit assieme generale del modello *T* presenta alcuni componenti appartenenti solamente a questo prodotto, come la rete di protezione superiore, il copri puleggia e il componente di protezione laterale; altri invece, come i componenti che costituiscono l’impianto elettrico che va a completare il prodotto Radiocomandato, sono comuni a tutti i modelli.

CAPITOLO 4: IL CASO BARBIERI S.R.L.: PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO DEL SISTEMA

Nel capitolo precedente si è svolta un'analisi preliminare della famiglia Radiocomandati presente in Barbieri S.r.l.; essa ha portato all'identificazione dei tre modelli principali componenti la famiglia di prodotti Radiocomandati, evidenziando le principali criticità delle due aree di assemblaggio, i componenti usati e le tipologie di prodotto assemblate.

Si passa in questo capitolo all'analisi di dettaglio del processo di assemblaggio per la progettazione di una nuova linea Mixed-Model: per ogni modello si sono identificati i differenti task che lo compongono, il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche e la Matrice di Incidenza; ciò ha permesso di definire il Joint Precedence Diagram e la Joint Priority Matrix rappresentativi dei tre modelli.

Successivamente, si è proceduto con l'attività di rilevamento tempi e con l'applicazione di diverse metodologie per il bilanciamento del nuovo sistema di assemblaggio, calcolandone per ognuno degli Indici di Performance.

4.1 Assemblaggio del Modello *B*:

4.1.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio del Modello *B*:

Lo studio e l'osservazione del ciclo di assemblaggio del Modello *B* ha portato alla definizione e alla descrizione di quelli che sono i task svolti dagli operatori in linea:

FASE DI ASSEMBLAGGIO	*DESCRIZIONE FASE DI ASSEMBLAGGIO*
FASE 0: POSIZIONAMENTO DEL TELAIO	Prelievo e posizionamento dell'unità di base telaio sull'apposito cavalletto;
FASE 1, MOT E: PREPARAZIONE DEI MOTORI ELETTRICI	Inserimento sui due motori elettrici della guaina termo-restringente e posa del silicone;

FASE 2, ATT 70: ASSEMBLAGGIO DEGLI ATTACCHI CINGOLO DA 70	Inserimento degli attacchi cingolo da 70 sul telaio e assemblaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 4, SUPP 70: ASSEMBLAGGIO DEI SUPPORTI CINGOLO DA 70	Inserimento e assemblaggio dei supporti cingolo da 70 sugli attacchi cingolo; fissaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 6, ASS FORC: INSERIMENTO DELLE FORCELLE TENDI-CINGOLO	Prelievo delle forcelle tendi-cingolo e delle molle con relativo distanziale. Inserimento all'interno dei supporti cingolo;
FASE 7, ASS: ASSEMBLAGGIO DELL'ASSALE MOTORE	Prelievo del sub-assemblato portacatene da 70 cm., dei due riduttori e assemblaggio sul gruppo telaio. Fissaggio con viti, rondelle grower e dadi metalblock;
FASE 8, COR: ASSEMBLAGGIO DELLE CORONE DENTATE	Inserimento delle due corone dentate sui relativi prigionieri e fissaggio con rondelle e dadi;
FASE 9, CING: ASSEMBLAGGIO DEI CINGOLI IN GOMMA	Prelievo dei due cingoli in gomma, appoggio e successivo assemblaggio sui supporti cingolo e sulle forcelle tendi-cingolo precedentemente inseriti;
FASE 10, ASS E: ASSEMBLAGGIO DEI MOTORI ELETTRICI	Prelievo dei motori elettrici preparati precedentemente e inserimento degli stessi nel gruppo assale motore. Fissaggio con viti, rondelle schnorr e dadi autobloccanti;
FASE 12, LAMA: PRE-ASSEMBLAGGIO DEI COLTELLI LAMA	Prelievo del porta-lama e dei coltelli lama, assemblaggio con viti, rondelle fissa lama e dadi;
FASE 13, ALT: PREPARAZIONE DELL'ALTERNATORE	Prelievo dell'assieme alternatore (rotore + statore) e assemblaggio sulla base motore;
FASE 17, PIA 70: PREPARAZIONE DEL PIATTO DA 70 CM.	Prelievo e preparazione del piatto con larghezza di taglio da 70 cm. Assemblaggio del gruppo lama sul piatto e relativo fissaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 19, MOT *B*: LAVORAZIONE DEL GRUPPO MOTORE DEL MODELLO *B*	Prelievo del kit motore del modello *B* e appoggio sul banco di lavoro: inserimento del diodo e dell'attuatore sul gruppo motore;
FASE 22, PIA+*B*: ASSEMBLAGGIO DEL GRUPPO MOTORE *B* SUL KIT PIATTO-LAMA	Sollevamento del gruppo motore del modello *B* con il carro-ponte e appoggio della base motore sul kit piatto-lama; fissaggio dell'assieme con viti, rondelle e dadi.

FASE 25, ADATT: ADATTAMENTO DELL' IMPIANTO ELETTRICO AL MOTORE	Prelievo dell'impianto elettrico e posizionamento sul banco di lavoro: adattamento allo specifico modello;
FASE 26, SERB: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO SERBATOIO	Pre-assemblaggio del gruppo serbatoio: prelievo del serbatoio e assemblaggio tramite viti, rondelle e dadi con la relativa lamiera di supporto. Inserimento delle gomme di protezione e del sensore di livello del carburante;
FASE 27, BATT: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO BATTERIA	Preparazione del componente di supporto batteria; inserimento delle gomme di protezione batteria e dell'indicatore di taglio;
FASE 28, MOT+PIATTO: LAVORAZIONE DEL GRUPPO MOTORE SUL KIT PIATTO-LAMA	Prelievo dell'impianto elettrico precedentemente adattato e inserimento nel gruppo motore. Collegamento del polo della massa e del polo della batteria con il motore;
FASE 29, IMP1: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 1 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede in lamiera verniciata dell'impianto elettrico: inserimento del gruppo resistenza, del gruppo schede e del gruppo condensatore;
FASE 30, IMP2: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 2 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede dell'impianto GPS, inserimento e assemblaggio del kit radiocomando;
FASE 31, PIA+TEL: ASSEMBLAGGIO DEL KIT PIATTO SUL GRUPPO TELAIO	Assemblaggio del kit piatto-lama sul kit telaio: assemblaggio delle bretelle e del braccio sollevatore piatto con il telaio tramite viti, dadi e rondelle. Inserimento del serbatoio e del gruppo batteria precedentemente assemblati;
FASE 33, FIN1: FINITURA DELL'IMPIANTO ELETTRICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento e assemblaggio dell'impianto elettrico sull'assieme telaio. Collegamento con l'impianto elettrico del sub-assemblato motore e con il gruppo batteria;
FASE 34, FIN2: FINITURA DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento dell'impianto GPS e chiusura posteriore del prodotto Radiocomandato. Assemblaggio targa e bandelle di protezione posteriori;
FASE 35, SCAR: SCARICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO FINITO	Posa delle etichette e scarico del prodotto Radiocomandato;

Tabella 4.1: descrizione fasi di assemblaggio, modello B

4.1.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *B*:

La definizione delle fasi di assemblaggio porta a quello che è il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche relativo al modello *B*: i singoli nodi del diagramma rappresentano i task/le fasi di assemblaggio mentre le frecce indicano la precedenza tecnologica di un task rispetto ad un altro: significa che se uno o più predecessori di un determinato task non sono stati completati, questi non può avere inizio. Al Diagramma delle Precedenze Tecnologiche fa poi seguito la Matrice di Incidenza relativa al modello *B*: si tratta di una matrice triangolare superiore (*N***N*) dove in riga e in colonna sono riportati tutti i task; nella matrice, il generico valore di cella x_{ij} è uguale a 1 se il task *j* è successore del task *i* (e quindi anche tutti i successori del task *j*), uguale a 0 in caso contrario.

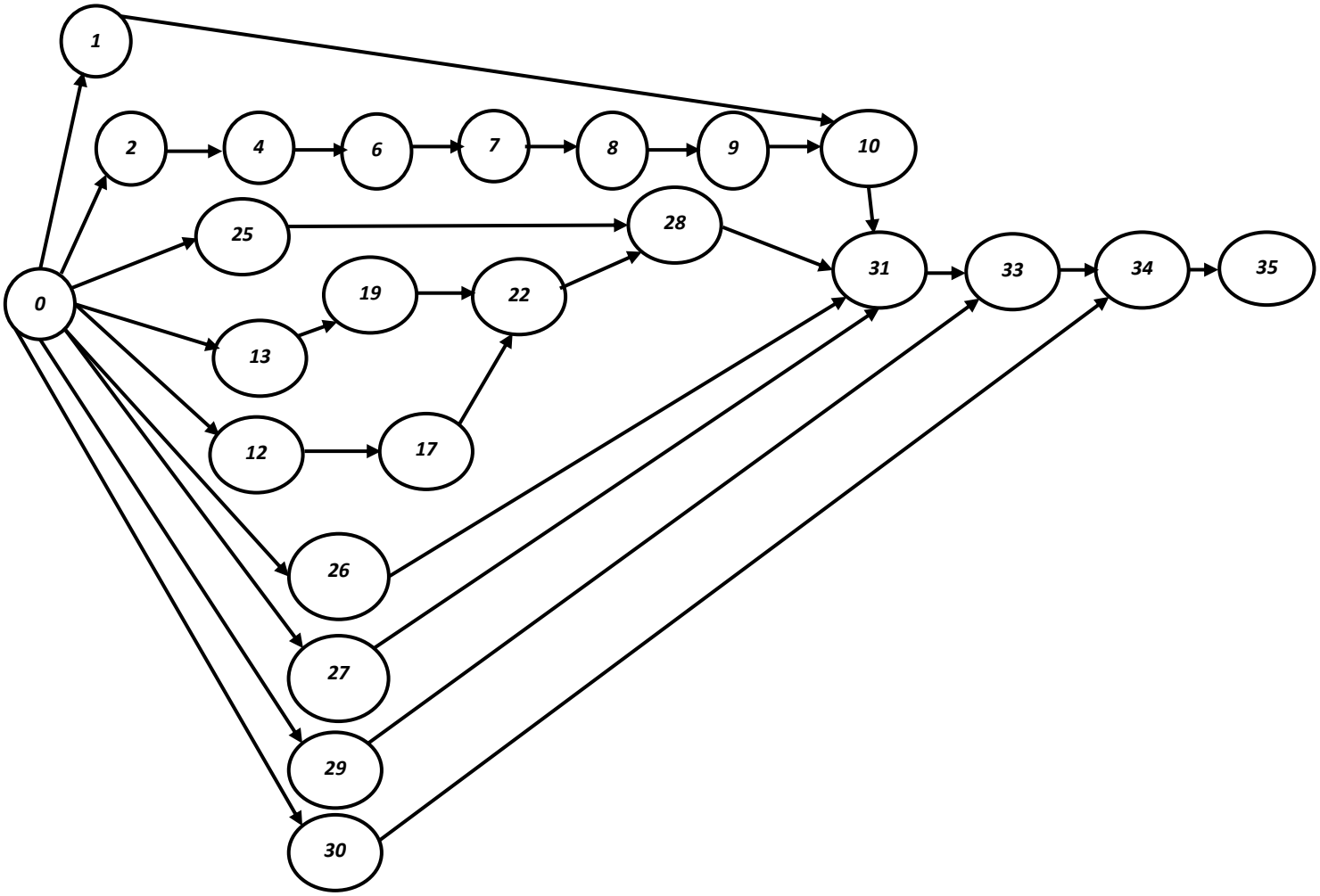

Figura 4.1: Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, modello B

4.1.3 Matrice di Incidenza, Modello *B*:

FASE DI ASSEMBLAGGIO	TASK	0	1	2	4	6	7	8	9	10	12	13	17	19	22	25	26	27	28	29	30	31	33	34	35
Posizionamento del Telaio	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prep. dei Motori Elettrici	1			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. degli attacchi cingolo da 70	2				1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei supporti cingolo da 70	4					1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	6						1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dell'assale motore	7							1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. delle corone dentate	8								1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei cingoli in gomma	9									1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei motori elettrici	10										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	12											0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Preparazione dell'alternatore	13												0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Preparazione del Piatto da 70 *cm*	17													0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello B	19														1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Ass. gruppo motore B su kit Piatto-lama	22															0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Adatt. Imp. Elettrico al motore	25																0	0	1	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	26																	0	0	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Batteria	27																		0	0	0	1	1	1	1
Lav. gruppo motore su Piatto	28																			0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	29																				0	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	30																					0	0	1	1
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	31																						1	1	1
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	33																							1	1
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	34																								1
Scarico Radiocomandato finito	35																								

Tabella 4.2: Matrice di Incidenza, modello B

4.2 Assemblaggio del Modello *K*:

4.2.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio del Modello *K*:

In analogia con il modello *B*, anche il modello *K* viene assemblato nell'isola di assemblaggio 1 dagli stessi 4 operatori. I gruppi funzionali sono i medesimi di quelli emersi con il modello *B*, ma con alcune differenze: nel gruppo telaio, ad esempio, gli attacchi per i supporti e i supporti cingolo hanno una lunghezza maggiore rispetto al modello *B*. La stessa cosa succede nel kit piatto-lama, con un piatto che ha una larghezza di taglio da 80 cm.; il modello *K* prevede la lavorazione di un diverso gruppo motore, e anche il successivo assemblaggio sul piatto avviene in maniera differente. Nulla invece cambia per quanto riguarda il gruppo serbatoio, il sub-assemblato batteria e tutta quella che è la fase di finitura meccanica ed elettrica del prodotto Radiocomandato.

FASE DI ASSEMBLAGGIO	*DESCRIZIONE FASE DI ASSEMBLAGGIO*
FASE 0: POSIZIONAMENTO DEL TELAIO	Posizionamento dell'unità di base telaio sull'apposito cavalletto;
FASE 1, MOT E: PREPARAZIONE DEI MOTORI ELETTRICI	Inserimento sui due motori elettrici della guaina termo-restringente e posa del silicone;
FASE 3, ATT 80: ASSEMBLAGGIO DEGLI ATTACCHI CINGOLO DA 80	Inserimento degli attacchi cingolo di lunghezza 80 nel telaio e assemblaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 5, SUPP 80: ASSEMBLAGGIO DEI SUPPORTI CINGOLO DA 80	Assemblaggio dei supporti cingolo di lunghezza 80 sugli attacchi cingolo e fissaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 6, ASS. FORC: ASSEMBLAGGIO DELLE FORCELLE TENDI-CINGOLO	Prelievo delle forcelle tendi-cingolo e delle molle con relativo distanziale. Inserimento all'interno dei supporti cingolo;
FASE 7, ASS: ASSEMBLAGGIO DELL'ASSALE MOTORE	Prelievo del sub-assemblato portacatene da 80 cm., dei due riduttori e inserimento nel gruppo telaio. Fissaggio con viti, rondelle grower e dadi metalblock;
FASE 8, COR: ASSEMBLAGGIO DELLE CORONE DENTATE	Inserimento delle due corone dentate sui relativi prigionieri e fissaggio con rondelle e dadi;
FASE 9, CING: ASSEMBLAGGIO DEI CINGOLI IN GOMMA	Prelievo dei cingoli in gomma, appoggio e successivo assemblaggio sui supporti cingolo e sulle forcelle tendi-cingolo precedentemente inseriti;
FASE 10, ASS E: ASSEMBLAGGIO DEI MOTORI ELETTRICI	Prelievo dei motori elettrici precedentemente preparati e inserimento degli stessi nel gruppo assale motore. Fissaggio con viti, rondelle schnorr e dadi autobloccanti;
FASE 12, LAMA: PRE-ASSEMBLAGGIO DEI COLTELLI LAMA	Prelievo del porta-lama e dei coltelli lama, assemblaggio tramite viti, rondelle fissa lama e dadi;
FASE 13, ALT: PREPARAZIONE DELL'ALTERNATORE	Prelievo dell'assieme alternatore (rotore + statore) e assemblaggio sulla base motore;

FASE 18, PIA 80: PREPARAZIONE DEL PIATTO DA 80 CM.	Prelievo e preparazione del piatto con larghezza di taglio da 80 cm. Assemblaggio del gruppo lama sul piatto e relativo fissaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 20, MOT *K*: LAVORAZIONE DEL GRUPPO MOTORE DEL MODELLO *K*	Prelievo del kit motore del modello *K*: inserimento del collettore marmitta e del diodo per evitare correnti parassite;
FASE 23, PIA+*K*: ASSEMBLAGGIO DEL GRUPPO MOTORE *K* SUL KIT PIATTO-LAMA	Sollevamento del gruppo motore del modello *K* tramite carro-ponte e appoggio della base motore sul kit piatto-lama; successivo fissaggio dell'assieme con viti, rondelle e dadi. Assemblaggio della protezione superiore e inferiore motore *K*;
FASE 25, ADATT: ADATTAMENTO DELL' IMPIANTO ELETTRICO AL MOTORE	Prelievo dell'impianto elettrico e posizionamento sul banco di lavoro: adattamento allo specifico modello;
FASE 26, SERB: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO SERBATOIO	Pre-assemblaggio del gruppo serbatoio: prelievo del serbatoio e assemblaggio tramite viti, rondelle e dadi con la relativa lamiera di supporto. Inserimento delle gomme di protezione e del sensore di livello del carburante;
FASE 27, BATT: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO BATTERIA	Preparazione del componente di supporto batteria; inserimento delle gomme di protezione batteria e dell'indicatore di taglio;
FASE 28, MOT+PIATTO: LAVORAZIONE DEL GRUPPO MOTORE SUL KIT PIATTO-LAMA	Prelievo dell'impianto elettrico precedentemente adattato e inserimento nel gruppo motore. Collegamento del polo della massa e del polo della batteria con il motore;
FASE 29, IMP1: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 1 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede dell'impianto elettrico: inserimento del gruppo resistenza, del gruppo schede e del gruppo condensatore;
FASE 30, IMP2: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 2 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede dell'impianto GPS, inserimento del kit radiocomando;
FASE 31, PIA+TEL: ASSEMBLAGGIO DEL KIT PIATTO SUL GRUPPO TELAIO	Assemblaggio del kit piatto-lama sul kit telaio: fissaggio delle bretelle e del braccio sollevatore piatto con il telaio tramite viti, dadi e rondelle. Inserimento serbatoio e gruppo batteria;

FASE 33, FIN1: FINITURA DELL' IMPIANTO ELETTRICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento dell'impianto elettrico sull'assieme telaio. Collegamento con l'impianto del sub-assemblato motore e con il gruppo batteria;
FASE 34, FIN2: FINITURA DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento dell'impianto GPS e chiusura posteriore del Radiocomandato. Assemblaggio targa e bandelle di protezione posteriori;
FASE 35, SCAR: SCARICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO FINITO	Posa delle etichette e scarico del prodotto Radiocomandato;

Tabella 4.3: descrizione fasi di assemblaggio, modello K

4.2.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *K*:

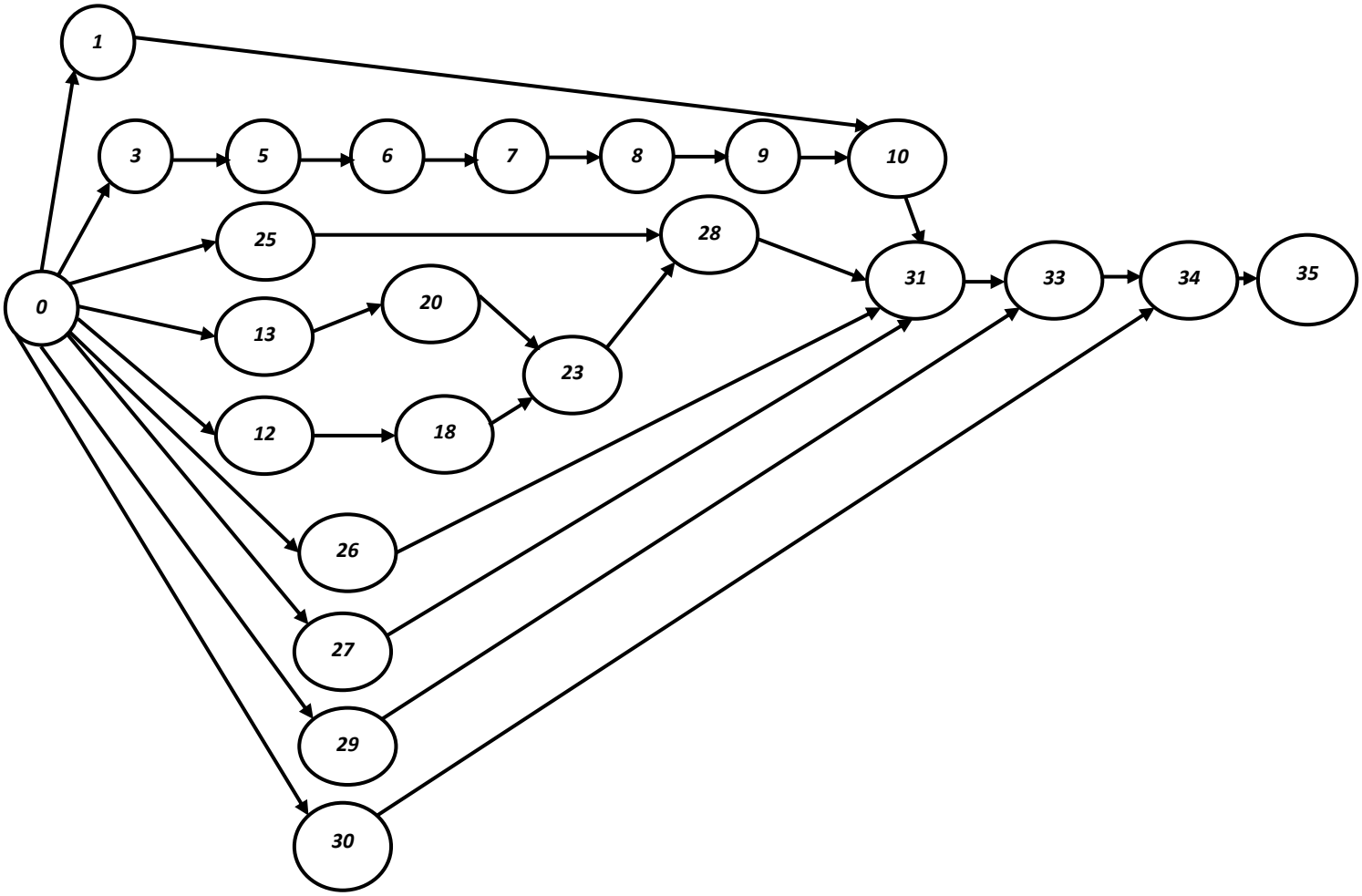

Figura 4.2: Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, modello K

4.2.3 Matrice di Incidenza, Modello *K*:

FASE DI ASSEMBLAGGIO	TASK	0	1	3	5	6	7	8	9	10	12	13	18	20	23	25	26	27	28	29	30	31	33	34	35
Posizionamento del Telaio	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prep. dei Motori Elettrici	1			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. degli attacchi cingolo da 80	3				1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei supporti cingolo da 80	5					1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	6						1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dell'assale motore	7							1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. delle corone dentate	8								1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei cingoli in gomma	9									1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei motori elettrici	10										0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Pre-assemblaggio dei coltelli lama	12											0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Preparazione dell'alternatore	13												0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Preparazione del Piatto da 80 *cm*	18													0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello K	20														1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Ass. gruppo motore K su kit Piatto-lama	23															0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Adatt. Imp. Elettrico al motore	25																0	0	1	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	26																	0	0	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Batteria	27																		0	0	0	1	1	1	1
Lav. gruppo motore su Piatto	28																			0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-ass. 1 Imp. Elettr.	29																				0	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	30																					0	0	1	1
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	31																						1	1	1
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	33																							1	1
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	34																								1
Scarico Radiocomandato finito	35																								

Tabella 4.4: Matrice di Incidenza, modello K

4.3 Assemblaggio del Modello *T*:

4.3.1 Descrizione delle fasi di assemblaggio del Modello *T*: il modello *T* fa riferimento al Radiocomandato rotativo a coltelli, assemblato sull'isola di assemblaggio 2 dall'operatore 5. L'assemblaggio del gruppo telaio è il medesimo del modello *B*, a cui si aggiunge però una ulteriore fase di finitura dell'assieme. L'assemblaggio del kit trincia è caratteristico solamente del modello *T*, al quale va unito lo specifico gruppo motore *T*. Le fasi di finitura e di montaggio dell'impianto elettrico (precedentemente preparato) sono le medesime di quelle incontrate negli altri modelli.

FASE DI ASSEMBLAGGIO	***DESCRIZIONE FASE DI ASSEMBLAGGIO***
FASE 0: POSIZIONAMENTO DEL TELAIO	Posizionamento dell'unità di base telaio sull'apposito cavalletto;

FASE 1, MOT E: PREPARAZIONE DEI MOTORI ELETTRICI	Inserimento sui due motori elettrici della guaina termo-restringente e posa del silicone;
FASE 2, ATT 70: ASSEMBLAGGIO DEGLI ATTACCHI CINGOLO DA 70	Inserimento degli attacchi cingolo da 70 nel telaio e assemblaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 4, SUPP 70: ASSEMBLAGGIO DEI SUPPORTI CINGOLO DA 70	Assemblaggio dei supporti cingolo da 70 sugli attacchi cingolo e fissaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 6, ASS FORC: ASSEMBLAGGIO DELLE FORCELLE TENDI-CINGOLO	Prelievo delle forcelle tendi-cingolo e delle molle con relativo distanziale. Inserimento all'interno del supporto cingolo;
FASE 7, ASS: ASSEMBLAGGIO DELL'ASSALE MOTORE	Prelievo del sub-assemblato portacatene, dei due riduttori e inserimento nel gruppo telaio. Fissaggio con viti, rondelle grower e dadi metalblock;
FASE 8, COR: ASSEMBLAGGIO DELLE CORONE DENTATE	Inserimento delle due corone dentate sui relativi prigionieri e fissaggio con rondelle e dadi;
FASE 9, CING: ASSEMBLAGGIO DEI CINGOLI IN GOMMA	Prelievo dei cingoli in gomma, appoggio e successivo assemblaggio sui supporti cingolo e sulle forcelle tendi-cingolo precedentemente inseriti;
FASE 10, ASS E: ASSEMBLAGGIO DEI MOTORI ELETTRICI	Prelievo dei motori elettrici precedentemente preparati e inserimento degli stessi nel gruppo assale motore. Fissaggio con viti, rondelle schnorr e dadi autobloccanti;
FASE 11, FIN: FINITURA DEL GRUPPO TELAIO	Inserimento nel gruppo telaio dell'indicatore altezza e dei rulli in nylon di protezione. Assemblaggio con viti, rondelle e dadi;
FASE 14, ROT: INSERIMENTO DEL ROTORE ALL'INTERNO DELLA COFANATURA DEL TRINCIA	Inserimento del sub-assemblato rotore con i coltelli a *Y* all'interno della cofanatura del trincia, assemblaggio delle bandelle di protezione;
FASE 15, LAV TR: LAVORAZIONE DELLA COFANATURA DEL TRINCIA	Fissaggio del rotore alla cofanatura del trincia; inserimento del gruppo tendicinghia e dei componenti deputati alla trasmissione del moto;
FASE 16, FIN TR: FINITURA DELLA COFANATURA TRINCIA	Inserimento sulla cofanatura del trincia del braccio di sollevamento e della base motore. Assemblaggio con viti, rondelle e dadi;

FASE 21, LAV *T*: LAVORAZIONE DEL GRUPPO MOTORE DEL MODELLO *T*	Prelievo del gruppo motore del modello *T* e posizionamento sul banco di lavoro. Inserimento del gruppo filtro olio e del sistema di ventilazione;
FASE 24, TR+*T*: ASSEMBLAGGIO DEL GRUPPO MOTORE DEL MODELLO *T* SULLA COFANATURA DEL TRINCIA	Sollevamento del gruppo motore *T* dal banco di lavoro con il carro-ponte e appoggio sulla base motore, fissaggio con viti e dadi. Inserimento dell'impianto elettrico sul gruppo motore;
FASE 26, SERB: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO SERBATOIO	Pre-assemblaggio del gruppo serbatoio: prelievo del serbatoio e assemblaggio con viti, rondelle e dadi con la relativa lamiera di supporto. Inserimento delle gomme di protezione e del sensore di livello del carburante;
FASE 29, IMP1: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 1 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede dell'impianto elettrico: inserimento del gruppo resistenza e del gruppo schede;
FASE 30, IMP2: PREPARAZIONE DEL PRE-ASSEMBLATO 2 DELL'IMPIANTO ELETTRICO	Prelievo e posizionamento sul banco di lavoro della sede dell'impianto GPS, inserimento del kit radiocomando;
FASE 32, TR+TEL: ASSEMBLAGGIO DEL GRUPPO TRINCIA SULL'ASSIEME TELAIO	Assemblaggio del braccio sollevatore trincia al gruppo telaio tramite i perni di sollevamento. Inserimento del sub-assemblato serbatoio;
FASE 33, FIN1: FINITURA DELL'IMPIANTO ELETTRICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento dell'impianto elettrico sull'assieme telaio e relativo collegamento con l'impianto del sub-assemblato motore; inserimento della batteria;
FASE 34, FIN2: FINITURA DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO	Inserimento dell'impianto GPS e chiusura posteriore del Radiocomandato. Assemblaggio della protezione posteriore e del supporto rete;
FASE 35, SCAR: SCARICO DEL PRODOTTO RADIOCOMANDATO FINITO	Posa delle etichette e scarico del prodotto Radiocomandato trincia;

Tabella 4.5: descrizione fasi di assemblaggio, modello T

4.3.2 Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, Modello *T*:

In analogia con quanto fatto per gli altri modelli, si riporta di seguito il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche relativo al modello *T*; presenta sostanziali differenze rispetto ai modelli *B* e *K*, dovute principalmente alla presenza del kit trincia.

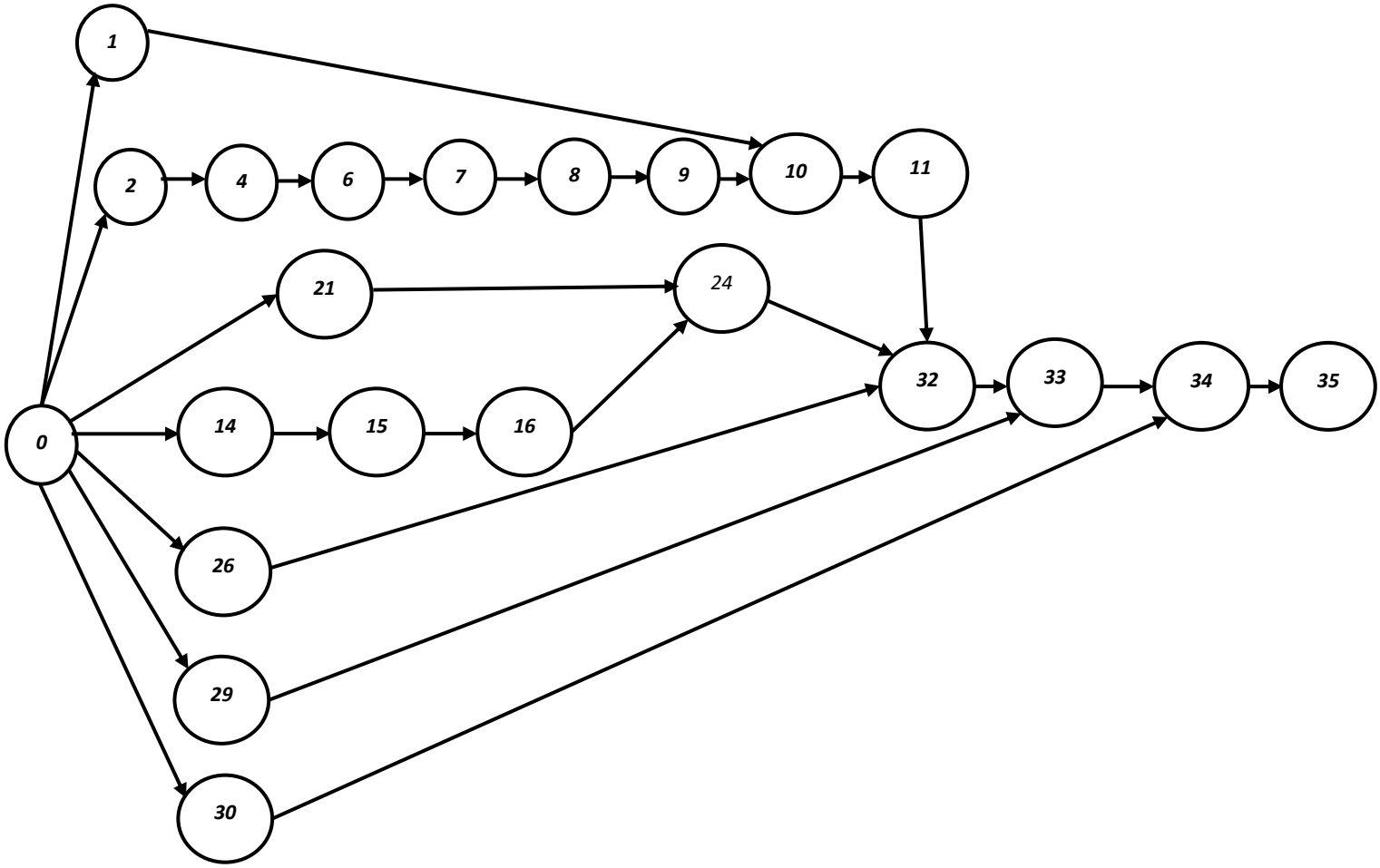

Figura 4.3: Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, modello T

4.3.3 Matrice di Incidenza, Modello *T*:

FASE DI ASSEMBLAGGIO	TASK	0	1	2	4	6	7	8	9	10	11	14	15	16	21	24	26	29	30	32	33	34	35
Posizionamento del Telaio	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prep. Dei Motori Elettrici	1			0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. degli attacchi cingolo da 70	2				1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei supporti cingolo da 70	4					1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	6						1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dell'assale motore	7							1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. delle corone dentate	8								1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei cingoli in gomma	9									1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. dei motori elettrici	10										1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Finitura del gruppo Telaio	11											0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Inser. Rot. nel Trincia	14												1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Lav. Cofanatura Trincia	15													1	0	1	0	0	0	1	1	1	1
Finitura Cofanatura Trincia	16														0	1	0	0	0	1	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello T	21															1	0	0	0	1	1	1	1
Ass. gruppo motore T su kit Trincia	24																0	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	26																	0	0	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	29																		0	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	30																			0	0	1	1
Ass. kit Trincia su gruppo Telaio	32																				1	1	1
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	33																					1	1
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	34																						1
Scarico Radiocomandato finito	35																						

Tabella 4.6: Matrice di Incidenza, modello T

Si riporta infine nella Tabella 4.7 un riepilogo delle diverse fasi di assemblaggio componenti i tre modelli; per ognuna di esse la tabella riporta un valore uguale a 1 nel caso appartenga al modello, 0 in caso contrario.

FASE DI ASSEMBLAGGIO	MODELLO *B*	MODELLO *K*	MODELLO *T*
0) Posizionamento del Telaio	1	1	1
1) Prep. dei Motori Elettrici	1	1	1
2) Ass. degli attacchi cingolo da 70	1	0	1
3) Ass. degli attacchi cingolo da 80	0	1	0
4) Ass. dei supporti cingolo da 70	1	0	1
5) Ass. dei supporti cingolo da 80	0	1	0
6) Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	1	1	1
7) Ass. dell'assale motore	1	1	1
8) Ass. delle corone dentate	1	1	1
9) Ass. dei cingoli in gomma	1	1	1
10) Ass. dei motori elettrici	1	1	1
11) Finitura del gruppo Telaio	0	0	1
12) Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	1	1	0
13) Preparazione dell'alternatore	1	1	0
14) Inser. Rot. nel Trincia	0	0	1
15) Lav. Cofanatura Trincia	0	0	1
16) Finitura Cofanatura Trincia	0	0	1
17) Preparazione del Piatto da 70 cm.	1	0	0
18) Preparazione del Piatto da 80 cm.	0	1	0
19) Lav. del gruppo motore del modello *B*	1	0	0
20) Lav. del gruppo motore del modello *K*	0	1	0
21) Lav. del gruppo motore del modello *T*	0	0	1
22) Ass. gruppo motore *B* su kit piatto-lama	1	0	0
23) Ass. gruppo motore *K* su kit piatto-lama	0	1	0
24) Ass. gruppo motore *T* su kit-trincia	0	0	1
25) Adatt. Imp. Elettrico al motore	1	1	0
26) Prep. Pre-Ass. Serbatoio	1	1	1
27) Prep. Pre-Ass. Batteria	1	1	0
28) Lav. gruppo motore su piatto-lama	1	1	0
29) Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	1	1	1
30) Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	1	1	1
31) Ass. kit piatto sul gruppo telaio	1	1	0
32) Ass. kit-trincia su gruppo telaio	0	0	1
33) Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	1	1	1
34) Ass. seconda parte Imp. Elettr.	1	1	1
35) Scarico Radiocomandato finito	1	1	1

Tabella 4.7: elenco delle fasi di assemblaggio, riepilogate per modello di appartenenza

4.4 Joint Precedence Diagram:

Si riporta di seguito il Joint Precedence Diagram: è un diagramma che riassume la Famiglia di Prodotti Radiocomandati, incorporando al suo interno tutti i Diagrammi delle Precedenze Tecnologiche visti precedentemente. I noti rappresentano tutti i task di assemblaggio sopra descritti, le frecce tutte le precedenze tecnologiche esistenti all'interno dei tre modelli precedentemente presentati.

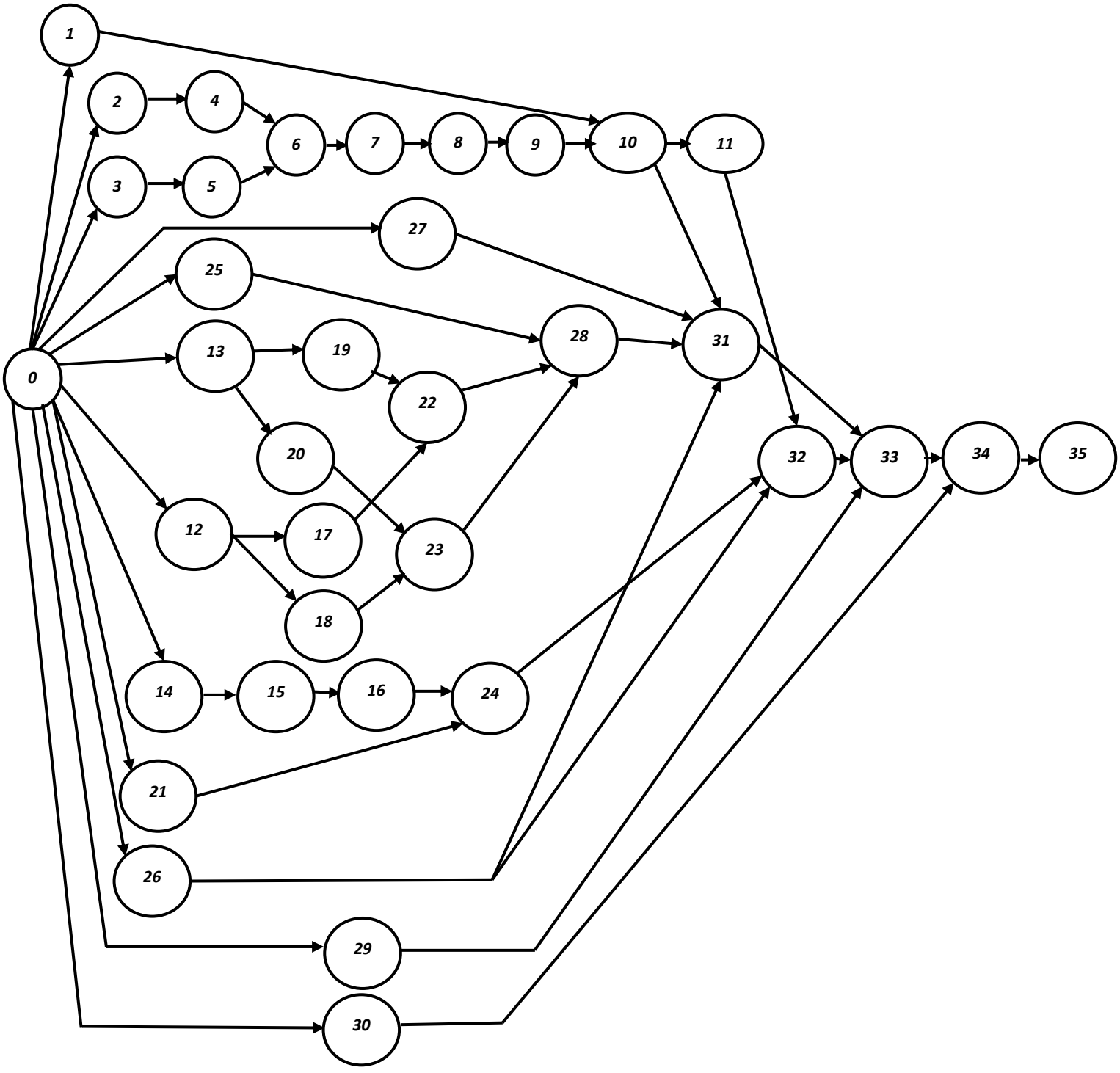

Figura 4.4: Joint Precedence Diagram della Famiglia di Prodotti Radiocomandati

4.5 Joint Incidence Matrix:

Così come fatto per i diversi Diagrammi delle Precedenze Tecnologiche, è possibile riportare le diverse Matrici di Incidenza ad un'unica matrice rappresentante l'intera famiglia di modelli, la Joint Incidence Matrix. Definito a_{ij} il generico valore di cella della Joint Incidence Matrix, si ha:

$$a_{ij} = \begin{cases} = 1, se\ x_{ij} = 1\ in\ almeno\ una\ delle\ Matrici\ di\ Incidenza\ dei\ modelli\ precedenti; \\ = 0, se\ x_{ij} = 0\ in\ tutte\ le\ Matrici\ di\ Incidenza\ dei\ modelli\ precedenti; \end{cases}$$

FASE DI ASSEMBLAGGIO	TASK	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Posizionamento del Telaio	0		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Prep. dei Motori Elettrici	1			0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. degli attacchi cingolo da 70	2				0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. degli attacchi cingolo da 80	3					0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
Ass. dei supporti cingolo da 70	4						0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. dei supporti cingolo da 80	5							1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	6								1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. dell'assale motore	7									1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. delle corone dentate	8										1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. dei cingoli in gomma	9											1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Ass. dei motori elettrici	10												1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Finitura del gruppo Telaio	11													0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	12														0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Preparazione dell'alternatore	13															0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Inser. Rot. nel Trincia	14																1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Lav. Cofanatura Trincia	15																	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Finitura Cofanatura Trincia	16																		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Preparazione del Piatto da 70 cm.	17																			0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Preparazione del Piatto da 80 cm.	18																				0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello B	19																					0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello K	20																						0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Lav. del gruppo motore del modello T	21																							0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Ass. gruppo motore B su kit Piatto-lama	22																								0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Ass. gruppo motore K su kit Piatto-lama	23																									0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Ass. gruppo motore T su kit Trincia	24																										0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
Adatt. Imp. Elettrico al motore	25																											0	0	1	0	0	1	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	26																												0	0	0	0	1	1	1	1	1
Prep. Pre-Ass. Batteria	27																													0	0	0	1	0	1	1	1
Lav. gruppo motore su Piatto	28																														0	0	1	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	29																															0	0	0	1	1	1
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	30																																0	0	0	1	1
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	31																																	0	1	1	1
Ass. kit Trincia su gruppo Telaio	32																																		1	1	1
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	33																																			1	1
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	34																																				1
Scarico Radiocomandato finito	35																																				

Tabella 4.8: Joint Incidence Matrix della Famiglia di Prodotti Radiocomandati

4.6 Fase di Rilevamento Tempi:

Definite le diverse fasi di assemblaggio per i vari prodotti, si è passati alla fase di rilevamento tempi. Il cronometraggio dei diversi task di assemblaggio è servito per ricavare una base dati sulla quale poi andare ad effettuare un bilanciamento del futuro sistema di assemblaggio.

Per la misurazione dei tempi dei diversi task è stato utilizzato il metodo Bedaux, il quale accompagna ad ogni tempo rilevato T_i una efficienza S_i. Nel caso specifico, trattandosi di operatori esperti, valori diversi dell'efficienza S_i non corrispondono tanto a problemi legati alla bravura dell'operatore, ma piuttosto a difficoltà incontrate nel processo di assemblaggio: problemi di qualità o difficoltà intrinseche in una specifica fase di assemblaggio, per esempio, sono tutti fattori che contribuiscono ad abbassare i valori dell'efficienza S_i.

Nel rilevamento dei tempi con il metodo Bedaux si è posto lo speed-rate ottimo uguale a 80, ed è stato effettuato per ogni task di assemblaggio un numero di rilevamenti pari a 5. Tutti i tempi poi sono stati normalizzati ad una Efficienza Standard Bedaux S^*= 80, con il tempo risultante già inclusivo delle necessità fisiologiche degli operatori maschili, pari al 4%; al tempo ricavato è stato sommato un ulteriore 6% (leggera fatica, posizione di lavoro eretta e spostamento di carichi in piano della Tabella 1.1 dei Rest Allowance riferita al metodo Bedaux) fino ad ottenere il tempo t_{j,S^*} relativo al *j*-esimo task.

Si riportano di seguito le formule usate per il calcolo del tempo standard Bedaux, in riferimento al generico *j*-esimo task:

$$t_{j,S^*} = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{t_{ij} * S_i}{S^*}\right) * \frac{1}{n};$$

$$t'_{j,S^*} = t_{j,S^*} * \left(1 + \sum RA_j[\%]\right) * \frac{1}{f_j};$$

4.6.1 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *B*:

DESCR. FASE	FASE DI ASS.	T1	S1	T2	S2	T3	S3	T4	S4	T5	S5	TEMPO NORMALIZZ. *[min.]*	TEMPO ASSOLUTO *[min.]*
Prep. dei Motori Elettrici	MOT E	45	80	53	70	50	70	52	70	32	90	43	46
Ass. degli attacchi cingolo da 70	ATT 70	21	80	29	60	20	80	25	70	17	90	21	22
Ass. dei supporti cingolo da 70	SUPP 70	20	90	29	80	27	80	28	80	33	70	27	29
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	33	80	48	50	30	80	30	80	20	90	29	31
Ass. dell'assale motore	ASS	44	80	40	80	71	40	37	80	39	80	39	41
Ass. delle corone dentate	COR	21	80	22	80	17	85	18	85	20	80	20	21
Ass. dei cingoli in gomma	CING	27	80	28	80	33	70	43	50	28	80	28	29
Ass. dei motori elettrici	ASS E	15	80	14	80	11	90	11	90	18	60	13	14
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	LAMA	5	80	8	60	5	80	6	80	5	80	5	6
Preparazione dell'alternatore	ALT	20	80	18	80	14	90	16	85	20	80	18	19
Preparazione del Piatto da 70 cm.	PIA 70	86	80	88	80	80	80	98	60	85	80	83	87
Lav. del gruppo motore del modello *B*	MOT B	74	80	53	80	60	70	65	65	55	80	57	61
Ass. gruppo motore B su kit Piatto-lama	PIA+B	60	80	65	80	63	80	70	70	67	75	62	66
Adatt. Imp. Elettrico al motore	ADATT	45	80	47	80	60	65	55	70	49	80	48	50
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	40	80	60	60	60	60	45	75	52	70	44	46
Prep. Pre-Ass. Batteria	BATT	30	80	32	80	25	90	29	80	28	80	29	31
Lav. gruppo motore su Piatto	MOT+PIA	70	80	73	80	80	70	69	80	70	80	70	75
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	40	80	45	80	41	80	50	70	39	80	42	44
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	41	80	41	80	44	80	45	80	52	70	43	46
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	PIA+TEL	200	70	170	80	175	80	205	70	190	75	176	186
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	80	80	79	80	74	80	55	90	85	75	75	79
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	53	80	72	60	52	80	56	75	51	80	53	56
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	10	80	11	80	10	80	12	75	10	80	10	11

Tabella 4.9: Rilevamento tempi di assemblaggio, modello B

4.6.2 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *K*:

DESCR. FASE	FASE DI ASS.	T1	S1	T2	S2	T3	S3	T4	S4	T5	S5	TEMPO NORMALIZZ. *[min.]*	TEMPO ASSOLUTO *[min.]*
Prep. dei Motori Elettrici	MOT E	44	80	50	70	55	65	51	70	35	90	43	46
Ass. degli attacchi cingolo da 80	ATT 80	23	80	16	90	17	90	30	60	26	80	22	23
Ass. dei supporti cingolo da 80	SUPP 80	27	80	35	60	28	80	31	70	23	85	27	28
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	34	80	50	50	33	80	31	80	22	90	31	33
Ass. dell'assale motore	ASS	44	80	40	80	71	40	37	80	39	80	39	41
Ass. delle corone dentate	COR	19	80	21	80	16	85	18	85	20	80	19	20
Ass. dei cingoli in gomma	CING	28	80	28	80	31	70	44	50	28	80	28	29
Ass. dei motori elettrici	ASS E	14	80	13	80	14	80	11	85	16	80	14	15
Pre-assemblaggio dei coltelli lama	LAMA	5	80	5	80	6	80	7	75	5	80	6	6
Preparazione dell'alternatore	ALT	18	80	18	80	13	90	23	75	20	80	18	20
Preparazione del Piatto da 80 cm.	PIA 80	85	80	90	65	70	90	81	80	86	80	81	86
Lav. del gruppo motore del modello *K*	MOT K	60	80	63	80	54	85	70	70	73	70	61	65
Ass. gruppo motore K su kit Piatto-lama	PIA + K	75	80	75	80	82	75	80	75	90	60	74	78
Adatt. Imp. Elettrico al motore	ADATT	45	80	47	80	60	65	55	70	49	80	48	50
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	39	80	42	75	60	60	60	60	54	70	43	46
Prep. Pre-Ass. Batteria	BATT	32	80	32	80	27	85	31	80	28	85	31	33
Lav. gruppo motore su Piatto	PIA+MOT	70	80	73	80	80	70	69	80	70	80	70	75
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	40	80	46	80	42	80	47	70	39	80	42	44
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	41	80	41	80	44	80	45	80	52	70	43	46
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	PIA+TEL	202	70	174	80	175	80	205	70	190	75	177	187
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	81	80	79	80	74	80	55	90	85	75	75	80
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	53	80	72	60	52	80	56	75	51	80	53	56
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	10	80	12	80	8	85	13	80	11	80	11	12

Tabella 4.10: Rilevamento tempi di assemblaggio, modello K

4.6.3 Rilevamento tempi di assemblaggio, Modello *T*:

DESCR. FASE	FASE DI ASS.	T1	S1	T2	S2	T3	S3	T4	S4	T5	S5	TEMPO NORMALIZZ. *[min.]*	TEMPO ASSOLUTO *[min.]*
Prep. Dei Motori Elettrici	MOT E	43	80	53	70	51	70	52	70	30	90	43	45
Ass. degli attacchi cingolo da 70	ATT 70	20	80	31	60	20	80	16	90	22	80	21	22
Ass. dei supporti cingolo da 70	SUPP 70	20	90	29	80	27	80	28	80	33	70	27	29
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	46	50	34	80	32	80	30	80	20	90	29	31
Ass. dell'assale motore	ASS	72	40	40	80	39	80	37	80	41	80	39	41
Ass. delle corone dentate	COR	21	80	23	80	18	85	18	85	20	80	20	22
Ass. dei cingoli in gomma	CING	27	80	28	80	33	70	43	50	28	80	28	29
Ass. dei motori elettrici	ASS E	15	80	11	90	11	90	16	80	18	75	15	15
Finitura del gruppo Telaio	FIN	7	90	7	90	14	80	12	80	13	80	11	12
Inser. Rot. nel Trincia	ROT	31	80	28	80	26	85	31	80	30	80	30	31
Lav. Cofanatura Trincia	LAV TR	41	80	62	60	63	60	45	80	40	80	44	47
Finitura Cofanatura Trincia	FIN TR	40	80	46	80	40	80	31	90	34	85	39	42
Lav. del gruppo motore del modello *T*	MOT T	65	80	70	80	70	80	72	80	68	80	69	73
Ass. gruppo motore *T* su kit Trincia	TR+T	47	80	35	90	51	80	50	80	60	65	47	50
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	40	80	60	60	60	60	45	75	52	70	44	46
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	42	80	37	90	48	70	50	70	41	80	42	45
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	41	80	41	80	44	80	45	80	52	70	43	46
Ass. kit Trincia su gruppo Telaio	TR+TEL	142	80	148	80	129	85	150	75	160	70	142	150
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	80	80	79	80	74	80	84	75	54	90	75	79
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	54	80	70	60	52	80	56	75	44	90	52	55
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	11	80	14	75	10	80	15	65	11	80	11	12

Tabella 4.11: Rilevamento tempi di assemblaggio, modello T

4.7 Virtual Average Model (*VAM*):

Le Tabelle 4.9, 4.10 e 4.11 riportano i tempi rilevati in riferimento allo specifico modello in esame. Tuttavia, per poter bilanciare un sistema di assemblaggio rappresentativo di tutti i modelli, i tempi devono essere calcolati in funzione del mix produttivo desiderato. Fasi di assemblaggio che vengono svolte su uno o pochi prodotti hanno infatti un "peso" minore rispetto a quei task che sono presenti su tutti i modelli. Quello che solitamente viene fatto è dunque ricondursi al cosiddetto Virtual Average Model o *VAM*, ovvero un Modello Medio Virtuale in grado di rappresentare tutta la famiglia di prodotti; di solito il modello *VAM* non esiste nella realtà, al più coincide con il prodotto più complicato costruito nel sistema di assemblaggio.

A partire dall'analisi dei dati storici dell'azienda relativi al 2˙019 e in accordo con il responsabile della gestione della produzione, per la nuova linea di assemblaggio dei prodotti Radiocomandati si è deciso di implementare un mix produttivo pari al 20% per il modello *B* e del 50% per il modello *K*, quest'ultima di gran lunga la tipologia più venduta.

Per quanto riguarda il modello *T*, le inefficienze del sistema non permettono di soddisfare totalmente le richieste del mercato e quindi al momento dell'analisi il modello pesa solo per circa il 15% sull'intero mix produttivo. Il nuovo sistema di assemblaggio, puntando ad incrementare la produttività del modello *T*, vuole dedicare a quest'ultimo il restante 30% della produzione della linea.

TIPOLOGIA DI MODELLO	*MIX PRODUTTIVO RICHIESTO*
MODELLO *B*	***20%***
MODELLO *K*	***50%***
MODELLO *T*	***30%***

Tabella 4.12: Mix produttivo del sistema di assemblaggio prodotti Radiocomandati

I tempi dei singoli task vengono quindi "pesati" sul mix produttivo dell'intero insieme di modelli *M*, arrivando a calcolare il tempo $t'_{j,VAM}$ del *j*-esimo task del Virtual Average Model.

$$t'_{j\,VAM} = \frac{\sum_{m=1}^{M} t'_{j,S^{*}} * d_m}{\sum_{m=1}^{M} d_m};$$

DESCR. FASE	FASE DI ASS.	t MODELLO B *[min.]* 20%	t MODELLO K *[min.]* 50%	t MODELLO T *[min.]* 30%	t VAM *[min.]*
Prep. dei Motori Elettrici	MOT E	46	46	45	45,7
Ass. degli attacchi cingolo da 70	ATT 70	22	0	22	11
Ass. degli attacchi cingolo da 80	ATT 80	0	23	0	11,5
Ass. dei supporti cingolo da 70	SUPP 70	29	0	29	14,5
Ass. dei supporti cingolo da 80	SUPP 80	0	28	0	14
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	31	33	31	32
Ass. dell'assale motore	ASS	41	41	41	41
Ass. delle corone dentate	COR	21	20	22	20,8
Ass. dei cingoli in gomma	CING	29	29	29	29
Ass. dei motori elettrici	ASS E	14	15	15	14,8
Finitura del gruppo Telaio	FIN	0	0	12	3,6
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	LAMA	6	6	0	4,2
Preparazione dell'alternatore	ALT	19	20	0	13,8
Inser. Rot. nel Trincia	ROT	0	0	31	9,3
Lav. Cofanatura Trincia	LAV TR	0	0	47	14,1
Finitura Cofanatura Trincia	FIN TR	0	0	42	12,6
Preparazione del Piatto da 70 cm.	PIA 70	87	0	0	17,4
Preparazione del Piatto da 80 cm.	PIA 80	0	86	0	43
Lav. del gruppo motore del modello *B*	MOT B	61	0	0	12,2
Lav. del gruppo motore del modello *K*	MOT K	0	65	0	32,5
Lav. del gruppo motore del modello *T*	MOT T	0	0	73	21,9
Ass. gruppo motore *B* su kit Piatto-lama	PIA+B	66	0	0	13,2
Ass. gruppo motore *K* su kit Piatto-lama	PIA+K	0	78	0	39
Ass. gruppo motore *T* su kit-trincia	TR+T	0	0	50	15
Adatt. Imp. Elettrico al motore	ADATT	50	50	0	35
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	46	46	46	46
Prep. Pre-Ass. Batteria	BATT	31	33	0	22,7
Lav. gruppo motore su Piatto	MOT+PIA	75	75	0	52,5
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	44	44	45	44,3
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	46	46	46	46
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	PIA+TEL	186	187	0	130,7
Ass. kit Trincia su gruppo Telaio	TR+TEL	0	0	150	45
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	79	80	79	79,5
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	56	56	55	55,7
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	11	12	12	11,8

Tabella 4.13: tempi del Virtual Average Model, Famiglia di Prodotti Radiocomandati

4.8 Bilanciamento del Sistema di Assemblaggio:

A partire dai tempi di assemblaggio del Virtual Average Model, si è provveduto a bilanciare la linea produttiva che dovrà provare a garantire il mix di prodotti assemblati desiderato. Il bilanciamento consiste nell'assegnare i vari task ai diversi operatori/stazioni, cercando di rispettare un certo tempo ciclo T_C impostato; un Assembly Line Balancing Problem agisce dunque sulle variabili *K* numero di stazioni e tempo ciclo T_C, cercando di andarle a minimizzare.

In particolare, il nuovo sistema di assemblaggio vuole cercare di incrementare la propria produttività rispetto ai due sistemi precedentemente separati. Il problema che si pone è quello di risolvere un *SALBP-F* (Single Assembly Line Balancing Problem-Feasibility, facendo riferimento al Modello Medio Virtuale), ovvero studiare una fattibilità del nuovo sistema: con un numero delle stazioni *K* noto e una produttività richiesta *Q [pz/gg]*, il sistema cerca di trovare un bilanciamento che sia applicabile date le due variabili in ingresso.

4.8.1 Dati di input al Sistema e Rough Cut Capacity Planning:

A partire dalle analisi dell'Ufficio Commerciale e dalle opinioni raccolte dalla rete di distribuzione, è stata stimata come soddisfacente una produttività giornaliera di due prodotti Radiocomandati al giorno. Data la produttività *Q [pz/gg]*, è possibile calcolare il tempo ciclo T_C *[min/pz]*, ovvero ogni quanto tempo deve uscire un prodotto Radiocomandato completo dal sistema di assemblaggio.

Si effettuano i calcoli della produttività della linea di assemblaggio sulla base dei seguenti dati:

PRODUTTIVITA' RICHIESTA *Q* *[pz/gg]*	**2 *[pz/gg]***
TEMPO LAVORATIVO GIORNALIERO A DISPOSIZIONE *[min]*	**495 *min*., con 15 *min.* di pausa**
STAZIONI/ RISORSE UMANE DISPONIBILI AL SISTEMA	**4+1**
GIORNI LAVORATIVI E FERMO PRODUZIONE *[gg/anno]*	**Lun.-ven., chiusura ad agosto e nel periodo natalizio. Giorni lavorativi stimati pari a circa 220 *[gg/anno]***

Tabella 4.14: dati di input del sistema di assemblaggio prodotti Radiocomandati

Dalla quantità produttiva desiderata *Q [pz/gg]* si calcola il tempo ciclo T_C *[min/pz]* del nuovo sistema di assemblaggio:

$$T_C\ \left[\frac{min}{pz}\right] = \frac{1}{Q[\frac{pz}{gg}]} = \frac{8\left[\frac{h}{gg}\right]*60[\frac{min}{h}]}{2[\frac{pz}{gg}]} \rightarrow T_C = 240\ \left[\frac{min}{pz}\right];$$

Inoltre, è necessario calcolare il numero minimo teorico di stazioni $K^*_{\min\, teorico}$, necessario a garantire la produttività richiesta:

$$Tempo\ di\ Assemblaggio\ Totale = \sum_{j=1}^{n} t'_{j\ VAM} = 1{\cdot}055\ \left[\frac{min}{pz}\right];$$

$$K^*_{\min\, teorico} = \left\lceil \frac{Tempo\ di\ Assemblaggio\ Totale\ [\frac{min}{pz}]}{Tempo\ Ciclo\ [\frac{min}{pz}]} \right\rceil = \left\lceil \frac{1{\cdot}055[\frac{min}{pz}]}{240[\frac{min}{pz}]} \right\rceil = \lceil 4{,}3958 \rceil = 5;$$

Il numero minimo teorico di risorse necessarie risulta essere pari a cinque ovvero, con un numero minore di stazioni, non è possibile garantire la produttività richiesta.

Si tratta tuttavia di un numero ideale, calcolato come se non fosse presente nessuna perdita di efficienza da parte delle risorse coinvolte nell'assemblaggio e in ciò che sta loro attorno. Bisogna quindi tenere conto di opportuni coefficienti correttivi che inglobano al loro interno delle inefficienze presenti in linea; si definiscono in particolare:

- $\boldsymbol{K_{OP}}$: coefficiente di rendimento dell'operatore umano. Si tratta di un coefficiente che tiene conto della velocità, della precisione e del know-how dell'operatore coinvolto nel ciclo di assemblaggio;
- $\boldsymbol{K_{ABS}}$: coefficiente di assenza dell'operatore umano, è un coefficiente che tiene conto del tasso di assenteismo;
- $\boldsymbol{K_{TL}}$: coefficiente legato alle inefficienze della linea di assemblaggio. Fattori come il training di un nuovo operatore, i tempi in attesa dei pezzi mancanti e le rilavorazioni dovute alla bassa qualità delle parti vanno tutti ad incidere sulla produttività teorica del sistema;

L'analisi degli operatori durante la definizione del ciclo di assemblaggio ha portato a stimare i coefficienti *K* con valori tutti al di sopra del 90%, in particolare:

COEFFICIENTE DI RENDIMENTO [%]	
Rendimento dell'operatore umano: K_{OP}	***98%***
Tasso di assenteismo: K_{ABS}	***97%***
Perdite di tempo e di qualità: K_{TL}	***95%***

Tabella 4.15: Rough Cut Capacity Planning, coefficienti correttivi

Il numero di risorse reali per il sistema di assemblaggio è quindi dato da:

$$K^*_{\min\, reale} = \left\lceil K^*_{\min\, teorico} * \frac{1}{(K_{OP} * K_{ABS} * K_{TL})} \right\rceil = \left\lceil 4{,}3958 * \frac{1}{(0{,}98 * 0{,}97 * 0{,}95)} \right\rceil = \lceil 4{,}867 \rceil;$$

Dunque, il numero delle risorse minime necessarie per garantire la produttività richiesta risulta essere pari a cinque persone; la differenza fra il valore teorico e quello reale consiste in "mezza" risorsa: le inefficienze fanno aumentare il numero delle risorse coinvolte nell'assemblaggio per riuscire a garantire la produttività desiderata.

Noti quindi il tempo ciclo T_C *[min/pz]* e il numero minimo di stazioni *K* necessarie ad assemblare il prodotto, si provvede ad assegnare le attività alle risorse cercando di risolvere il problema di tipo *SALBP-F* precedentemente definito (sempre in riferimento al *VAM*). Per ogni metodo di bilanciamento applicato si crea una tabella: all'interno della stessa è specificata la stazione alla quale si stanno assegnando le attività, la lista dei task disponibili per essere assegnati alla stazione secondo il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche, il task assegnato alla stazione secondo uno specifico criterio previsto dal metodo di bilanciamento e infine il tempo rimanente alla stazione dopo l'assegnazione del *j*-esimo task. Quando non è più possibile assegnare alla stazione dei task senza superare il tempo ciclo, si chiude la stazione e si provvede ad assegnare le attività alla risorsa seguente. Se la risorsa poi non risulta essere completamente saturata, la stazione presenta un tempo di ozio che deve essere tenuto in considerazione.

4.8.2 Metodo di Bilanciamento per tentativi:

Il bilanciamento per tentativi non segue una vera e propria regola di assegnazione. Gli unici vincoli che esso pone riguardano il rispetto del tempo ciclo T_C *[min/pz]* e delle precedenze tecnologiche fornite dal Joint Precedence Diagram.

STAZIONE	AVAILABLE TASK	TASK ASS.	TEMPO RIMANENTE *[min.]*	TEMPO OZIO *[min.]*
1	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT E	194,3	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 70	183,3	
	SUPP 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 80	171,8	
	SUPP 70, SUPP 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SUPP 70	157,3	
	SUPP 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SUPP 80	143,3	
	FORC, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	FORC	111,3	
	ASS, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ASS	70,3	
	COR, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	COR	49,5	
	CING, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	CING	20,5	
	ASS E, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ASS E	5,7	
	FIN, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	FIN	2,1	2,1
2	LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ALT	226,2	
	LAMA, MOT B, MOT K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT B	214	
	LAMA, MOT K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT K	181,5	
	LAMA, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT T	159,6	
	LAMA, ROT, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SERB	113,6	
	LAMA, ROT, ADATT, BATT, IMP1, IMP2	BATT	90,9	
	LAMA, ROT, ADATT, IMP1, IMP2	ADATT	55,9	55,9
3	LAMA, ROT, IMP1, IMP2	LAMA	235,8	
	PIA 70, PIA 80, ROT, IMP1, IMP2	PIA 70	218,4	
	PIA 80, PIA•B, ROT, IMP1, IMP2	PIA 80	175,4	
	PIA•B, PIA•K, ROT, IMP1, IMP2	ROT	166,1	
	PIA•B, PIA•K, LAV TR, IMP1, IMP2	LAV TR	152	
	PIA•B, PIA•K, FIN TR, IMP1, IMP2	FIN TR	139,4	
	PIA•B, PIA•K, TR•T, IMP1, IMP2	PIA•B	126,2	
	PIA•K, TR•T, IMP1, IMP2	PIA•K	87,2	
	TR•T, MOT•PIA, IMP1, IMP2	MOT•PIA	34,7	
	TR•T, PIA•TEL, IMP1, IMP2	TR•T	19,7	19,7
4	PIA•TEL, TR•TEL, IMP1, IMP2	PIA•TEL	109,3	
	TR•TEL, IMP1, IMP2	TR•TEL	64,3	64,3
5	IMP1, IMP2	IMP1	195,7	
	IMP2, FIN1	IMP2	149,7	
	FIN1	FIN1	70,2	
	FIN2	FIN2	14,5	
	SCAR	SCAR	2,7	2,7

Tabella 4.16: bilanciamento del sistema di assemblaggio, metodo per tentativi

Nell'applicazione del bilanciamento per tentativi, si è deciso di proseguire sulla falsa riga della suddivisione per attività già presente in azienda, andando a lavorare sulle criticità che si erano riscontrate nella mappatura del ciclo di assemblaggio. Il bilanciamento rispetta il tempo ciclo in tutte le stazioni e il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche.

- **Stazione 1:** si occupa del gruppo funzionale telaio: inserimento degli attacchi e dei supporti cingolo, assemblaggio delle forcelle tendi-cingolo, inserimento del pre-assemblato assale motore, delle corone dentate e dei cingoli. Completa infine lo svolgimento dei propri task assemblando i motori elettrici precedentemente preparati. La stazione presenta un'efficienza del 99,1%, (è carica per 238 minuti sui 240 minuti disponibili), valore che probabilmente è troppo elevato e non consente di poter far fronte alla variabilità che potrebbe intervenire nel sistema.

- **Stazione 2:** la seconda stazione si occupa dei gruppi motore dei prodotti Radiocomandati. Prepara infatti i motori per il modello *B* e il modello *K*, ai quali si accompagna la preparazione preliminare dell'alternatore. Il motore *T* invece, che non necessita della preparazione anticipata del sistema statore + rotore, viene assemblato solo per lo specifico modello *T*. Alla preparazione dei gruppi motore segue poi la preparazione dei sub-assemblati serbatoio, batteria e all'adattamento, ove necessario, dell'impianto elettrico al motore. La stazione presenta una efficienza del 76,7% (ha circa un'ora disponibile per far fronte alla variabilità presente nei task);
- **Stazione 3:** nella nuova configurazione della linea si occupa della lavorazione del piatto-lama e della cofanatura del trincia: provvede a preparare il piatto-lama della larghezza di taglio specifica o, in alternativa, la cofanatura del trincia nel caso sia in produzione il modello *T*. A valle di questo, prosegue con l'assemblaggio dei motori provenienti dalla seconda stazione sul piatto-lama o sulla cofanatura trincia, secondo il prodotto previsto dal mix. Infine, l'attività all'interno della stazione termina con l'assemblaggio dell'impianto elettrico sullo specifico gruppo motore del modello. La risorsa presenta una efficienza del 91,79%;
- **Stazione 4:** nella configurazione a 4 stazioni dell'isola di assemblaggio 1 rappresentava la risorsa critica, poiché troppo caricata e non in grado di garantire una adeguata efficienza al precedente sistema. Si è provveduto ad assegnare i pre-assemblati serbatoio e batteria alla seconda stazione; inoltre, l'assemblaggio dell'impianto elettrico sul gruppo motore adesso viene svolto dall'operatore della terza stazione. Nella quarta postazione viene perciò svolto solamente l'assemblaggio del kit piatto-lama o del kit trincia sul telaio, attività che occupa la maggior parte del tempo ciclo a disposizione dell'operatore. La stazione presenta una efficienza del 72,2% (anche in questo caso ha circa un'ora di tempo per assorbire le variabilità presenti);
- **Stazione 5:** si occupa della preparazione dell'impianto elettrico che va assemblato sul prodotto Radiocomandato: assemblaggio delle schede dell'impianto, dei fusibili, del condensatore e dei vari collegamenti elettrici. Provvede poi al montaggio del pre-assemblato impianto e allo scarico del prodotto finito

Radiocomandato. La stazione di assemblaggio finale presenta una efficienza del 98,87%;

Possibile soluzione all'Overload della Stazione 1: si è appena visto che i task assegnati alla stazione 1 potrebbero essere critici, poichè saturano la risorsa quasi al 100%. Una possibile soluzione che potrebbe essere adottata in futuro è affidare la preparazione dei motori elettrici in outsourcing, a fronte di un incremento minimo del prezzo di acquisto. Ciò abbasserebbe l'efficienza della stazione 1 ad un valore più che accettabile di circa l'80%, lasciando così del tempo all'operatore per far fronte alle variabilità presenti nel sistema. È una soluzione da considerare anche negli altri bilanciamenti.

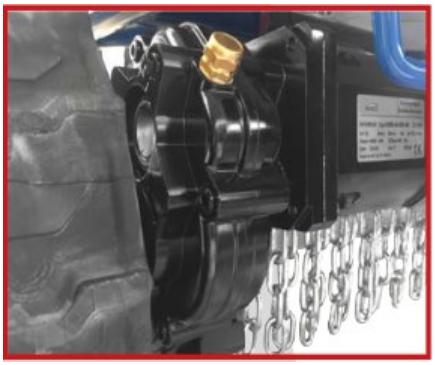

Figura 4.5: particolare del motore elettrico e del riduttore assemblati [www.barbierisrl.com]

4.8.3 Indici di Bilanciamento del metodo per tentativi:

Una volta effettuato il bilanciamento per il modello *VAM*, è necessario ricondurre le valutazioni fatte ai singoli modelli, quelli che vanno a comporre la linea di prodotti Radiocomandati. La valutazione dei tempi relativi all'assemblaggio dei singoli modelli consente di evidenziarne i tempi di ozio, di work-overload, i carichi di lavoro delle stazioni e le possibili criticità della linea; a partire da questi fattori, è possibile calcolare i principali Indici di Bilanciamento riferiti al sistema di assemblaggio (Paragrafo 1.8). Si definiscono:

- $\boldsymbol{\tau_{mk}}$ **= carico unitario della stazione *[min]*:** rappresenta il tempo in minuti impiegato dalla stazione *K*-esima per lo svolgimento delle attività assegnatele, riferite allo specifico modello *m*-esimo. Per certe stazioni e per certi modelli esso può superare il tempo ciclo, per altri modelli invece può essere inferiore. Da ciò emerge la fondamentale funzione del *VAM*, quella di garantire un sistema di assemblaggio che sia bilanciato sul mix produttivo nel lungo periodo;
- $\boldsymbol{\tau'_{mk}}$**= carico totale della stazione *[min]*:** rappresenta il carico di lavoro totale attribuito alla stazione per la produzione di un certo prodotto; è dato dal carico unitario τ_{mk} moltiplicato per la domanda in pezzi d_m riferita allo specifico modello *m*-esimo;

- $\boldsymbol{\tau_m = \frac{\sum_{k=1}^{K} \tau_{mk}}{K}}$ **=carico medio *[min]*:** rappresenta il carico medio di lavoro per ogni stazione, relativamente ad uno specifico modello;

Infine, tutte le tabelle rappresentanti i carichi di lavoro delle stazioni (unitari e totali) e gli indici di livellamento delle stazioni (all'interno della stazione e fra stazioni differenti) fanno riferimento alla produzione nel periodo di tempo considerato di 2 prodotti Radiocomandati per il modello *B*, 5 per il modello *K* e 3 per il modello *T*.

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		CARICO MEDIO *[min.]*
MODELLO	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	
Modello *B*	233	466	207	414	234	468	186	372	236	472	219
Modello *K*	235	1175	214	1070	245	1225	187	935	238	1190	224
Modello *T*	246	738	119	357	170	510	150	450	237	711	184
TEMPO DI LAVORO MEDIO *[min.]*	238	2380	184,1	1841	220	2200	176	1760	237	2370	

Tabella 4.17: carichi di lavoro unitari e totali, metodo di bilanciamento per tentativi

La Tabella 4.17 indica che il ritmo al quale si devono adeguare tutte le altre risorse è dettato dalla stazione 1 la quale, nonostante rispetti il tempo ciclo, rappresenta il collo di bottiglia del sistema di assemblaggio con 238 minuti come carico di lavoro.

A partire dai carichi assegnate alle stazioni, si vanno a calcolare i tempi di ozio e di work-overload riferiti alla *K*-esima stazione nell'assemblaggio del modello *m*-esimo:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*	
MODELLO	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload
Modello *B*	5	0	31	0	4	0	52	0	2	0
Modello *K*	3	0	24	0	0	7	51	0	0	0
Modello *T*	0	8	119	0	68	0	88	0	1	0

Tabella 4.18: tempi di Ozio e di Work-Overload, metodo di bilanciamento per tentativi

I principali Indici di Performance riferiti all'ozio, al work-overload e all'efficienza del sistema di assemblaggio sono dati da:

- ***Ozio Totale del sistema:*** $\varphi_1 = 448\ [min.]$;
- ***Ozio massimo del sistema:*** $\varphi_2 = 119\ [min.]$;
- ***Work-Overload totale del sistema:*** $\varphi_3 = 15\ [min.]$;
- ***Work-Overload massimo del sistema:*** $\varphi_4 = 8\ [min.]$;

- ***Efficienza del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_5 = \frac{238 + 184 + 220 + 176 + 237}{(238 * 5)} = 88{,}65\ [\%];$$

Per quanto riguarda invece gli Indici di Bilanciamento fra le stazioni e all'interno della singola stazione, pesati e no, si ha:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		SMOOTH. BETWEEN STAT. *[min.]*
MODELLO	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	
Modello B	14	5	12	23	15	14	33	10	17	1	91
Modello K	11	3	10	30	21	25	37	11	14	1	93
Modello T	62	8	65	65	14	50	34	26	53	0	228
SMOOTH. WITHIN STATION *[min.]*		16		118		89		47		2	
SMOOTH. WITHIN STAT. WEIGHTED *[min.]*		4,9		39,06		30,3		15,3		0,7	

Tabella 4.19: Smoothness Index Between e Within Stations, metodo di bilanciamento per tentativi

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni***: $\varphi_6 = 91 + 93 + 228 = 412\ [min.]$;
- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni pesato:***

$$\varphi_7 = \frac{(91 * 2) + (93 * 5) + (228 * 3)}{10} = 133\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni:***

$$\varphi_8 = 16 + 118 + 89 + 47 + 2 = 272\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni pesato:***

$$\varphi_9 = 4{,}9 + 39{,}06 + 30{,}3 + 15{,}3 + 0{,}7 = 90{,}2\ [min.];$$

4.8.4 Euristico di Bilanciamento Largest Candidate Rule (*LCR*):

Si tratta di un euristico che cerca di trovare una soluzione fattibile nell'intorno dell'ottimo. Il metodo prevede di ordinare i tempi dei task relativi al *VAM* in ordine decrescente e di assegnarli via via alla stazione in considerazione. Come nel bilanciamento per tentativi, anche in questo caso gli unici vincoli sono dati dal rispetto del tempo ciclo T_C *[min/pz]* e delle precedenze tecnologiche date dal Joint Precedence Diagram.

DESCRIZIONE FASE	FASE DI ASS.	t VAM *[min.]*
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	PIA+TEL	130,7
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	79,5
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	55,7
Lav. gruppo motore su Piatto	MOT+PIA	52,5
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	46
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	46
Prep. dei Motori Elettrici	MOT E	45,7
Ass. gruppo motore T su kit Trincia	TR+TEL	45
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	44,3
Preparazione del Piatto da 80 *cm.*	PIA 80	43
Ass. dell'assale motore	ASS	41
Ass. gruppo motore B su kit Piatto-lama	PIA+K	39
Adatt. Imp. Elettrico al motore	ADATT	35
Lav. del gruppo motore del modello *K*	MOT K	32,5
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	32
Ass. dei cingoli in gomma	CING	29
Prep- Pre-Ass. Batteria	BATT	22,7
Lav. del gruppo motore del modello *T*	MOT T	21,9
Ass. delle corone dentate	COR	20,8
Preparazione del Piatto da 70 *cm.*	PIA 70	17,4
Ass. gruppo motore *T* su kit Trincia	TR+T	15
Ass. dei motori elettrici	ASS E	14,8
Ass. dei supporti cingolo da 70	SUPP 70	14,4
Lav. Cofanatura Trincia	LAV TR	14,1
Ass. dei supporti cingolo da 80	SUPP 80	14
Preparazione dell'alternatore	ALT	13,8
Ass. gruppo motore B su kit Piatto-lama	PIA+B	13,2
Finitura Cofanatura Trincia	FIN TR	12,6
Lav. del gruppo motore del modello *B*	MOT B	12,2
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	11,8
Ass. degli attacchi cingolo da 80	ATT 80	11,5
Ass. degli attacchi cingolo da 70	ATT 70	11
Inser. Rot. nel Trincia	ROT	9,3
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	LAMA	4,2
Finitura del gruppo Telaio	FIN	3,6

Tabella 4.20: ordinamento dei tempi VAM in ordine decrescente, metodo LCR

STAZIONE	AVAILABLE TASK	TASK ASS.	TEMPO RIMANENTE *(min.)*	TEMPO OZIO *(min.)*
1	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SERB	194	
	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, BATT, IMP1, IMP2	IMP2	148	
	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, BATT, IMP1	MOT E	102,3	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, BATT, IMP1	IMP1	58	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, BATT	ADATT	23	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, BATT	BATT	0,3	0,3
2	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T	MOT T	218,1	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT	ALT	204,3	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, MOT B, MOT K, ROT	MOT K	171,8	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, MOT B, ROT	MOT B	159,6	
	ATT 70, ATT 80, LAMA, ROT	ATT 80	148,1	
	ATT 70, SUPP 80, LAMA, ROT	SUPP 80	134,1	
	ATT 70, LAMA, ROT	ATT 70	123,1	
	SUPP 70, LAMA, ROT	SUPP 70	108,6	
	FORC, LAMA, ROT	FORC	76,6	
	ASS, LAMA, ROT	ASS	35,6	
	COR, LAMA, ROT	COR	14,8	14,8
3	CING, LAMA, ROT	CING	211	
	ASS E, LAMA, ROT	ASS E	196,2	
	FIN, LAMA, ROT	ROT	186,9	
	FIN, LAMA, LAV. TR	LAV. TR	172,8	
	FIN, LAMA, FIN. TR	FIN. TR	160,2	
	FIN, LAMA, TR+T	TR+T	145,2	
	FIN, LAMA	LAMA	141	
	FIN, PIA 70, PIA 80	PIA 80	98	
	FIN, PIA 70, PIA+K	PIA+K	59	
	FIN, PIA 70	PIA 70	41,6	
	FIN, PIA+B	PIA+B	28,4	
	FIN, MOT+PIA	FIN	24,8	24,8
4	MOT+PIA, TR+TEL	MOT+PIA	187,5	
	PIA+TEL, TR+TEL	PIA+TEL	56,8	
	TR+TEL	TR+TEL	11,8	11,8
5	FIN1	FIN1	160,5	
	FIN2	FIN2	104,8	
	SCAR	SCAR	84,6	93

Tabella 4.21: bilanciamento del Sistema di Assemblaggio, metodo LCR

Rispetto al bilanciamento effettuato con il metodo per tentativi, quello con l'euristico *LCR* presenta alcune differenze:

- **Stazione 1:** si occupa sostanzialmente di quelli che sono i pre-assemblaggi della linea: preparazione dei motori elettrici e del pre-assemblato serbatoio, preparazione del sub-assemblato batteria e adattamento dell'impianto elettrico del gruppo motore quando necessario. Infine, si occupa del montaggio della sede in lamiera verniciata che va ad accogliere l'impianto elettrico del prodotto Radiocomandato. La risorsa della stazione è quasi totalmente satura rispetto al tempo ciclo di 240 minuti totali;
- **Stazione 2:** si occupa del montaggio di tutti i gruppi motore dei vari modelli e di parte del gruppo telaio (attacchi e supporti cingolo, forcelle tendi-cingolo, assale motore e corone dentate), la cui lavorazione continua nella stazione successiva;
- **Stazione 3:** in questa stazione si porta a termine l'assemblaggio del gruppo telaio (montaggio dei cingoli in gomma e dei motori elettrici preparati nella stazione 1).

Inoltre, vi è l'assemblaggio del kit piatto-lama nel caso si producano i modelli *B* e *K* e dell'intero kit trincia qualora il mix produttivo richieda il modello *T*;

- **Stazione 4:** in analogia con quanto visto nel metodo di bilanciamento per tentativi, l'operatore di questa stazione si occupa dell'assemblaggio e della successiva lavorazione del kit piatto-lama/kit trincia sul gruppo telaio;
- **Stazione 5:** effettua la finitura del prodotto Radiocomandato e lo scarico dello stesso. La risorsa risulta essere molto scarica, con circa 90 minuti come tempo di ozio;

4.8.5 Indici di Bilanciamento del metodo *LCR*:

Il collo di bottiglia del sistema di assemblaggio è dato dalla prima stazione (239,7 minuti), la quale risulta essere quasi totalmente satura ed è quella che detta il ritmo dell'intero sistema. In Tabella 4.22 sono raffigurati i tempi di assemblaggio di ciascuna stazione, riferiti alle attività specifiche svolte su ciascuno modello:

STAZIONE	STAZIONE 1 [min.]		STAZIONE 2 [min.]		STAZIONE 3 [min.]		STAZIONE 4 [min.]		STAZIONE 5 [min.]		CARICO MEDIO [min.]
MODELLO	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	
Modello *B*	263	526	224	448	202	404	261	522	146	292	219
Modello *K*	265	1325	230	1150	214	1070	262	1310	148	740	224
Modello *T*	182	546	218	654	226	678	150	450	146	438	184
TEMPO DI LAVORO MEDIO [min.]	239,7	239,7	225,2	2252	215,2	2152	228,2	2282	147	1470	

Tabella 4.22: carichi di lavoro unitari e totali, metodo di bilanciamento LCR

A partire dai tempi di ozio e di work-overload delle singole stazioni riferite ai singoli modelli, è possibile calcolare i principali Indici di Performance del sistema di assemblaggio:

STAZIONE	STAZIONE 1 [min.]		STAZIONE 2 [min.]		STAZIONE 3 [min.]		STAZIONE 4 [min.]		STAZIONE 5 [min.]	
MODELLO	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload
Modello *B*	0	23	16	0	38	0	0	21	94	0
Modello *K*	0	25	10	0	26	0	0	22	92	0
Modello *T*	58	0	22	0	14	0	90	0	94	0

Tabella 4.23: tempi di Ozio e di Work-Overload, metodo di bilanciamento LCR

- ***Ozio Totale del sistema***: $\varphi_1 = 554\ [min.]$;
- ***Ozio massimo del sistema:*** $\varphi_2 = 94\ [min.]$;
- ***Work -Overload totale del sistema:*** $\varphi_3 = 91\ [min.]$;
- ***Work-Overload massimo del sistema:*** $\varphi_4 = 25\ [min.]$;
- ***Efficienza del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_5 = \frac{239{,}7 + 225{,}2 + 215{,}2 + 228{,}2 + 147}{239{,}7 * 5} = 88{,}05\ [\%];$$

Ai primi cinque Indici di Bilanciamento si aggiungono quelli riguardanti i livellamenti dei carichi fra le diverse stazioni e quelli all'interno della singola risorsa:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		SMOOTH. BETWEEN STAT. *[min.]*
MODELLO	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	
Modello B	44	23,3	5	1,2	17	13,2	42	32,8	73	1,0	181
Modello K	41	25,3	6	4,8	10	1,2	38	33,8	76	1,0	171
Modello T	2	57,7	34	7,2	42	10,8	34	78,2	38	1,0	150
SMOOTH. WITHIN STATION *[min.]*		106,3		13,2		25,2		144,8		3,0	
SMOOTH. WITHIN STAT. WEIGHTED *[min.]*		34,62		4,8		6,48		46,92		1	

Tabella 4.24: Smoothness Index Between e Within Stations, metodo di bilanciamento LCR

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni:*** $\varphi_6 = 181 + 171 + 150 = 502\ [min.]$;
- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni pesato:***

$$\varphi_7 = \frac{(181 * 2) + (171 * 5) + (150 * 3)}{10} = 166{,}8\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni:***

$$\varphi_8 = 106{,}3 + 13{,}2 + 25{,}2 + 144{,}8 + 2{,}6 = 292\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni pesato:***

$$\varphi_9 = 34{,}62 + 4{,}8 + 6{,}48 + 46{,}92 + 1 = 93{,}82\ [min.];$$

4.8.6 Euristico di Bilanciamento Ranked Positional Weights (*RPW*):

L'euristico prevede di calcolare un punteggio *RPW* per ogni task del ciclo di assemblaggio, calcolato come:

$$RPW_j = t_j + \sum_{k \in F_j} t_k \, ;$$

Il punteggio *RPW* è dato dal tempo del *j*-esimo task, al quale vanno aggiunti tutti i tempi dell'insieme dei successori del task in considerazione. L'insieme dei punteggi *RPW* va poi ordinato in ordine decrescente con i vari task che sono assegnati alle diverse stazioni, sempre nel rispetto del tempo ciclo T_C *[min/pz]* e del Diagramma delle Precedenze Tecnologiche.

DESCRIZIONE FASE	FASE DI ASS.	PUNTEGGIO RPW	t VAM *[min.]*
Ass. degli attacchi cingolo da 80	ATT 80	489,4	11,5
Ass. degli attacchi cingolo da 70	ATT 70	489,4	11
Ass. dei supporti cingolo da 70	SUPP 70	478,4	14,5
Ass. dei supporti cingolo da 80	SUPP 80	477,9	14
Inserimento delle forcelle tendi-cingolo	FORC	463,9	32
Pre-Assemblaggio dei coltelli lama	LAMA	447	4,2
Preparazione dell'alternatore	ALT	440,9	13,8
Ass. dell'assale motore	ASS	431,9	41
Preparazione del Piatto da 80 *cm* .	PIA 80	412,2	43
Lav. del gruppo motore del modello *K*	MOT K	401,7	32,5
Ass. delle corone dentate	COR	390,9	20,8
Prep. dei Motori Elettrici	MOT E	386,8	45,7
Ass. dei cingoli in gomma	CING	370,1	29
Ass. gruppo motore *K* su kit Piatto-lama	PIA+K	369,2	39
Prep. Pre-Ass. Serbatoio	SERB	368,7	46
Adatt. Imp. Elettrico al motore	ADATT	365,2	35
Preparazione del Piatto da 70 cm.	PIA 70	360,8	17,4
Lav. del gruppo motore del modello *B*	MOT B	355,6	12,2
Ass. gruppo motore *B* su kit Piatto-lama	PIA+B	343,4	13,2
Ass. dei motori elettrici	ASS E	341,1	14,8
Lav. gruppo motore su Piatto	MOT+PIA	330,2	52,5
Prep. Pre-Ass. Batteria	BATT	300,4	22,7
Ass. kit Piatto sul gruppo Telaio	PIA+TEL	277,7	130,7
Inser. Rot. nel Trincia	ROT	243	9,3
Lav. Cofanatura Trincia	LAV TR	233,7	14,1
Lav. del gruppo motore del modello *T*	MOT T	228,9	21,9
Finitura Cofanatura Trincia	FIN TR	219,6	12,6
Ass. gruppo motore *T* su kit Trincia	TR+T	207	15
Finitura del gruppo Telaio	FIN	195,6	3,6
Ass. kit Trincia su gruppo Telaio	TR+TEL	192	45
Prep. Pre-Ass. 1 Imp. Elettr.	IMP1	191,3	44,3
Finitura Imp. Elettr. Radiocomandato	FIN1	147	79,5
Prep. Pre-Ass. 2 Imp. Elettr.	IMP2	113,5	46
Ass. seconda parte Imp. Elettr.	FIN2	67,5	55,7
Scarico Radiocomandato finito	SCAR	11,8	11,8

Tabella 4.25: ordinamento punteggi RPW in ordine decrescente, metodo RPW

Noti i punteggi *RPW*, si procede con il bilanciamento del sistema di assemblaggio:

STAZIONE	AVAILABLE TASK	TASK ASS.	TEMPO RIMANENTE *(min.)*	TEMPO OZIO *(min.)*
1	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 80	228,5	
	MOT E, ATT 70, SUPP 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 70	217,5	
	MOT E, SUPP 70, SUPP 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SUPP 70	203	
	MOT E, SUPP 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SUPP 80	189	
	MOT E, FORC, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	FORC	157	
	MOT E, ASS, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	LAMA	152,8	
	MOT E, ASS, ALT, PIA 70, PIA 80, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ALT	139	
	MOT E, ASS, PIA 70, PIA 80, MOT B, MOT K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ASS	98	
	MOT E, COR, PIA 70, PIA 80, MOT B, MOT K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	PIA 80	55	
	MOT E, COR, PIA 70, MOT B, MOT K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT K	22,5	
	MOT E, COR, PIA 70, MOT B, PIA+K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	COR	1,7	1,7
2	MOT E, CING, PIA 70, MOT B, PIA+K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT E	194,3	
	CING, PIA 70, MOT B, PIA+K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	CING	165,3	
	ASS E, PIA 70, MOT B, PIA+K, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	PIA+K	126,3	
	ASS E, PIA 70, MOT B, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SERB	80,3	
	ASS E, PIA 70, MOT B, ROT, MOT T, ADATT, BATT, IMP1, IMP2	ADATT	45,3	
	ASS E, PIA 70, MOT B, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	PIA 70	27,9	
	ASS E, MOT B, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	MOT B	15,7	
	ASS E, PIA+B, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	PIA+B	2,5	2,5
3	ASS E, MOT+PIA, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	ASS E	225,2	
	FIN, MOT+PIA, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	MOT+PIA	172,7	
	FIN, ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	BATT	150	
	FIN, ROT, MOT T, PIA+TEL, IMP1, IMP2	PIA+TEL	19,3	
	FIN, ROT, MOT T, IMP1, IMP2	ROT	10	
	FIN, LAV TR, MOT T, IMP1, IMP2	FIN	6,4	6,4
4	LAV TR, MOT T, IMP1, IMP2	LAV TR	225,9	
	FIN TR, MOT T, IMP1, IMP2	MOT T	204	
	FIN TR, IMP1, IMP2	FIN. TRINCIA	191,4	
	TR+T, IMP1, IMP2	TR+T	176,4	
	TR+TEL, IMP1, IMP2	TR+TEL	131,4	
	IMP1, IMP2	IMP1	87,1	
	FIN1, IMP2	FIN1	7,6	7,6
5	IMP2	IMP2	194	
	FIN2	FIN2	138,3	
	SCAR	SCAR	126,5	126,5

Tabella 4.26: bilanciamento del Sistema di Assemblaggio, metodo RPW

- **Stazione 1:** nella prima stazione viene iniziato l'assemblaggio di parte di quello che è il gruppo telaio, con l'inserimento degli attacchi cingolo, dei supporti cingolo da 70 e 80 (rispettivamente per il modello *B* e il modello *K*), delle forcelle tendi-cingolo, dell'assale motore e delle corone dentate. L'operatore procede anche all'assemblaggio dei coltelli lama, dell'alternatore e al montaggio del piatto di larghezza 80 cm. con il rispettivo gruppo motore. La risorsa risulta saturata quasi al 100% del proprio tempo ciclo (238,3 minuti), nel metodo *RPW* detta il ritmo delle altre stazioni;
- **Stazione 2:** il prodotto Radiocomandato prosegue il proprio assemblaggio nella seconda stazione, dove avviene la lavorazione del gruppo motore del modello *B*. L'operatore inoltre prosegue con il montaggio del gruppo telaio, inserendo i cingoli in gomma e occupandosi della preparazione di alcuni pre-assemblati come i motori elettrici e il serbatoio, oltre all'adattamento dell'impianto elettrico allo

specifico gruppo motore. Nel caso lo scheduling della linea preveda la produzione del modello *B*, l'operatore si occupa anche dell'assemblaggio del kit piatto-lama della larghezza di 70 cm. con il suo specifico gruppo motore di tipo *B*. Nella produzione del modello *B*, il suo carico di lavoro supera abbondantemente il tempo ciclo impostato (385 minuti rispetto ai 240 minuti stabiliti come "soglia");

- **Stazione 3:** il terzo operatore ultima la lavorazione del gruppo telaio. Si occupa dell'assemblaggio dell'impianto elettrico sul gruppo motore e dell'inserimento del kit piatto-lama sul gruppo telaio per poter effettuare la finitura del prodotto Radiocomandato. Nel caso lo scheduling della linea preveda la produzione del modello *T*, è necessario per l'operatore inserire e assemblare il rotore all'interno della cofanatura del trincia;
- **Stazione 4:** l'operatore in questa stazione di assemblaggio assembla quasi e solo esclusivamente il modello *T*, con il montaggio di tutto quello che riguarda il kit trincia e il suo inserimento all'interno del gruppo telaio. Su tutti i modelli invece lavora al pre-assemblaggio e all'inserimento della prima parte dell'impianto elettrico che va sul prodotto Radiocomandato;
- **Stazione 5:** l'operatore si occupa del pre-assemblaggio e dell'inserimento sul prodotto Radiocomandato della seconda parte dell'impianto elettrico; procede poi allo scarico del prodotto finito. In questo euristico, la risorsa di questa stazione risulta essere quella dotata di un maggiore tempo di ozio rispetto alle altre (126 minuti circa sui 240 che sono disponibili alla risorsa);

4.8.7 Indici di Bilanciamento del metodo *RPW*:

Il bilanciamento con il metodo *RPW* indica nella stazione 1 il collo di bottiglia, è la risorsa che detta il ritmo del sistema e quella alla quale le altre si devono adeguare (238,3 minuti). In Tabella 4.27, in analogia con quanto fatto con gli altri metodi, sono evidenziati i carichi di lavoro delle singole stazioni, riferiti all'assemblaggio dei singoli modelli:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		CARICO MEDIO *[min.]*
MODELLO	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	
Modello *B*	169	338	385	770	306	612	123	246	113	226	219,2
Modello *K*	322	1610	249	1245	310	1550	124	620	114	570	223,8
Modello *T*	145	435	120	360	58	174	486	1458	113	339	184,4
TEMPO DI LAVORO MEDIO *[min.]*	238,3	238,3	237,5	2375	233,6	2336	232,4	2324	113,5	1135	

Tabella 4.27: carichi di lavoro unitari e totali, metodo di bilanciamento RPW

Si calcolano di seguito i tempi di ozio e i work-overload delle singole stazioni sui singoli modelli, a valle dei quali si ottengono gli Indici di Performance del sistema di assemblaggio:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*	
MODELLO	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload
Modello *B*	69	0	0	147	0	68	115	0	125	0
Modello *K*	0	84	0	11	0	72	114	0	124	0
Modello *T*	93	0	118	0	180	0	0	248	125	0

Tabella 4.28: tempi di Ozio e di Work-Overload, metodo di bilanciamento RPW

- ***Ozio Totale del sistema:*** $\varphi_1 = 1063\ [min.]$;
- ***Ozio massimo del sistema:*** $\varphi_2 = 180\ [min.]$;
- ***Work-Overload totale del sistema:*** $\varphi_3 = 630\ [min.]$;
- ***Work-Overload massimo del sistema:*** $\varphi_4 = 248\ [min.]$;
- ***Efficienza del Sistema di Assemblaggio:***

$$\varphi_5 = \frac{238{,}3 + 237{,}5 + 233{,}6 + 232{,}4 + 113{,}5}{238{,}3 * 5} = 88{,}57\ [\%];$$

Come fatto precedentemente, si calcolano gli Indici di Performance in riferimento ai livellamenti delle stazioni:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		SMOOTH. BETWEEN STAT. *[min.]*
MODELLO	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	
Modello *B*	50	69,3	165,8	147,5	87	72,4	96	109,4	106	0,5	505
Modello *K*	98	83,7	25,2	11,5	86	76,4	100	108,4	110	0,5	419
Modello *T*	39	93,3	64,4	117,5	126	175,6	302	253,6	71	0,5	603
SMOOTH. WITHIN STATION *[min.]*		246,3		276,5		324,4		471,4		1,5	
SMOOTH. WITHIN STAT. WEIGHTED *[min.]*		83,7		70,5		105,36		152,16		0,5	

Tabella 4.29: Smoothness Index Between e Within Stations, metodo di bilanciamento RPW

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni:*** $\varphi_6 = 505 + 419 + 603 = 1\dot{}527\ [min.]$;
- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni pesato*:**

$$\varphi_7 = \frac{(505 * 2) + (419 * 5) + (603 * 3)}{10} = 491{,}4\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni:***

$$\varphi_8 = 246{,}3 + 276{,}5 + 324{,}4 + 471{,}4 + 1{,}5 = 1\dot{}320{,}1\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni pesato:***

$$\varphi_9 = 83{,}7 + 79{,}2 + 105{,}36 + 152{,}16 + 0{,}5 = 412{,}22\ [min.];$$

4.8.8 Euristico di Bilanciamento Killbridge & Wester's Method (*KWM*):

L'euristico prevede di suddividere il Joint Precedence Diagram in livelli: al livello 1 vengono assegnati tutti i task che non presentano predecessori, mentre ai livelli successivi si assegnano via via tutti i successori al livello 1. I task vengono poi assegnati alla stazione in base al loro punteggio *RPW*, rispettando il tempo ciclo e il Diagramma delle Precedenze Tecnologiche; inoltre, prima di passare al livello *i* devono essere stati assegnati tutti i task appartenenti al livello *i-1*.

Di seguito è riportato il diagramma a livelli a partire dal Joint Precedence Diagram, rappresentativo dei tre modelli *B*, *K*, e *T*:

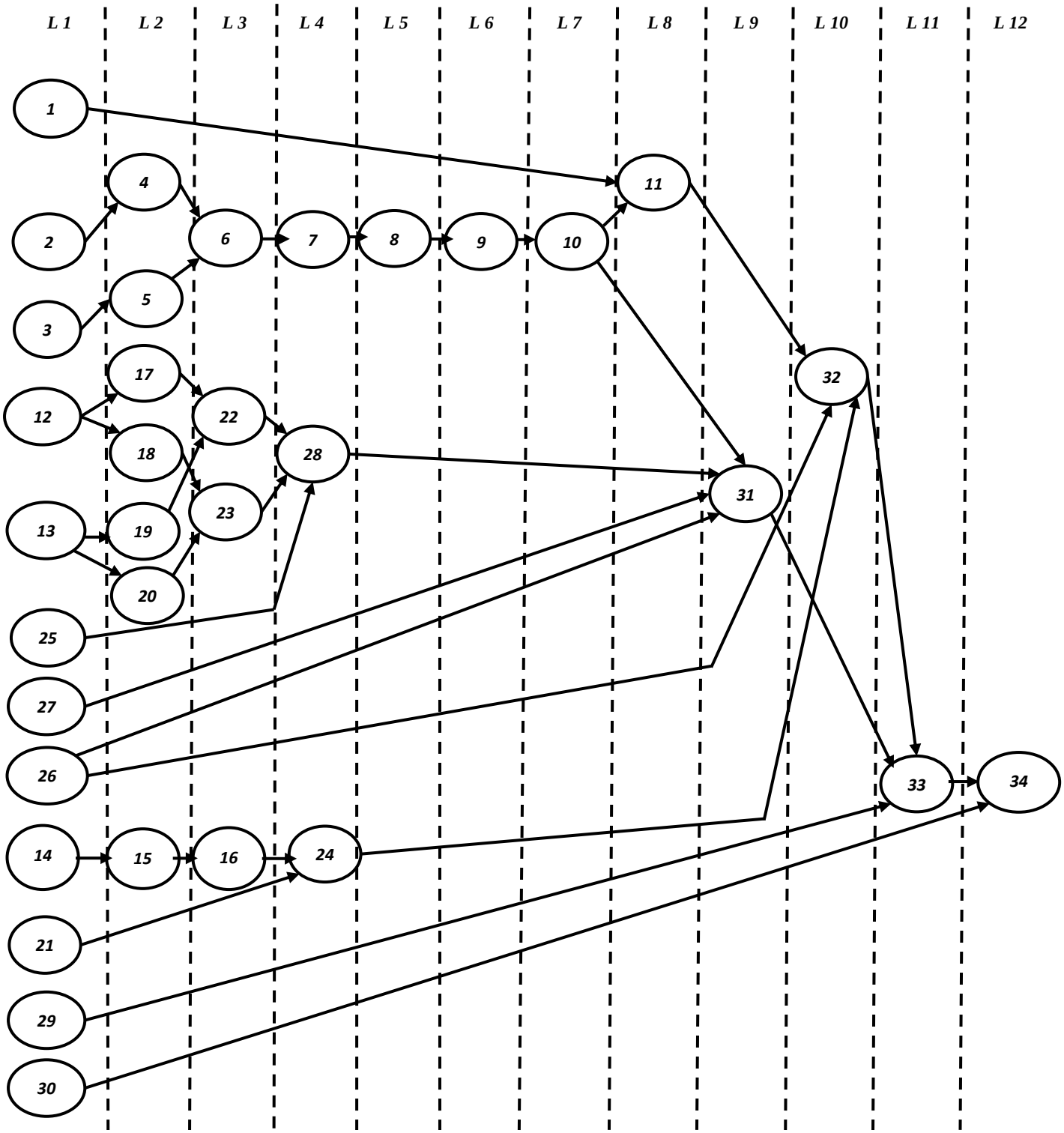

Figura 4.6: suddivisione del Joint Precedence Diagram in Livelli, metodo KWM

L'applicazione del metodo *KWM* porta all'assegnazione dei task alle 5 stazioni:

STAZIONE	AVAILABLE TASK	TASK. ASS.	TEMPO RIMANENTE *[min.]*	TEMPO OZIO *[min.]*
1	MOT E, ATT 70, ATT 80, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 80	228,5	
	MOT E, ATT 70, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ATT 70	217,5	
	MOT E, LAMA, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	LAMA	213,3	
	MOT E, ALT, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	ALT	199,5	
	MOT E, ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	MOT E	153,8	
	ROT, MOT T, ADATT, SERB, BATT, IMP1, IMP2	SERB	107,8	
	ROT, MOT T, ADATT, BATT, IMP1, IMP2	ADATT	72,8	
	ROT, MOT T, BATT, IMP1, IMP2	BATT	50,1	
	ROT, MOT T, IMP1, IMP2	ROT	40,8	
	MOT T, IMP1, IMP2	MOT T	18,9	18,9
2	IMP1, IMP2	IMP1	195,7	
	IMP2	IMP2	149,7	
	SUPP 70, SUPP 80,PIA 70, PIA 80, MOT B, MOT K, LAV TR	SUPP 70	135,2	
	SUPP 80, PIA 70, PIA 80, MOT B, MOT K, LAV TR	SUPP 80	121,2	
	PIA 70, PIA 80, MOT B, MOT K, LAV TR	PIA 80	78,2	
	PIA 70, MOT B, MOT K, LAV TR	MOT K	45,7	
	PIA 70, MOT B, LAV TR	PIA 70	28,3	
	MOT B, LAV TR	MOT B	16,1	
	LAV TR	LAV TR	2	2
3	FORC, PIA+B, PIA+K, FIN TR	FORC	208	
	PIA+B, PIA+K, FIN TR	PIA+K	169	
	PIA+B, FIN TR	PIA+B	155,8	
	FIN TR	FIN TR	143,2	
	ASS, MOT+PIA, TR+T	ASS	102,2	
	MOT+PIA, TR+T	MOT+PIA	49,7	
	TR+T	TR+T	34,7	
	COR	COR	13,9	13,9
4	CING	CING	211	
	ASS E	ASS E	196,2	
	FIN, PIA+TEL	PIA+TEL	65,5	
	FIN	FIN	61,9	
	TR+TEL	TR+TEL	16,9	16,9
5	FIN1	FIN1	160,5	
	FIN2	FIN2	104,8	
	SCAR	SCAR	93	93

Tabella 4.30: bilanciamento del Sistema di Assemblaggio, metodo KWM

- **Stazione 1:** inizia l'assemblaggio del gruppo telaio con il montaggio degli attacchi cingolo e la preparazione dei motori elettrici. Si occupa poi dei pre-assemblaggi del Radiocomandato (serbatoio, batteria, preparazione dei coltelli lama e dell'alternatore motore). Nel caso ci sia la produzione del modello *T*, assembla il rotore sulla cofanatura trincia e si occupa della lavorazione del gruppo motore di questo modello specifico. La risorsa presenta un ozio di circa 20 minuti nello svolgimento delle proprie attività;
- **Stazione 2:** si occupa dei pre-assemblaggi rimanenti, come la preparazione delle due parti adibite ad ospitare l'impianto elettrico; prosegue poi con il montaggio dei supporti cingolo sul gruppo telaio. Infine, è l'operatore di questa stazione che si occupa di assemblare il piatto-lama e il gruppo motore corrispondente, nel caso dei modelli *B* e *K*, e della lavorazione della cofanatura trincia nel caso del modello *T*. La risorsa della stazione 2 risulta essere saturata quasi al 100% del proprio tempo ciclo;
- **Stazione 3:** l'operatore 3 prosegue nell'assemblaggio del gruppo telaio inserendo le forcelle tendi-cingolo, l'assale motore e le corone dentate. Si occupa poi del

montaggio dei gruppi motore sul kit piatto-lama e dell'inserimento dell'impianto elettrico precedentemente preparato nella stazione 1. Svolge un compito analogo nel caso sulla linea sia schedulato il modello *T*, con l'assemblaggio del gruppo motore sulla cofanatura del gruppo trincia;

- **Stazione 4:** si occupa di quella che è la finitura del gruppo telaio assemblando i cingoli e i motori elettrici. A seconda poi che la schedulazione preveda il modello *B/K* o il modello *T*, l'operatore assembla rispettivamente il kit piatto-lama o il kit trincia sul telaio;
- **Stazione 5:** provvede alla finitura del prodotto Radiocomando con l'assemblaggio dell'impianto elettrico sulla macchina e il suo successivo scarico;

4.8.9 Indici di Bilanciamento del metodo *KWM*:

In Tabella 4.31 sono identificati i tempi relativi alle singole stazioni sui singoli modelli; con il metodo *KWM* il collo di bottiglia del sistema è dato dalla stazione 2 (tempo ciclo di 238 minuti):

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		CARICO MEDIO *[min.]*
MODELLO	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	Carico un.	Carico tot.	
Modello *B*	220	440	267	534	234	468	229	458	146	292	219,2
Modello *K*	224	1120	269	1345	247	1235	231	1155	148	740	223,8
Modello *T*	217	651	167	501	186	558	206	618	146	438	184,4
TEMPO DI LAVORO MEDIO *[min.]*	221,1	221,1	238	2380	226,1	2261	223,1	2231	147	1470	

Tabella 4.31: carichi di lavoro unitari e totali, metodo di bilanciamento KWM

Il calcolo dei tempi di ozio e di work-overload permette di valutare gli Indici di Performance del sistema di assemblaggio:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*	
MODELLO	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload	Ozio	Work-Overload
Modello *B*	18	0	0	29	4	0	9	0	92	0
Modello *K*	14	0	0	31	0	9	7	0	90	0
Modello *T*	21	0	71	0	51	0	32	0	92	0

Tabella 4.32: tempi di Ozio e di Work-Overload, metodo di bilanciamento KWM

- ***Ozio Totale del sistema:*** $\varphi_1 = 501\ [min.]$;
- ***Ozio massimo del sistema:*** $\varphi_2 = 92\ [min.]$;
- ***Work-Overload totale del sistema:*** $\varphi_3 = 69\ [min.]$;
- ***Work Overload massimo del sistema:*** $\varphi_4 = 31\ [min.]$;
- ***Efficienza del sistema di assemblaggio:***

$$\varphi_5 = \frac{221{,}1 + 238 + 226{,}1 + 223{,}1 + 147}{(238 * 5)} = 88{,}68\ [\%];$$

Per quanto riguarda invece i livellamenti fra e all'interno delle stazioni di assemblaggio si ha:

STAZIONE	STAZIONE 1 *[min.]*		STAZIONE 2 *[min.]*		STAZIONE 3 *[min.]*		STAZIONE 4 *[min.]*		STAZIONE 5 *[min.]*		SMOOTH. BETWEEN STAT. *[min.]*
MODELLO	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	Between	Within	
Modello B	0,8	1,1	47,8	29	14,8	7,9	9,8	5,9	73,2	1,0	146,4
Modello K	0,2	2,9	45,2	31	23,2	20,9	7,2	7,9	75,8	1,0	151,6
Modello T	32,6	4,1	17,4	71	1,6	40,1	21,6	17,1	38,4	1,0	111,6
SMOOTH. WITHIN STATION *[min.]*		8,1		131,0		68,9		30,9		3,0	
SMOOTH. WITHIN STAT. WEIGHTED *[min.]*		2,9		42,6		24,06		10,26		1	

Tabella 4.33: Smoothness Index Between e Within Stations, metodo di bilanciamento KWM

- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni:*** $\varphi_6 = 146{,}4 + 151{,}6 + 111{,}6 = 409{,}6\ [min.]$;
- ***Indice di Livellamento fra le Stazioni pesato:***

$$\varphi_7 = \frac{(146{,}4 * 2) + (151{,}6 * 5) + (111{,}6 * 3)}{10} = 138{,}56\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni:***

$$\varphi_8 = 8{,}1 + 131 + 68{,}9 + 30{,}9 + 3 = 241{,}9\ [min.];$$

- ***Indice di Livellamento all'interno delle Stazioni pesato:***

$$\varphi_9 = 2{,}9 + 42{,}6 + 24{,}06 + 10{,}26 + 1 = 80{,}82\ [min.];$$

4.9 Confronto fra gli Indici di Performance:

Dopo il bilanciamento della nuova linea di prodotti Radiocomandati, avvenuta attraverso l'applicazione di quattro metodologie differenti, si confrontano fra loro i risultati ottenuti, al fine di assegnare nel modo più corretto possibile i task agli operatori.

4.9.1 Indici di Ozio e di Work-Overload del Sistema di Assemblaggio:

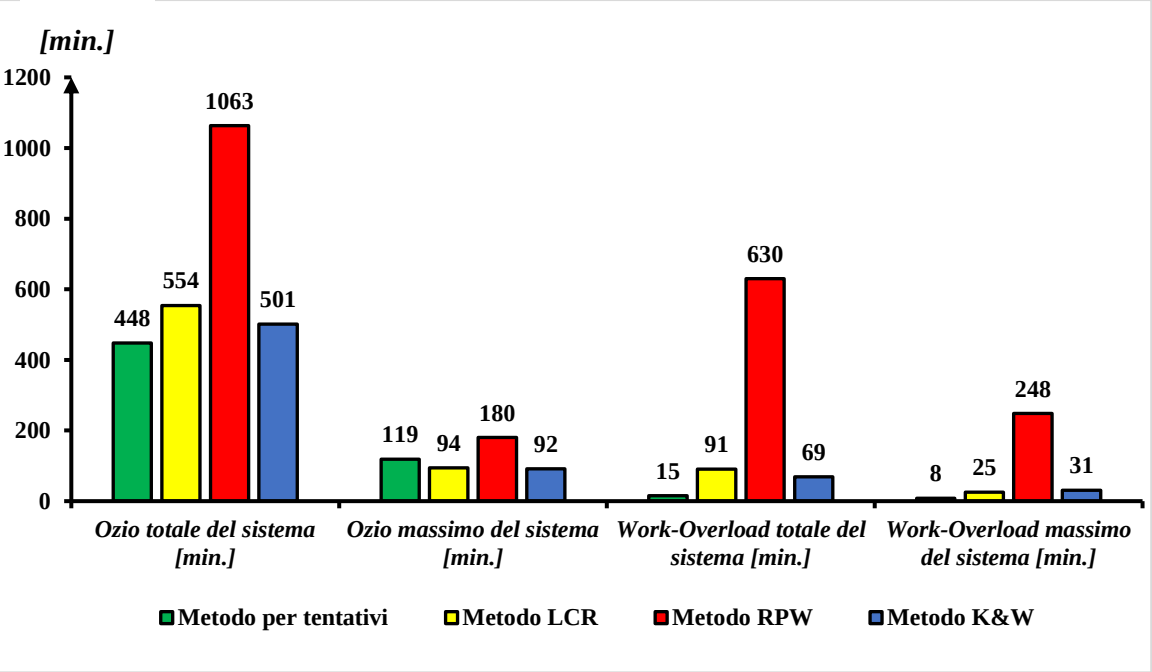

Figura 4.7: indici di ozio e di work-overload del sistema [min.], confronto fra alternative

La Figura 4.7 mostra come gli indici di ozio e di work-overload con il metodo *RPW* siano nettamente superiori rispetto a tutti gli altri (ozio totale 1˙063 minuti con ozio massimo di 180, work-overload totale di 630 minuti con valore massimo di 248): tali indici denotano come, con questo euristico, alcune stazioni sull'assemblaggio di certi modelli siano altamente in ozio (la stazione 5 per esempio è in ozio per circa 2 ore sull'assemblaggio di tutti i modelli, Tabella 4.28), mentre sull'assemblaggio di altri prodotti presentano un carico di lavoro eccessivamente elevato (stazione 2, assemblaggio del modello *B* con 147 minuti di sovraccarico, Tabella 4.28).

Gli altri tre metodi presentano invece valori di ozio e di sovraccarico delle risorse fra loro confrontabili, con i metodi di bilanciamento per tentativi e il *KWM* che sembrano essere preferibili.

4.9.2 Indice di Efficienza del Sistema di Assemblaggio:

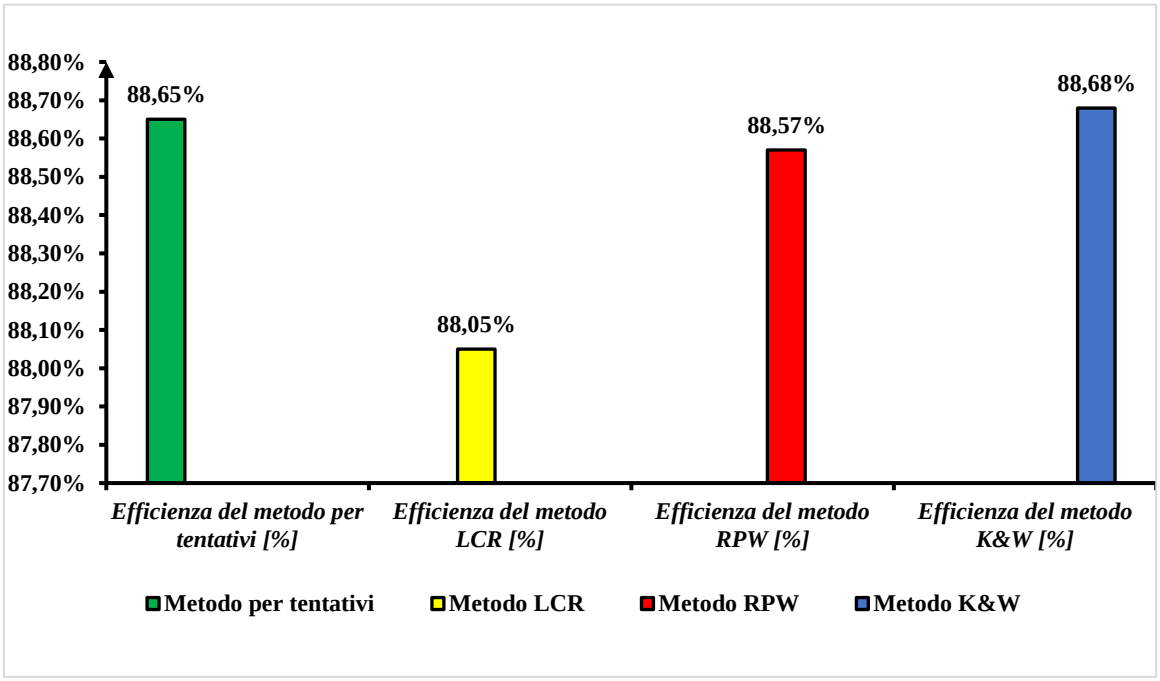

Figura 4.8: indice di efficienza del sistema [%], confronto fra alternative

L'indice di Efficienza del sistema di assemblaggio in tutti e 4 i metodi applicati si attesta su un valore ottimale vicino al 90%. Di pochissimo, risulta essere preferibile l'efficienza ottenuta con il metodo *KWM* (valore dell'88,68%).

4.9.3 Indici di livellamento fra e all'interno delle Stazioni del Sistema di Ass.:

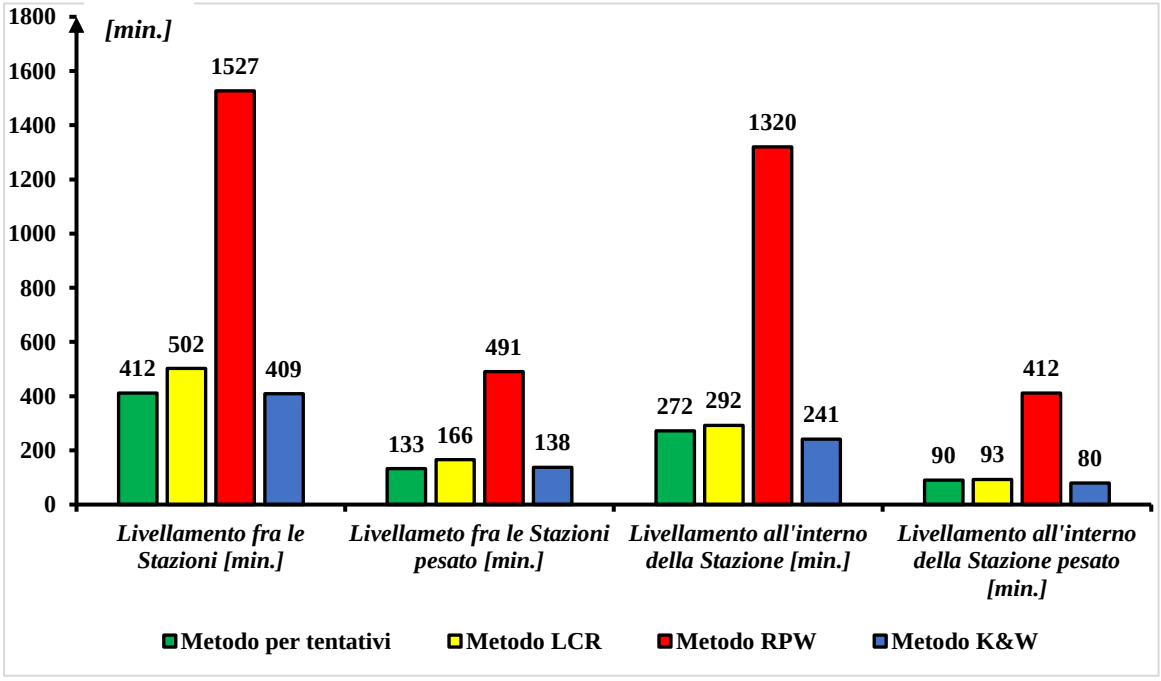

Figura 4.9: indici di livellamento fra e all'interno delle stazioni [min.], confronto fra alternative

In analogia con quanto successo con i tempi di ozio e di work-overload, gli indici di livellamento con il metodo *RPW* risultano essere molto elevati (1˙527 minuti totali per il livellamento fra le Stazioni e 1˙320 minuti totali all'interno delle singole stazioni); ciò sembra rimarcare il concetto, presentato precedentemente, delle stazioni che oziano/sono in overload a seconda del modello assemblato. Gli altri tre metodi presentano valori confrontabili fra loro, con una preferenza che ricade sui bilanciamenti ottenuti con il metodo per tentativi e con l'euristico *KWM*.

La Tabella 4.34 riassume infine tutti gli Indici di Bilanciamento trovati con i 4 metodi:

INDICE DI BILANCIAMENTO	***Tentativi***	***LCR***	***RPW***	***K&W***
Ozio Totale del Sistema *[min.]* φ_1	**448**	**554**	**1063**	**501**
Ozio Massimo del Sistema *[min.]* φ_2	**119**	**94**	**180**	**92**
Work-Overload Totale del Sistema *[min.]* φ_3	**15**	**91**	**630**	**69**
Work Overload Mass. del Sistema *[min.]* φ_4	**8**	**25**	**248**	**31**
Efficienza del Sist. di Ass. *[%]* φ_5	**88,65**	**88,05**	**88,57**	**88,68**
Smooth. Index Between Stations *[min.]* φ_6	**412**	**502**	**1527**	**409,6**
Smooth. Index Between Stat. Weighted. *[min.]* φ_7	**133**	**166,8**	**491,4**	**138,56**
Smoothness Index Within Station *[min.]* φ_8	**272**	**292,5**	**1320,1**	**241,9**
Smoothness Index Within Station Weighted *[min.]* φ_9	**90,2**	**93,82**	**412,22**	**80,82**

Tabella 4.34: riepilogo Indici di Bilanciamento del sistema di assemblaggio, confronto fra alternative

Il metodo *RPW* risulta essere il peggiore nella maggior parte degli Indici di Performance (tolta l'efficienza del sistema), pertanto non viene considerato come possible soluzione per la nuova linea di prodotti Radiocomandati.

I metodi di bilanciamento per tentativi e il *KWM* sono i due con gli indicatori migliori e seguono un approccio all'assemblaggio differente: mentre il primo suddivide i task delle stazioni seguendo i gruppi funzionali che compongono il prodotto (in analogia con quanto succede al momento in azienda), il metodo *KWM* invece prevede l'assemblaggio di una parte di ciascun gruppo funzionale. Per quanto riguarda gli Indicatori di Performance, il bilanciamento per tentativi è peggiore per l'ozio massimo del sistema (119 minuti nella stazione 2 per il modello *T* con il metodo per tentativi, 92 minuti nella stazione 5 per i modelli *B* e *T* col metodo *KWM*), mentre il metodo *KWM* ha degli overload più elevati (69 e 31 minuti col metodo *KWM*, contro i 15 e gli 8 minuti del bilanciamento per

tentativi). Per quanto riguarda invece i livellamenti, i due approcci presentano i valori migliori fra i 4 metodi adottati con differenze trascurabili fra loro, tolto il livellamento all'interno delle singole stazioni (differenze di circa 30 minuti fra i due metodi).

Si è deciso di proseguire nello studio del nuovo sistema di assemblaggio per i prodotti Radiocomandati in Barbieri S.r.l. adottando l'approccio per tentativi: si è infatti supposto che esso parta da una base già pre-collaudata in azienda, poichè va ad intervenire su quelli che sono gli sbilanciamenti fra i diversi gruppi funzionali del prodotto emersi nella fase di studio preliminare del sistema. Il metodo *KWM* implica invece il dover insegnare agli operatori diverse nuove fasi del ciclo di assemblaggio, poichè essi si andrebbero ad occupare del montaggio di una parte di ciascun gruppo funzionale componente il prodotto Radiocomandato finito. Si tratta di una attività che per l'investimento di tempo che essa comporta non si giustifica con solamente una leggera predominanza di alcuni Indici di Performance.

Scelto il metodo di bilanciamento per tentativi, il grafico riassume i risultati trovati nell'assemblaggio dei vari modelli sulle diverse stazioni con l'applicazione di questo euristico:

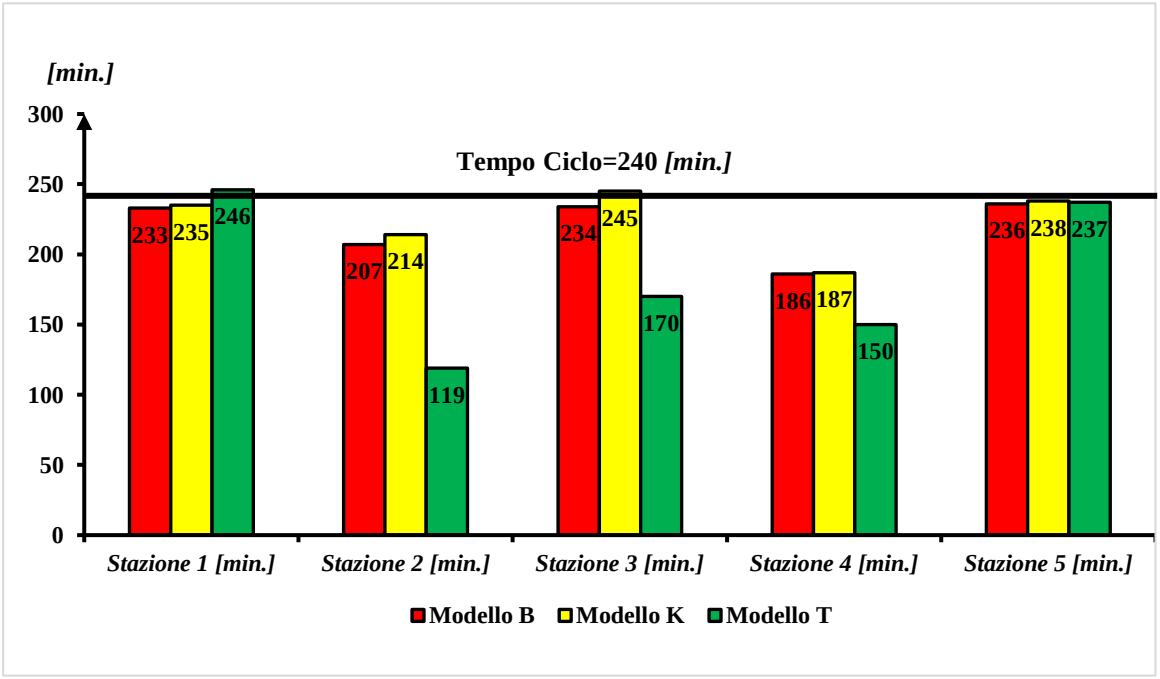

Figura 4.10: carichi di lavoro [min.] delle stazioni suddivisi per modello, bilanciamento per tentativi

La Figura 4.10 evidenzia come il bilanciamento per tentativi abbia introdotto un maggiore livellamento fra i carichi di lavoro degli operatori, sgravando l'operatore 4 (isola di assemblaggio 1, Radiocomandato rotativo a lama singola) di alcuni task da lui svolti. Inoltre, l'ex operatore 5 dell'isola di assemblaggio 2 è ora inserito in un sistema unito, integrato e coerente, la qual cosa lo libera dell'enorme carico di lavoro da lui svolto nell'assemblaggio del Radiocomandato rotativo a coltelli; allo stesso tempo è stata aumentata la produttività del modello *T*, così come era stato richiesto in input per il nuovo sistema di assemblaggio.

Infine, le Figure 4.11 e 4.12 riepilogano i risultati ottenuti all'interno del capitolo:

I grafici mostrano i risultati che il nuovo sistema di assemblaggio integrato dovrebbe apportare all'azienda, come evidenziato attraverso l'applicazione dei diversi metodi di bilanciamento: il sistema unito dovrebbe portare alla produzione di 10 prodotti Radiocomandati alla settimana, superando dunque le produttività delle due isole di assemblaggio separate (circa 4 Radiocomandati per l'isola di assemblaggio 1 e 2 prodotti finiti a settimana per l'isola di assemblaggio 2).

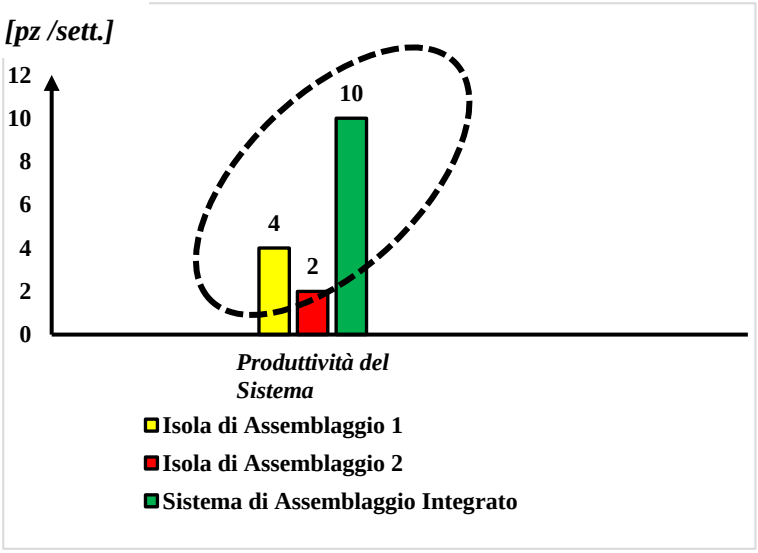

Figura 4.11: confronto produttività [pz/sett.] sistemi di assemblaggio

Inoltre, con l'aumento della produttività data dal nuovo sistema integrato si ha una diminuzione sensibile del tempo ciclo T_C *[h/pz]*: la nuova configurazione delle attività dovrebbe infatti dare come output un prodotto Radiocomandato finito ogni circa quattro ore.

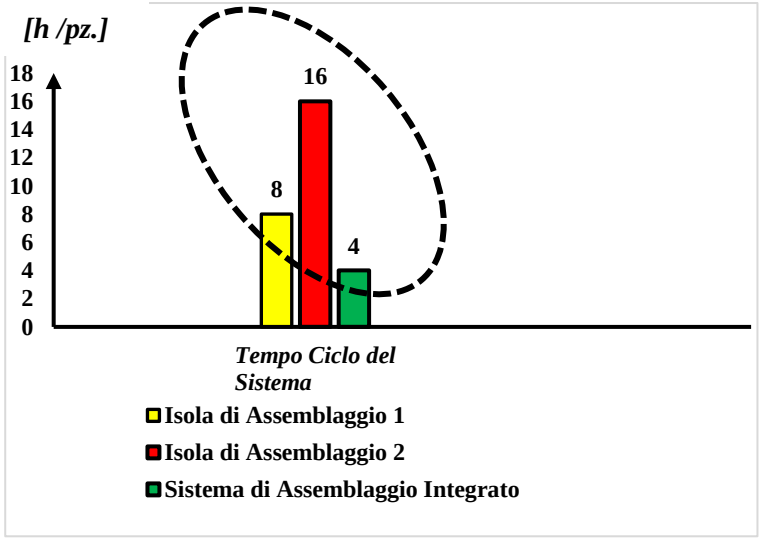

Figura 4.12: confronto tempo ciclo [min/pz] sistemi di assemblaggio

CAPITOLO 5: IL CASO BARBIERI S.R.L.: GESTIONE DEL SISTEMA DI ASSEMBLAGGIO, NUOVO LAYOUT E CONCLUSIONI

Nei capitoli precedenti sono stati definiti i prodotti componenti il sistema di assemblaggio e i loro task caratteristici. Si è provveduto poi a creare e a bilanciare un unico sistema che integrasse i due precedentemente separati e che fosse in grado di garantire la produttività desiderata, offrendo come output un mix dei tre modelli; la bontà dei metodi applicati è stata valutata attraverso il calcolo degli Indici di Performance.

Il Capitolo 5 invece si concentra su tutto ciò che ruota attorno al sistema di assemblaggio vero e proprio, in particolare i lotti economici di acquisto, le scorte di sicurezza, la feeding-policy; il capitolo, infine, si conclude con una rappresentazione schematica del layout del nuovo sistema di assemblaggio. Si vuole dimostrare l'importanza che, per quanto un sistema sia ben progettato, esso va inevitabilmente in crisi in mancanza di specifiche parti di assemblaggio, di una feeding-policy sbagliata o di una disposizione planimetrica che non tenga conto delle reali necessità del sistema.

5.1 Lotti Economici di Acquisto:

I capitoli precedenti si sono focalizzati sulle parti di assemblaggio già presenti in linea, quelle pronte per essere prelevate ed assemblate sul prodotto in fase di montaggio.

È bene però considerare quello che sta a monte del sistema di assemblaggio vero e proprio: in Barbieri S.r.l., infatti, un grande numero di componenti subisce delle lavorazioni prima di essere portato nell'area produttiva. Per il gruppo telaio, per esempio, vengono acquistati tutte quelle parti che lo vanno a comporre (ad esempio il listello ad L con inserti, il tubo di rinforzo, il tubo di protezione serbatoio, il componente superiore del telaio). Tutti i componenti acquistati vengono poi mandati in outsourcing per essere assemblati fra loro con un processo di saldatura, in modo da formare il semi-lavorato telaio dal quale parte tutto il processo di assemblaggio interno all'azienda. La fase di verniciatura infine, fatta sempre esternamente, rende il telaio pronto per essere utilizzato dal sistema. Certi componenti invece, sui quali non è necessaria una fase di verniciatura,

possono essere mandati in outsourcing dopo il loro acquisto per subire dei processi di carpenteria, di lavorazione meccanica o di zincatura.

La medesima procedura viene seguita anche da quei componenti di assemblaggio che vengono utilizzati direttamente in linea quali coltelli lama, ruote in plastica, cuscinetti, attuatori, anelli seeger, catene di protezione; essi vengono acquistati in specifici lotti che vengono stoccati in attesa del loro utilizzo presso la specifica stazione.

Si è quindi deciso di condurre una analisi per la valutazione di quelli che potrebbero essere i lotti economici ottimali di acquisto di quelle parti che poi successivamente devono essere lavorate, verniciate o zincate.

La Tabella 5.1 riporta i consumi annuali di alcuni componenti di acquisto formanti il telaio e il riduttore del prodotto Radiocomandato, relativi all'anno 2˙019. Dall'analisi della distinta base dei differenti modelli del prodotto Radiocomandato e dei consumi riferiti all'anno in analisi, si sono ricavate le quantità di ciascuna parte impiegata in ciascun modello; in seguito, dai consumi per ogni modello si è ricavata la domanda annua D_a *[pz/anno]*.

CODICE ARTICOLO	MODELLO 68 *[pz/anno]*	MODELLO 63 *[pz/anno]*	MODELLO 74 *[pz/anno]*	MODELLO 70 *[pz/anno]*	MODELLO 62 *[pz/anno]*	MODELLO 75 *[pz/anno]*	MODELLO 77 *[pz/anno]*	DOMANDA STIMATA *[pz/anno]*
3703363	22	78	92	28	50	0	20	290
4902021A	22	78	92	28	50	0	20	290
6201825	22	78	92	28	50	0	20	290
9058008	44	156	184	56	100	0	40	580
9111045	22	78	92	28	50	0	20	290
6201526	22	78	92	28	50	0	20	290
6201539	22	78	92	28	50	0	20	290
6201719	22	78	92	28	50	0	20	290
6201720	22	78	92	28	50	0	20	290
6201721	22	78	92	28	50	0	20	290
6201722	22	78	92	28	50	0	20	290
6201723	22	78	92	28	50	0	20	290
6201724	22	78	92	28	50	0	20	290
6201828	22	78	92	28	50	0	20	290
6201939	22	78	92	28	50	0	20	290
6202013	22	78	92	28	50	0	20	290
6202261	22	78	92	28	50	0	20	290
9112004	44	156	184	56	100	0	40	580
9112008	22	78	92	28	50	0	20	290
9113016	22	78	92	28	50	0	20	290
9901243	11	39	46	14	25	0	10	145
9901496	44	156	184	56	100	0	40	580
9901913	44	156	184	56	100	0	40	580
GR4501636	22	78	92	28	50	0	20	290

Tabella 5.1: consumi per modello e domanda annua stimata per i componenti di acquisto

Per ciascun codice si sono poi analizzati gli acquisti effettuati nell'anno 2˙019, cioè il numero di ordini *n* lanciati; l'analisi dei consumi e i quantitativi ordinati hanno permesso di calcolare la giacenza media G_m *[pz]* presente a magazzino durante il periodo di tempo preso in esame.

Con il prezzo di acquisto *p [€/pz]* della parte, il costo dell'ordinare C_{ord} stimato in 65 *[€/ordine]* e il tasso di giacenza *i*=20% si è calcolato quello che sarebbe stato il lotto ottimale di acquisto di ciascun componente nell'anno 2˙019, secondo la formula di Harris [Harris et al., 1˙913]:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * D_a * C_{ord}}{p * i}};$$

CODICE ARTICOLO	Giacenza Media *[pz]*	Ordini Annuali n lanciati	Prezzo *[€ /pz]*	Lotto Economico di Acquisto *[pz]*
3703363	153	1	0,85 €	470
4902021A	100	1	3,00 €	250
6201825	270	2	21,00 €	94
9058008	100	1	0,21 €	1346
9111045	230	2	0,46 €	639
6201526	310	2	12,99 €	120
6201539	309	2	1,33 €	376
6201719	500	1	0,14 €	1160
6201720	227	2	12,60 €	122
6201721	221	2	6,90 €	165
6201722	199	2	13,80 €	116
6201723	208	2	11,70 €	126
6201724	329	2	13,29 €	119
6201828	336	2	0,30 €	792
6201939	302	1	0,71 €	516
6202013	202	2	11,00 €	130
6202261	150	2	0,60 €	560
9112004	480	3	0,42 €	951
9112008	480	4	0,31 €	774
9113016	150	1	0,28 €	827
9901243	820	4	3,07 €	175
9901496	150	1	1,00 €	614
9901913	500	1	1,15 €	572
GR4501636	255	5	27,50 €	82

Tabella 5.2: calcolo dei lotti economici di acquisto per alcune parti di assemblaggio

Come trattato nel Capitolo 2, il lotto economico di acquisto vuole trovare il trade-off fra i costi di giacenza e i costi dell'ordinare: i primi aumentano all'aumentare della quantità acquistata, poiché la giacenza media G_m a magazzino è più elevata; i secondi invece

calano all'aumentare del quantitativo ordinato, poiché più si compra e meno ordinativi devono essere effettuati. Si hanno dunque le seguenti funzioni di costo:

$$C_{GIAC.} = G_m * i * p;$$

$$C_{ORD.} = n_{ord.} * C_{ord} = \frac{D_a}{EOQ} * C_{ord.};$$

$$C_{TOT} = C_{GIAC.} + C_{ORD.} = G_m * i * p + \frac{D_a}{EOQ} * C_{ord.};$$

Per i codici considerati, si è voluta fare una valutazione del costo totale annuo relativo al 2˙019. Si è quindi calcolato l'ammontare totale sommando i costi di giacenza della parte e i costi dell'ordinare; per calcolare quest'ultimi, si sono presi a riferimento gli ordinativi codificati a gestionale per il 2˙019 e si sono moltiplicati per il costo unitario d'ordinazione assunto in precedenza.

È stato poi ripetuto il medesimo calcolo, ma stavolta assumendo di ordinare con dei lotti economici: con la stessa domanda annua D_a *[pz/anno]*, si sono ottenuti logicamente un numero di ordinativi effettuati $n_{ord.}$ e una giacenza media G_m *[pz]* differenti da quelli ottenuti senza il lotto economico di acquisto.

Codice Articolo	Giacenza Media *[pz.]*	Ordini Annuali lanciati *[ordini/anno]*	Prezzo di Acquisto *[€/pz.]*	Lotto Economico di Acquisto *[pz.]*	C tot. senza EOQ *[€]*	C tot. con EOQ *[€]*
3703363	153	1	0,85 €	470	91,01 €	80,06 €
4902021A	100	1	3,00 €	250	125,00 €	150,40 €
6201825	270	2	21,00 €	94	1.264,00 €	397,93 €
9058008	100	1	0,21 €	1346	69,16 €	56,01 €
9111045	230	2	0,46 €	639	151,21 €	58,96 €
6201526	310	2	12,99 €	120	935,57 €	313,00 €
6201539	309	2	1,33 €	376	212,19 €	100,14 €
6201719	500	1	0,14 €	1160	79,00 €	32,49 €
6201720	227	2	12,60 €	122	702,04 €	308,23 €
6201721	221	2	6,90 €	165	434,98 €	228,09 €
6201722	199	2	13,80 €	116	679,24 €	322,58 €
6201723	208	2	11,70 €	126	616,72 €	297,02 €
6201724	329	2	13,29 €	119	1.004,68 €	316,59 €
6201828	336	2	0,30 €	792	150,16 €	47,56 €
6201939	302	1	0,71 €	516	107,70 €	73,01 €
6202013	202	2	11,00 €	130	574,40 €	288,00 €
6202261	150	2	0,60 €	560	148,00 €	67,26 €
9112004	480	3	0,42 €	951	234,94 €	79,20 €
9112008	480	4	0,31 €	774	290,14 €	48,66 €
9113016	150	1	0,28 €	827	73,25 €	45,54 €
9901243	820	4	3,07 €	175	762,82 €	107,51 €
9901496	150	1	1,00 €	614	95,00 €	122,80 €
9901913	500	1	1,15 €	572	179,90 €	131,63 €
GR4501636	255	5	27,50 €	82	1.727,50 €	455,38 €

Tabella 5.3: confronto fra i costi totali, senza e con lotto economico di acquisto

L’acquistare con lotti economici porta ad un risparmio su base annua di circa 6˙600 *[€]* per i soli componenti di acquisto che si sono presi in considerazione. La differenza fra i costi nasce dal fatto che certi codici sono stati ordinati svariate volte in “piccole” quantità, quando magari il loro basso prezzo avrebbe giustificato lotti di dimensioni più considerevoli. Oppure, articoli con un elevato costo unitario sono stati acquistati in piccoli lotti per poter, giustamente, tenere bassi i costi di giacenza; così facendo si sono però messi in secondo piano i costi di gestione dell’ordine, il tempo perso al ricevimento merce e il tempo impiegato nel controllo, facendo così aumentare il costo totale dell’intero processo di acquisto e di gestione del componente.

Ciò che comunque guida tutto il calcolo dei lotti economici di acquisto e che è di fondamentale importanza è la domanda stimata per un certo componente; essa è basata sulle opinioni degli esperti, sui dati storici e sulle previsioni che dovrebbero essere il più accurate possibili.

Infine, si deve tener conto dei limiti del modello: l’acquisto infatti non è immediato, ma ci sono anche i lead-time di approvvigionamento da considerare; inoltre, non sempre un acquisto che risulta ottimale per l’azienda lo è anche per il fornitore della parte di assemblaggio o per il trasportatore della stessa.

5.2 Scorte di Sicurezza:

Durante la rilevazione delle diverse fasi, si è potuto comprendere come alcuni componenti siano critici per il sistema di assemblaggio.

Una fonte di criticità deriva dalle parti di assemblaggio verniciate le quali, a seconda del loro colore specifico, richiedono un certo lead-time per essere disponibili sulla linea di assemblaggio. Essendo infatti la verniciatura una lavorazione data in outsourcing, non sempre la schedulazione dei colori dell'impianto esterno coincide con quella dei componenti richiesti per l'assemblaggio dei prodotti Radiocomandati; in questi casi si è quindi costretti alla rischedulazione della linea di assemblaggio e al montaggio di altri modelli con componenti di colorazioni differenti. Un'ulteriore criticità legata alle parti verniciate riguarda le operazioni di ricambio legate a certe parti di assemblaggio: capita infatti che alcuni Radiocomandati tornino alla casa madre per subire delle riparazioni; esse si rendono necessarie o per danni subìti dal prodotto durante il suo ciclo di lavorazione o perché sono operazioni di sostituzione di componenti che si sono usurati meccanicamente, come le lame di taglio o il piatto stesso.

Solitamente i componenti sono verniciati nella quantità esatta richiesta dalla linea di assemblaggio; se in un'ottica di gestione snella questo può essere un bene, dall'altro lato ciò ritarda di molto le operazioni di riparazione, poiché non è mai presente una scorta cuscinetto che in situazioni di necessità possa risultare utile per non prolungare eccessivamente i tempi di manutenzione.

Infine, alcuni componenti risultano essere critici dal punto di vista dell'approvvigionamento: certe parti del kit telaio e del kit motore provengono dal Medio Oriente e dall'Asia, allungando inevitabilmente i tempi di approvvigionamento dovuti ai diversi fattori di variabilità (trasporto per nave, fermo alla dogana, problemi di qualità).

Si riportano in Tabella 5.4 alcune parti di assemblaggio, critiche o per la loro colorazione in verniciatura o per il loro approvvigionamento: per ognuna di esse ne è stato calcolato il consumo mensile in pezzi per l'anno 2̇019, la deviazione standard mensile σ_d *[pz/mese]* e il lead-time medio di approvvigionamento, espresso in giorni *[gg]*.

	CONSUMI MENSILI PARTI DI ASSEMBLAGGIO *[pz./mese]*													
CODICE ARTICOLO	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.	dev. std. *[pz./mese]*	LT *[gg.]*
6201726-B	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	14
6201901	2	10	11	3	15	7	6	4	10	5	6	14	4,223850032	14
4501636	4	22	22	6	50	16	22	4	20	14	16	32	12,86291357	14
IK6201624	20	16	64	12	36	36	32	0	20	28	20	0	17,51536122	14
6201624	8	44	44	12	100	32	44	16	40	28	32	64	24,97028537	14
6202342OR	0	4	4	0	5	0	4	2	0	0	5	0	2,215646838	14
6202470	2	11	18	6	29	12	15	2	15	14	3	16	7,867751594	14
6201665	2	11	11	3	25	8	11	4	10	7	8	16	6,242571343	14
6202345	2	11	11	3	25	8	11	4	10	7	8	16	6,242571343	14
6201993	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	30
6202453	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	14
6202696	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	30
6202452	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	30
9905253	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	30
6202156	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	55
6202157	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	55
6201751	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	30
6201818A	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	14
6202300	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	20
6202037	14	30	54	12	68	34	40	8	30	28	28	32	17,01603522	20
6202795	2	14	22	6	24	11	14	4	15	12	6	14	6,755469165	55

Tabella 5.4: consumi mensili, deviazione standard e lead-time di approvvigionamento dei componenti critici

Noto il consumo annuale D_a *[pz/anno]*, il costo dell'ordinare C_{ord} stimato in 65 *[€/ordine]*, il prezzo del componente *p [€]* e il tasso di giacenza *i [%]*, si sono ricavati: la deviazione standard "composta" σ_D *[pz]*, i valori in pezzi dei lotti economici ottimali di verniciatura/acquisto e il numero di richieste/ordinazioni *n* alla fase di verniciatura/di acquisto.

Si riepilogano di seguito le formule utilizzate:

$$\sigma_D = \sigma_d * \sqrt{LT};$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 * D_a * C_{ord}}{p * i}};$$

$$n = \frac{D_a}{EOQ};$$

	CONSUMI MENSILI PARTI DI ASSEMBLAGGIO *[pz./mese]*																
CODICE ARTICOLO	gen.	feb.	mar.	apr.	mag.	giu.	lug.	ago.	set.	ott.	nov.	dic.	dev. std. "composta" *[pz.]*	D annua *[pz.]*	Prezzo p *[€]*	EOQ *[pz.]*	n ordini
6201726-B	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	2,639731391	51	14,63 €	45	1,133333333
6201901	2	10	11	3	15	7	6	4	10	5	6	14	2,885438888	93	20,83 €	51	1,823529412
4501636	4	22	22	6	50	16	22	4	20	14	16	32	8,787042802	228	43,41 €	56	4,071428571
IK6201624	20	16	64	12	36	36	32	0	20	28	20	0	11,96526961	284	43,41 €	62	4,580645161
6201624	8	44	44	12	100	32	44	16	40	28	32	64	17,05795232	464	23,98 €	107	4,336448598
6202342OR	0	4	4	0	5	0	4	2	0	0	5	0	1,513574937	24	54,87 €	16	1,5
6202470	2	11	18	6	29	12	15	2	15	14	3	16	5,374697548	143	215,03 €	20	7,15
6201665	2	11	11	3	25	8	11	4	10	7	8	16	4,26448808	116	34,22 €	45	2,577777778
6202345	2	11	11	3	25	8	11	4	10	7	8	16	4,26448808	116	130,25 €	23	5,043478261
6201993	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	188	67,00 €	41	4,585365854
6202453	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	2,639731391	51	24,93 €	35	1,457142857
6202696	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	51	6,55 €	68	0,75
6202452	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	51	117,94 €	16	3,1875
9905253	0	4	11	3	9	4	8	0	5	7	0	0	3,864171086	51	618,00 €	7	7,285714286
6202156	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	11,55181563	188	28,94 €	62	3,032258065
6202157	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	11,55181563	188	28,44 €	63	2,984126984
6201751	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	8,53158126	188	72,10 €	39	4,820512821
6201818A	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	5,828179541	188	5,36 €	144	1,305555556
6202300	7	15	27	6	34	17	20	4	15	14	13	16	6,966006928	188	348,14 €	18	10,44444444
6202037	14	30	54	12	68	34	40	8	30	28	28	32	13,89353458	378	257,50 €	29	13,03448276
6202795	2	14	22	6	24	11	14	4	15	12	6	14	9,146948489	144	51,89 €	40	3,6

Tabella 5.5: deviazione standard "composta", lotti economici e ordinativi dei componenti critici

Successivamente, per ogni valore del parametro *K* riferito al Livello di Servizio *[%]* desiderato, si è calcolato il valore della corrispondente scorta di sicurezza SS, secondo la formula [Persona et al., 2˙003]:

$$SS = K * \sigma_d * \sqrt{LT};$$

Infine, si sono calcolati i costi di giacenza associati al mantenimento della scorta di sicurezza, i costi della rottura di stock e i costi di mancanza, secondo le formule:

$$C_{GIAC.} = \left(K * \sigma_d * \sqrt{LT}\right) * p * i = SS * p * i;$$

$$C_{RS} = n_{RS} * C_{RS};$$

$$C_{MANC} = n_{RS} * D_{RS} * C_{manc};$$

Il costo della rottura di stock è stato assunto come C_{RS}=80 *[€/RS]*: è il costo che si è supposto di sostenere per la rischedulazione della linea, la ridefinizione del nuovo

prodotto da produrre nel caso mancasse la parte e il nuovo feeding dei componenti da parte degli operatori della logistica. Non è un costo eccessivamente elevato perché, essendo la parte verniciata quasi sempre specifica di un solo modello, è possibile passare alla produzione di un altro prodotto della famiglia senza che il sistema di assemblaggio si blocchi totalmente.

Discorso diverso vale per il costo di mancanza $C_{MANC}[€/pz\ mancante]$, nonostante per l'azienda non siano previsti costi di penalità o di mancata vendita al cliente. Tuttavia, la mancanza di una parte non permette di completare il kit associato a quel componente; l'operatore pertanto è costretto a interrompere la lavorazione di un determinato gruppo del Radiocomandato (sia esso il gruppo telaio, il kit piatto-lama/trincia o il gruppo motore), a scaricarlo a bordo linea e ad iniziare un'altra lavorazione. Il costo di mancanza C_{MANC} è stato perciò assunto uguale al costo del kit da assemblare, poiché senza la specifica parte esso non può essere terminato. Si può quindi definire la funzione di costo totale come:

$$C_{TOT} = C_{GIAC} + C_{RS} + C_{MANC};$$

K	LS [%]	D RS	SS [pz.]	C giacenza [€/anno]	RS [RS./anno]	D RS [pz. mancanti/RS.]	C rottura stock [€/anno]	C mancanza [€/pz. anno]	C totale [€/anno]
2,0	0,98	0,37	5,279462783	28,96 €	0,033222857	0,976700615	€ 2,66	97,35 €	128,96 €
2,2	0,99	0,35	5,807409061	31,85 €	0,020254286	0,923905987	€ 1,62	56,14 €	89,61 €
2,4	0,99	0,32	6,335355339	34,75 €	0,011948571	0,844714045	€ 0,96	30,28 €	65,98 €
2,6	1,00	0,3	6,863301617	37,64 €	0,006848571	0,791919417	€ 0,55	16,27 €	54,46 €
2,8	1,00	0,26	7,391247896	40,54 €	0,003788571	0,686330162	€ 0,30	7,80 €	48,64 €
3,0	1,00	0,21	7,919194174	43,44 €	0,00204	0,554343592	€ 0,16	3,39 €	46,99 €
3,2	1,00	0,13	8,447140452	46,33 €	0,00102	0,343165081	€ 0,08	1,05 €	47,46 €

Tabella 5.6: costo totale minimo e scorta di sicurezza SS, componente con codice [6202453]

Il punto di minimo della funzione di costo totale C_{TOT} corrisponde al minimo costo associato ad una certa quantità della scorta di sicurezza SS (Tabella 5.6); quest'ultima a sua volta è legata alla variabilità del componente, al lead-time di approvvigionamento e al Livello di Servizio *K* desiderato. Quindi, in corrispondenza del costo minimo, ad ogni componente viene associata la rispettiva scorta di sicurezza SS (Tabella 5.7).

CODICE ARTICOLO	dev. std. "composta" *[pz.]*	D annua *[pz.]*	Prezzo p *[€]*	EOQ *[pz.]*	n ordini	SS *[pz.]*
6201726-B	2,639731391	51	14,63 €	45	1,1333	8
6201901	2,885438888	93	20,83 €	51	1,8235	9
4501636	8,787042802	228	43,41 €	56	4,0714	27
IK6201624	11,96526961	284	43,41 €	62	4,5806	36
6201624	17,05795232	464	23,98 €	107	4,3364	52
6202342OR	1,513574937	24	54,87 €	16	1,5	4
6202470	5,374697548	143	215,03 €	20	7,15	14
6201665	4,26448808	116	34,22 €	45	2,5778	11
6202345	4,26448808	116	130,25 €	23	5,0435	10
6201993	8,53158126	188	67,00 €	41	4,5854	24
6202453	2,639731391	51	24,93 €	35	1,4571	8
6202696	3,864171086	51	6,55 €	68	0,75	12
6202452	3,864171086	51	117,94 €	16	3,1875	11
9905253	3,864171086	51	618,00 €	7	7,2857	9
6202156	11,55181563	188	28,94 €	62	3,0323	35
6202157	11,55181563	188	28,44 €	63	2,9841	35
6201751	8,53158126	188	72,10 €	39	4,8205	26
6201818A	5,828179541	188	5,36 €	144	1,3056	19
6202300	6,966006928	188	348,14 €	18	10,444	20
6202037	13,89353458	378	257,50 €	29	13,034	42
6202795	9,146948489	144	51,89 €	40	3,6	28

Tabella 5.7: calcolo della scorta di sicurezza SS che minimizza il costo totale

5.3 Scelta della Feeding-Policy:

A valle di tutta quella che è stata la definizione delle diverse fasi di assemblaggio, del calcolo dei lotti economici di acquisto e della definizione della scorta di sicurezza per i componenti critici, si rende necessario definire la politica ottimale da adottare per un corretto feeding delle parti alla linea di assemblaggio. Si è deciso di prendere a riferimento come periodo temporale una settimana lavorativa, dove lo scheduling del sistema di assemblaggio prevede la produzione dei tre modelli precedentemente definiti. I prodotti *B, K* e *T* vengono assemblati secondo il mix utilizzato per il bilanciamento: le mattinate sono dedicate alla produzione del modello *K* (50% del mix produttivo), i pomeriggi alla produzione alternata dei modelli *T* e *B* (30% e 20% del mix produttivo rispettivamente).

5.3.1 Gestione dei componenti a domanda indipendente: tutti quei componenti a domanda indipendente quali viti, rondelle, dadi, ghiere, rasamenti, guaine anticalore, che sono consumati in grandi quantità variabili su tutti i prodotti vengono tenuti presso la stazione di lavoro. Il loro riapprovvigionamento viene effettuato tramite una gestione a kanban garantita da un operatore della logistica, il quale provvede a sostituire il contenitore in esaurimento con uno nuovo. Si ritornerà in seguito sull'approvvigionamento di questa tipologia di componenti (Paragrafo 5.4.2).

5.3.2 Gestione dei componenti a domanda dipendente: i componenti a domanda dipendente sono tutte quelle parti di assemblaggio il cui coefficiente di utilizzo all'interno della linea è strettamente legato con il numero di prodotti finiti uscenti dal sistema. Per implementare una corretta politica di feeding, si è deciso di analizzare gli indici risultanti dalla costruzione delle matrici *Q* e *Z*. Per ogni codice articolo, la matrice *Q* ne contiene i coefficienti di utilizzo in base al prodotto previsto dallo scheduling della linea. Per ogni componente, il valore

$$Q_h = \sum_{j=1}^{m} Q_{hj} ;$$

ne indica la quantità richiesta nel periodo di tempo considerato; insieme al valore di Q_h si calcola il valore della deviazione standard σ, atta a far comprendere quanto l'utilizzo di un componente si discosti dal suo coefficiente medio di utilizzo. L'indice Q_j:

$$Q_j = \sum_{h=1}^{n} Q_{hj} ;$$

indica invece il quantitativo di componenti richiesti per l'assemblaggio del prodotto all'interno dell'unità di tempo *m* considerata (mattina o pomeriggio in questo caso).

	LUN. *[pz.]*		MAR. *[pz.]*		MER. *[pz.]*		GIO. *[pz.]*		VEN. *[pz.]*			
CODICE ARTICOLO	matt. (*K*)	pom. (*T*)	matt. (*K*)	pom. (*B*)	matt. (*K*)	pom. (*T*)	matt. (*K*)	pom. (*B*)	matt. (*K*)	pom. (*T*)	Qh *[pz.]*	dev.std. *[pz./sett.]*
6201507	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	10	1,054
6201620A	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000
6201726-B	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	5	0,527
6201727-B	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	5	0,527
6201858	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000
6202340	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000
6202426	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000
6201814	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	7	0,483
6202624-G	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	5	0,527
6202795	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000
IK6201708B	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,422
6201994	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	7	0,483
6201699	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0,527
6202726	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0,527
6202584	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,422
0033909	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	5	0,527
0004043A	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	13	0,483
6201751	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000
6202098	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,422
6202445	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000
6201725-G	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,422
6202667	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0,422
Qj *[pz.]*	50	59	50	58	50	59	50	58	49	60		

Tabella 5.8: costruzione della matrice Q, calcolo dei valori Q_h e Q_j

La matrice *Z* invece è una matrice formata solo da 1 e 0, a seconda che il suo corrispondente valore all'interno della matrice *Q* sia diverso o uguale a zero. Il calcolo del valore

$$Z_h = \sum_{j=1}^{m} Z_{hj} ;$$

rappresenta il numero dei periodi totali nei quali è richiesto il componente. Dal rapporto fra Z_h e *m*, con *m* indicante il numero di periodi in considerazione, si evince se il componente può essere gestito tramite una politica di centralizzazione a magazzino o di decentralizzazione a bordo linea: nel caso in esame, per valori del rapporto $(Z_h/m) \leq 0{,}5$ si è deciso di adottare una politica di stoccaggio centralizzata, poiché il codice specifico con tale valore di soglia è richiesto dalla linea di assemblaggio al massimo per la metà

dei prodotti previsti dallo scheduling. Per valori invece del rapporto (Z_h/m)> *0,5* si è proceduto con lo step 2 della procedura iterativa.

	LUN. [pz.]		MAR. [pz.]		MER. [pz.]		GIO. [pz.]		VEN. [pz.]				
CODICE ARTICOLO	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt (K)	pom (T)	Zh	Zh/m	CENT/DECENT
6201507		1		1		1		1		1	5	0,5	CENT
6201620A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6201726-B		1		1		1		1		1	5	0,5	CENT
6201727-B		1		1		1		1		1	5	0,5	CENT
6201858	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6202340	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6202426	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6201814	1		1	1	1		1	1		1	7	0,7	DECENT
6202624-G		1		1		1		1		1	5	0,5	CENT
6202795	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
IK6201708B				1				1			2	0,2	CENT
6201994	1		1	1	1		1	1	1		7	0,7	DECENT
6201699	1		1		1		1		1		5	0,5	CENT
6202726	1		1		1		1		1		5	0,5	CENT
6202584				1				1			2	0,2	CENT
0033909	1		1		1		1		1		5	0,5	CENT
0004043A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6201751	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6202098				1				1			2	0,2	CENT
6202445	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	DECENT
6201725-G				1				1			2	0,2	CENT
6202667				1				1			2	0,2	CENT
Zj	20	21	20	29	20	21	20	29	19	22			

Tabella 5.9: costruzione della matrice Z e decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 1

Per tutti quei componenti che indicano una gestione decentralizzata, si è calcolato il rapporto $\frac{\sigma}{\left(\frac{Q_h}{m}\right)}$: valori di tale rapporto compresi nell'intervallo (0-0,2) indicano che la deviazione standard del componente è trascurabile rispetto al suo valore medio di utilizzo; pertanto, non presentando la parte di assemblaggio grosse variazioni nel suo feeding alla linea, essa può essere decentralizzata presso la stessa. Valori invece del rapporto $\frac{\sigma}{\left(\frac{Q_h}{m}\right)}$> 0,2 sono stati evidenziati in giallo all'interno della Tabella 5.10:

	LUN. [pz.]		MAR. [pz.]		MER. [pz.]		GIO. [pz.]		VEN. [pz.]				
CODICE ARTICOLO	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt. (K)	pom. (T)	Qh [pz.]	dev.std. [pz./sett.]	(dev.std)/(Qh/m)
6201620A	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000	0
6201858	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000	0
6202340	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	20	0,000	0
6202426	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000	0
6202470	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	7	0,483	0,690065559
6202289	21	28	21	21	21	28	21	21	21	28	231	3,381	0,146377543
9058008	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	23	0,823	0,35794461
6201814	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	7	0,483	0,690065559
6202795	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000	0
6201994	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	7	0,483	0,690065559
0004043A	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	13	0,483	0,371573763
6201751	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000	0
6202445	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	0,000	0

Tabella 5.10: decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 2

I componenti che hanno un rapporto $\frac{\sigma}{\left(\frac{Q_h}{m}\right)}$> 0,2 presentano un consumo molto variabile della parte, pertanto per decidere se il componente debba essere centralizzato o meno è necessario considerarne il costo unitario C_h (Tabella 5.11, decisione sul costo).

	LUN. [pz.]		MAR. [pz.]		MER. [pz.]		GIO. [pz.]		VEN. [pz.]		
CODICE ARTICOLO	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt. (K)	pom. (T)	matt. (K)	pom. (B)	matt. (K)	pom. (T)	DECISIONE SUL COSTO
6202470	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	DECISIONE SUL COSTO
9058008	3	2	3	1	3	2	3	1	3	2	DECISIONE SUL COSTO
6201814	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	DECISIONE SUL COSTO
6201994	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	DECISIONE SUL COSTO
0004043A	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	DECISIONE SUL COSTO

Tabella 5.11: decisione di centralizzazione/decentralizzazione, step 3

Si tratta di codici il cui costo unitario è minore del 5% del costo totale del prodotto finito, pertanto anch'essi come i precedenti possono essere decentralizzati a bordo della linea di assemblaggio.

Considerando ora i componenti che si è deciso di stoccare nel magazzino centralizzato, per nessuno di essi viene adottata a prescindere una politica di feeding tramite Pallet-to-Work Station. Per ognuno di loro, se ne calcola il valore dell'indice

$$R_h = \frac{Q_h}{Z_h};$$

che rappresenta la quantità media del componente richiesta per ogni ordine di produzione. Esso viene messo in relazione con il parametro Q_p, che indica la capacità dell'unità di carico sulla quale è stoccato il componente e tiene conto delle dimensioni dello stesso [Battini et al., 2˙008]. Nello specifico caso in esame, nessuna delle parti richieste alla linea nell'unità di tempo è assimilabile alla capacità della relativa unità di carico, stimata in diverse decine di unità (50-60 pezzi in media); pertanto, non ha alcun senso trasportare continuamente il pallet dal magazzino alla linea di assemblaggio, poiché si verrebbero a sostenere dei costi di trasporto troppo elevati.

Il successivo step riguardante la scelta della politica di feeding ottimale prevede il calcolo dei tempi per portare i componenti al sistema di assemblaggio; questo per cercare di minimizzare il tempo totale di approvvigionamento alla linea, il tempo di prelievo del componente in linea e la distanza totale percorsa dagli operatori della logistica (attività di picking all'interno del magazzino e attività di trasporto delle parti alla linea di assemblaggio).

Dai dati ricavati dal gestionale aziendale inerenti alle diverse parti di assemblaggio, si stimano in circa 80 unità il numero dei componenti N_C (una quindicina per ogni stazione, tolta la minuteria) che vanno a formare il prodotto finito. Tutti questi componenti devono essere gestiti in modo centralizzato, poiché specifici di uno o pochi modelli della linea di assemblaggio; essi vengono perciò portati alla linea secondo il mix previsto dalla schedulazione del sistema.

L'area di magazzino per lo stoccaggio delle parti riferite ai modelli *B*, *K* e *T* è stata stimata in 15 metri nel suo lato frontale e in 8 metri nella sua profondità. Come da bilanciamento effettuato, la richiesta della linea di assemblaggio è di 2 *[pz/gg]* e, essendo la linea di tipo Mixed-Model, si cerca di ragionare in un'ottica di gestione snella producendo dei lotti unitari di prodotto finito, provando ad offrire la massima variabilità. Gli altri dati, relativi al picking dei componenti dell'operatore logistico, al picking dell'operatore nella linea di assemblaggio e al prelievo del pallet a magazzino sono stati stimati dall'osservazione diretta del personale impiegato nelle mansioni descritte.

DESCRIZIONE PARAMETRO	*VALORE PARAMETRO*
Area di magazzino, lunghezza frontale *U [m]*	**15 *m.***
Area di magazzino, profondità *V [m]*	**8 *m.***
Distanza Magazzino-Linea di Assemblaggio L_{W-AL}*[m]*	**35 *m.***
Numero medio di parti nel prodotto finito N_C	**80**
Produttività giornaliera della linea *Q [pz/gg]*	**2 *[pz/gg]***
Dimensione del Lotto *L [pz]*	**1 *[pz]***
Tempo di prelievo in linea dal pallet t'_h *[s]*	**20 *[s]***
Tempo di prelievo in linea dal trollley t''_h *[s]*	**10 *[s]***
Tempo di prelievo in linea dal kit t'''_h*[s]*	**10 *[s]***
Tempo di prelievo UdC a magazzino t_{p-p} *[s]*	**30 *[s]***
Tempo di prelievo nell'attività di picking t'_p*[s/comp.]*	**15 *[s/comp.]***
Tempo per la preparazione dell'ordine t''_p *[s/comp.]*	**20 *[s/comp.]***
Velocità media del carrello elevatore *v [m/s]*	**1,6 *[m/s]***

Tabella 5.12: scelta della politica ottimale di feeding, stima dei parametri

Si assume infine di valore unitario il parametro K_C, indicante il rapporto fra il costo orario dell'operatore adibito all'assemblaggio e l'operatore addetto alla logistica.

Per ognuna delle tre politiche di feeding si calcola il valore del $t_{ass.}$, del t_{carry} e del $t_{picking}$, ognuno dei quali facente riferimento rispettivamente al prelievo dell'addetto all'assemblaggio dei componenti in linea, al trasporto delle parti di assemblaggio e alle attività di picking a magazzino (quest'ultime due mansioni svolte dall'addetto alla logistica). Si sono ricavate poi le distanze totali D_{tot} percorse dal magazziniere per il trasporto delle parti di assemblaggio, a seconda della politica di feeding utilizzata.

- ***Feeding tramite Pallet-to-Work Station:***

$$\boldsymbol{t_{tot\,P-W}} = K_C * Q * N_C * t'_h + \frac{2 * \left[L_{W-AL} + \left(\frac{U}{4} + \frac{V}{2}\right)\right] * N_C * \frac{Q}{L}}{60 * v} + N_C * \frac{Q}{L} * 2 * t_{p-p};$$

$$D_{tot} = 2 * \left[L_{W-AL} + \left(\frac{U}{4} + \frac{V}{2}\right)\right] * N_C * \frac{Q}{L};$$

- ***Feeding tramite Trolley-to-Work Station:***

$$t_{tot\,T-W} = K_C * Q * N_C * t_h'' + \frac{[2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * N * \frac{Q}{L}}{60 * v} + N_C * \frac{Q}{L} * t_p'' + N_C * Q * t_p';$$

$$D_{tot} = [2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * N * \frac{Q}{L};$$

- ***Feeding tramite Kit-to-Assembly Line:***

$$t_{tot\,A-L} = K_C * Q * N_C * t_h''' + \frac{[2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * Q}{60 * v} + N_C * Q * t_p'' + N_C * Q * t_p';$$

$$D_{tot} = [2 * L_{W-AL} + (U + 2V)] * Q;$$

FEEDING POLICY	D_{tot}	$t_{ass.}$ ***[min.]***	t_{carry} ***[min.]***	$t_{picking}$ ***[min.]***
PALLET-TO-WORK STATION	***13˙680 m.***	$t_{ass.}$ ***≅53 min.***	$t_{carry} \cong$ **142 *min.***	$t_{p.}$ ***≅160 min.***
TROLLEY-TO-WORK STATION	***1˙010 m.***	$t_{ass.} \cong$ **27 *min.***	$t_{carry} \cong$ **11 *min.***	$t_{p.} \cong$ **93 *min.***
KIT-TO-ASSEMBLY LINE	***202 m.***	$t_{ass.}$***≅27 min.***	$t_{carry} \cong$ ***2 min.***	$t_{p.} \cong$ **93 *min.***

Tabella 5.13: scelta della politica ottimale di feeding, calcolo di $t_{ass}, t_{carry}, t_{picking}$

La Tabella 5.13 mostra come, al variare della politica di feeding, cambino considerevolmente i valori della distanza percorsa e delle tempistiche necessarie all'alimentazione della linea.

Fondamentali nello studio sono il numero delle parti del prodotto finito da trasportare N_c, la produttività giornaliera desiderata *Q [pz/gg]* e le dimensioni del lotto di produzione *L [pz]*. Nel caso specifico, i valori inerenti all'operatore addetto all'assemblaggio sono più elevati nel caso di una feeding-policy tramite Pallet-to-Work Station, dovendo egli prelevare ogni parte dalla specifica unità di carico (UdC) posta a bordo linea (circa 53 minuti, situazione attuale presente nelle Isole di assemblaggio 1 e 2 Radiocomandati).

Per quanto riguarda invece l'operatore della logistica, il feeding tramite pallet comporta elevate tempistiche sia per trasportare i singoli pallet che per prelevarli dalle scaffalature presenti a magazzino (142 e 160 minuti al giorno rispettivamente); i tempi di percorrenza

invece con un feeding tramite Trolley-to-Work Station o Kit-to-Assembly Line sono ordini di grandezza inferiori rispetto alla feeding-policy del Pallet-to-Work Station.

Infine, osservando l'attività di picking, i tempi sono tra loro confrontabili poiché il magazziniere deve preparare i trolley specifici per ciascuna stazione o il kit contenente tutte le parti di un prodotto completo (circa 93 minuti con entrambe le feeding-policy).

Sono riportati nel diagramma sottostante le stime delle tempistiche necessarie per ogni politica di alimentazione della linea Radiocomandati, assumendo una produttività giornaliera $Q= 2\ [pz/gg]$ e un lotto unitario medio di produzione $L= 1\ [pz]$, cercando quindi di offrire al mercato il maggiore mix possibile di prodotti.

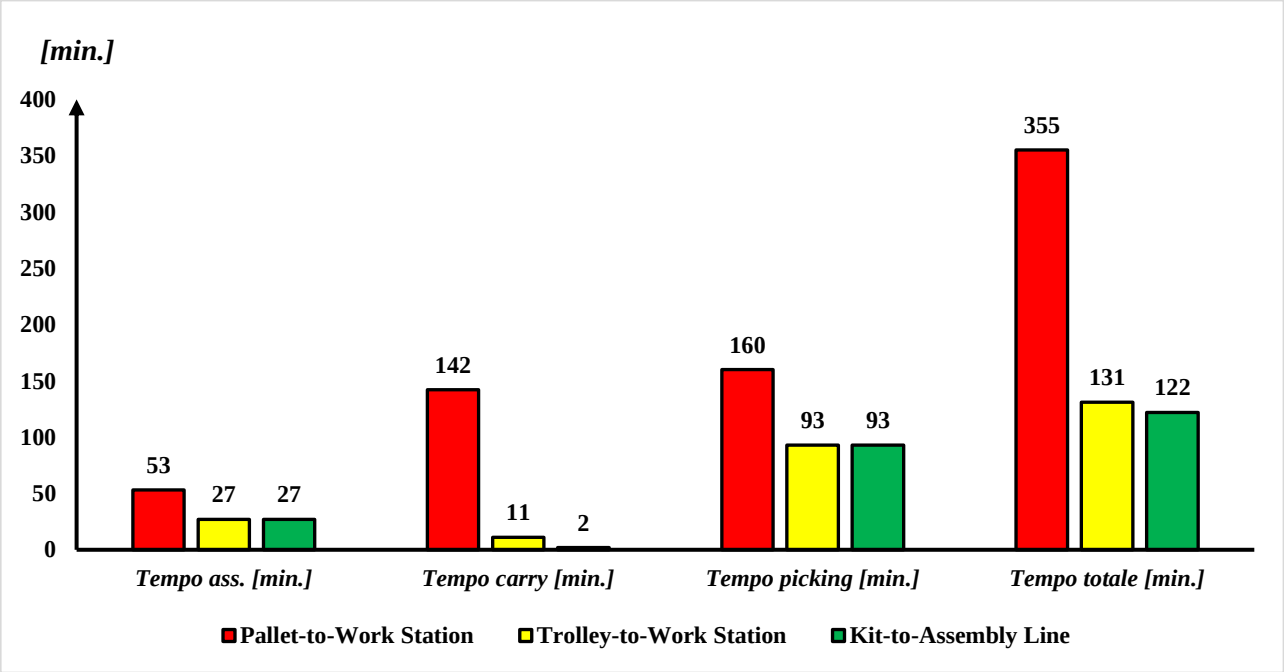

Figura 5.1: scelta della politica ottimale di feeding, tempi [min.] con Q=2 [pz/gg] ed L=1 [pz]

Seppure di poco, la feeding-policy tramite kitting alla linea di assemblaggio (Kit-to-Assembly Line) risulta essere la più conveniente (122 minuti totali). Tuttavia, a causa dell'elevato numero di componenti formanti il prodotto finito e dell'ingombro di alcuni di essi, risulta difficile gestire il tutto tramite un unico kit viaggiante. Si è deciso allora di adottare la feeding-policy del Trolley-to-Work Station, dove un trolley preparato nel magazzino centrale è portato ad ognuna delle stazioni di assemblaggio che compongono il sistema (131 minuti totali con questa politica di feeding).

Il calcolo relativo alle tempistiche che ogni feeding-policy implica, non può prescindere dalle dimensioni del lotto da assemblare. Finora si è tenuto conto che il lotto prodotto fosse unitario, in modo da offrire la massima variabilità al mercato. Può succedere però che uno specifico rivenditore richieda un lotto di Radiocomandati tutti uguali fra loro; assumendo il numero delle parti da gestire N_C, la produttività Q della linea e tutti gli altri parametri uguali al caso precedente, la Figura 5.2 mostra la feeding-policy ottimale nel caso alla linea di assemblaggio venga richiesto un lotto di prodotti confrontabile con quello che viene solitamente richiesto all'azienda, cioè $L = 5\ [pz.]$.

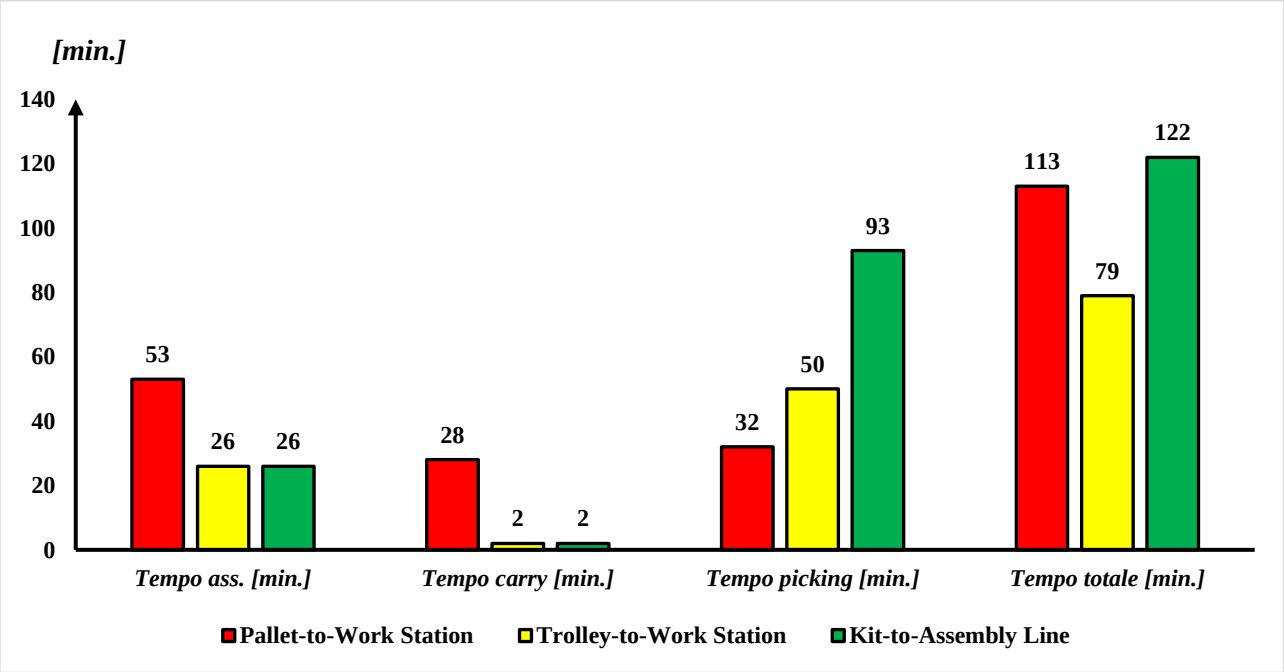

Figura 5.2: scelta della politica ottimale di feeding, tempi [min.] con Q=2 [pz/gg] ed L=5 [pz]

La Figura 5.2 mostra che con un lotto medio $L = 5\ [pz]$ la feeding-policy tramite Trolley-to-Work Station risulti ancora preferibile al Pallet-to-Work Station, ma non più con lo stesso margine avuto in precedenza: mentre prima si aveva una differenza di 224 minuti nelle due Feeding-Policy, con una dimensione del lotto pari a 5 *[pz]* il margine di guadagno in termini di tempo usando il trolley invece che i diversi pallet si riduce a circa 35 minuti. Nel caso specifico, fissati tutti gli altri parametri del sistema di assemblaggio, quello che più incide sulla politica di feeding ottimale sono dunque la dimensione media del lotto L e il numero delle parti di assemblaggio da gestire N_C.

Infine, la Figura 5.3 mostra il sistema di trasporto delle parti ottimale qualora alla linea di produzione sia richiesta la realizzazione di un lotto di cento Radiocomandati tutti uguali fra loro (produzione in 50 giorni secondo il bilanciamento adottato precedentemente): in questo caso, il minore investimento in termini di tempo/costi della feeding-policy si ha portando alla linea di assemblaggio tutte le parti utilizzando una alimentazione dei componenti tramite pallet.

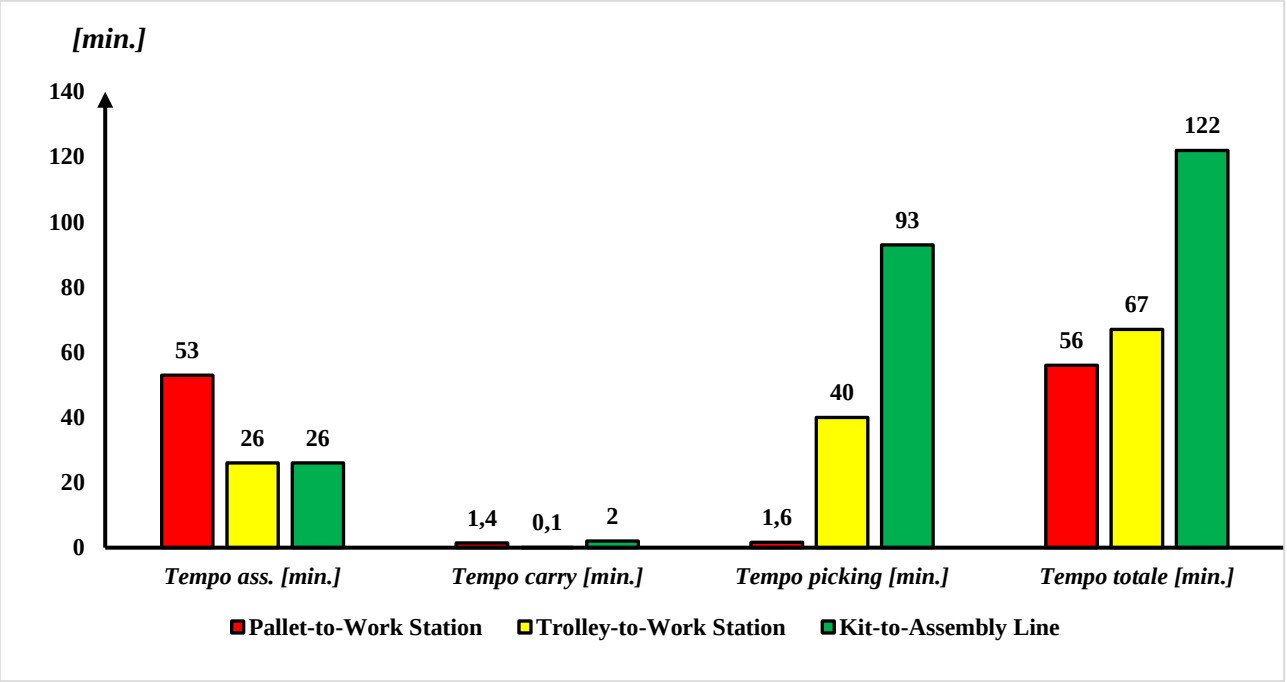

Figura 5.3: scelta della politica ottimale di feeding, tempi [min.] con Q=2 [pz/gg] ed L=100 [pz]

5.4 Gestione delle parti di assemblaggio:

Date le dimensioni dei lotti di produzione in gioco, secondo lo studio effettuato nel Paragrafo 5.3 è risultata più conveniente l'adozione di una alimentazione al sistema di assemblaggio tramite Trolley-to-Work Station per tutte quelle parti di assemblaggio specifiche di un solo modello/pochi modelli, mentre i componenti presenti su tutti i prodotti vengono lasciati a bordo linea (minuteria inclusa). Si presenta poi la necessità della gestione dei componenti voluminosi come i piatti-lama e i gruppi motore; per la minuteria, infine, si è deciso di adottare la gestione tramite contenitori kanban.

5.4.1 Gestione dei componenti voluminosi:

Una problematica che si presentava nell'isola di Assemblaggio 1 era la gestione dei piatti-lama di larghezza variabile e dei gruppi motore: si tratta di componenti ingombranti, il cui pallet intero difficilmente può essere tenuto in prossimità della linea; inoltre, in riferimento al singolo piatto-lama/gruppo motore, esso non può essere portato con un semplice carrello di kitting a ripiani.

Nell'isola di assemblaggio 1, ogni volta che se ne presentava la necessità, il componente veniva portato alla linea dall'operatore della logistica tramite un carrello elevatore; questo avveniva prima della lavorazione di ogni singolo piatto o gruppo motore. Ciò implicava un singolo viaggio di andata e ritorno per ogni piatto/motore portato al sistema; inoltre, spesso l'addetto alla logistica non era disponibile al momento opportuno, costringendo così l'operatore in linea ad attendere l'arrivo delle parti da assemblare. A tutto questo si sommava l'aspetto non ergonomico del sollevamento/posizionamento del gruppo motore e/o del piatto-lama. Si è pensato dunque di preparare già nell'area di magazzino questi componenti, posizionandoli su opportuni carrelli secondo il mix produttivo richiesto dalla linea.

Per i gruppi motore, per esempio, si è scelto di adottare un Transport-Cart dalla misura di 1˙400 mm. * 800 mm., con altezza di 1˙800 mm.: su di esso vengono caricati i diversi motori che vengono portati alla stazione di assemblaggio secondo il mix richiesto dal sistema.

Per i piatti-lama, si è scelto invece un Board-Trolley suddiviso in scomparti, entro ognuno dei quali è possibile impilare un piatto-lama (misura 70 cm. o 80 cm.); il Board-Trolley misura 1˙200 mm. *1˙000 mm. e 1˙200 mm. in altezza, con i diversi vani adattabili alla larghezza del piatto richiesta.

Figura 5.4: esempio di Transport-Cart per gruppo motore [www.trilogiq.com]

Figura 5.5: esempio di Board-Trolley per piatto-lama [www.trilogiq.com]

I prodotti così caricati vengono portati alle stazioni 2 e 3, addette rispettivamente alla preparazione dei gruppi motore e dei piatti-lama; essi sono lasciati in prossimità dell'operatore e volendo possono soddisfare la domanda per n-volte rispetto al tempo ciclo T_C (per esempio, un mix di 10 motori/piatti soddisfa la domanda per una settimana).

5.4.2 Gestione dei componenti di minuteria:

Un'altra inefficienza è data dalla gestione dei componenti di minuteria quali viti, rondelle piane, dadi, ghiere, rasamenti, rondelle speciali, rivetti. L'azienda affida la gestione di tutti questi componenti in outsourcing ad una ditta esterna; essa, con cadenza settimanale, provvede a rifornire tutta l'area Supermarket adibita alla minuteria all'interno dello stabilimento. Le inefficienze nascono da un non corretto allineamento fra i consumi della linea di assemblaggio e il

Figura 5.6: esempio di carrello di stoccaggio minuteria [www.trilogiq.com]

rifornimento del Supermarket: succede infatti a volte che i componenti di minuteria per una specifica fase di assemblaggio siano esauriti, e non sia presente a Supermarket una quantità adeguata di materiale per rifornire l'operatore.

Inoltre, l'addetto all'assemblaggio è sempre costretto a recarsi al Supermarket per effettuare il rifornimento dei propri componenti di minuteria, fattore che introduce inefficienze all'interno del sistema di assemblaggio e ritarda il montaggio dei prodotti Radiocomandati.

Il calcolo dell'adeguato numero di contenitori kanban è stato svolto con l'applicazione delle formule di Molden; la prima formula introdotta calcola il numero di contenitori kanban come:

$$y = \left\lceil \frac{(d) * (LT)}{KB} \right\rceil;$$

- y*:* numero di contenitori kanban necessari;
- d*:* domanda attesa nell'unità di tempo *[pz/gg]* o *[pz/sett.]*;
- *LT:* rappresenta il lead-time di approvvigionamento, espresso in *[gg]* o *[sett.]*;
- *KB:* indica la capacità del contenitore kanban *[pz]*;

Alla formula più classica nel corso del tempo se ne sono aggiunte altre due, che tengono conto rispettivamente di un fattore di sicurezza α (di solito del 10-20%) e di un lead-time di sicurezza *SLT* (Safety Lead-Time):

$$y = \left\lceil \frac{(d) * (LT) * (1 + \alpha)}{KB} \right\rceil;$$

- *α:* fattore incrementale di sicurezza nel calcolo del numero di contenitori kanban;

$$y = \left\lceil \frac{(d) * (LT + SLT)}{KB} \right\rceil;$$

- *SLT:* Safety Lead Time, fattore incrementale del lead-time espresso in *[gg]* o *[sett.]*;

La Tabella 5.14 riporta l'analisi dei consumi per alcuni componenti di minuteria impiegati nell'assemblaggio del gruppo telaio. Per ognuno di essi ne è stato estrapolato il coefficiente di utilizzo e il suo impiego quotidiano, secondo la potenzailità giornaliera in prodotti finiti *[pz/gg]* calcolata per la linea produttiva. Il lead-time è stato stimato in 5 giorni lavorativi, rispettando il regolare approvvigionamento del Supermarket che avviene al momento in azienda; per alcuni componenti meno standardizzati invece (viti particolari e rondelle speciali) si è ipotizzato un tempo di approvvigionamento di 3-4 settimane lavorative. L'applicazione della prima formula di Molden mostra il numero di contenitori kanban settimanali necessari per la gestione della minuteria riferita al gruppo telaio.

CODICE ARTICOLO	CONSUMO UNITARIO *[pz.]*	CONSUMO GIORNALIERO *[pz./gg]*	LT *[gg.]*	CAPACITA' DEL CONTENITORE *[pz.]*	NUMERO CONTENITORI KANBAN
Z/311137	2	4	5	200	1
314811	1	2	5	200	1
315921	4	8	5	200	1
6201622	4	8	5	300	1
6202014	2	4	5	100	1
6202130	8	16	5	400	1
6202289	21	42	15	1000	1
6202728	12	24	5	400	1
6202750	3	6	5	200	1
8900017	16	32	5	1000	1
8900023	8	16	15	1000	1
9004524	6	12	5	200	1
9011141	1	2	5	200	1
9024005	8	16	5	200	1
9024108	6	12	5	200	1
9025025	4	8	5	300	1
9040039	4	8	5	200	1
9053001	12	24	5	500	1
9102001	16	32	5	80	2

Tabella 5.14: calcolo del numero di contenitori kanban, componenti di minuteria per il gruppo telaio

Anche in questo caso emerge come il numero di prodotti Radiocomandati uscenti dal sistema di assemblaggio non implichi un quantitativo eccessivamente elevato di contenitori kanban per avere un approvvigionamento e una gestione corretta dei componenti di minuteria.

Inoltre, per avere una minore perdita di tempo all'interno del sistema di assemblaggio, si è deciso di far gestire agli operatori della logistica l'approvvigionamento della minuteria alla linea, sgravando quindi di tale mansione gli operatori addetti all'assemblaggio dei prodotti Radiocomandati.

5.4.3 Gestione dei componenti tramite Trolley:

La feeding-policy del Trolley-to-Work Station che si è deciso di adottare per i componenti centralizzati avviene con la preparazione in magazzino di opportuni trolley. Nel caso specifico, si è deciso di adottare una flotta di carrelli compatti in alluminio, con dei ripiani disposti su cinque livelli che all'occorrenza possono essere regolati; il carrello misura 1˙200 mm. * 1˙000 mm. e 1˙600 mm. in altezza.

Figura 5.7: esempio di trolley per la feeding-policy alla linea [www.trilogiq.com]

5.5 Layout del nuovo Sistema di Assemblaggio:

Il principale scopo dell'analisi della famiglia dei prodotti Radiocomandati era poter arrivare alla definizione di un nuovo sistema di assemblaggio manuale di tipo Mixed-Model che mettesse insieme i due sistemi precedentemente separati, garantendo una produttività più elevata attraverso un maggior bilanciamento fra i carichi di lavoro dei diversi operatori.

Si sono volute inoltre superare le problematiche di spazio riscontrate nell'isola di assemblaggio 1, la gestione di certe parti di assemblaggio caratteristiche solo di alcuni prodotti e la necessità di attrezzature specifiche come il carro-ponte per lo svolgimento di determinati task.

Tutto ciò necessita di una nuova configurazione del sistema di assemblaggio, in modo da applicare il metodo di bilanciamento scelto e alimentare correttamente il sistema con i componenti. Si è quindi reso necessario ridefinire la configurazione delle diverse stazioni, la disposizione delle attrezzature e il feeding dei materiali ai diversi operatori: la scelta è ricaduta su un'area inutilizzata in prossimità dell'isola di assemblaggio 2, posta fra la stazione di assemblaggio del Radiocomandato rotativo a coltelli e la linea produttiva addetta all'assemblaggio dei motocoltivatori e delle motofalciatrici. Si tratta di una zona dell'area produttiva entro la quale è presente una vecchia catena di montaggio, usata molto saltuariamente e addetta alla produzione di modelli non più di primaria importanza

nel portafoglio prodotti di Barbieri S.r.l. (Capitolo 3, Figura 3.12); l'area è anche dotata di un carro-ponte con capacità massima di sollevamento di 200 kg. (a volte usato anche nell'isola di assemblaggio dei prodotti Trinciasarmenti).

Si è deciso dunque di provare a riconfigurare la nuova area per l'assemblaggio della famiglia di prodotti Radiocomandati.

5.5.1 Stazione 1:

Dal bilanciamento ottenuto con il metodo per tentativi, la stazione 1 si occupa dell'assemblaggio del gruppo telaio e ad essa, dal magazzino, vengono portati tutti quei componenti assemblati solo su uno specifico modello. Sui diversi ripiani del trolley sono disposti gli attacchi e i supporti cingolo (per il piatto da 70 cm. o da 80 cm.), le corone dentate, il porta-catene della misura adeguata al modello, le ruote in ferro secondo il modello richiesto in linea, il basculante pistone della colorazione richiesta; infine, l'indicatore altezza e i rulli in nylon di protezione (quest'ultimi usati solamente nel modello *T*).

In appositi contenitori a bordo linea vengono invece mantenuti quei componenti comuni a tutti i modelli: le forcelle tendi-cingolo, le molle tendi-cingolo, le catene di protezione posteriori, le ruote in plastica, i cuscinetti, le ghiere, i rasamenti di protezione e la minuteria.

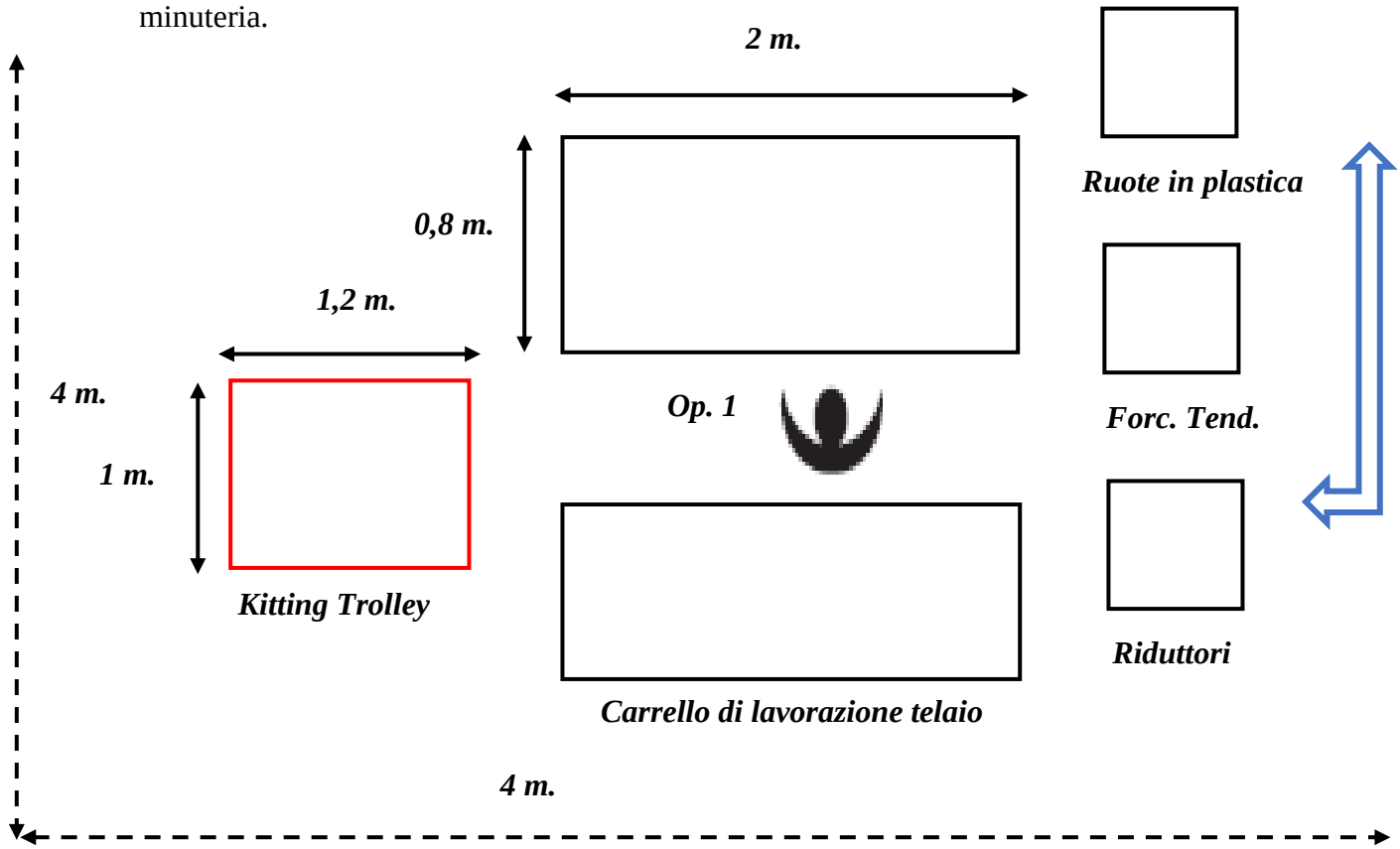

Figura 5.8: nuovo layout linea Radiocomandati, stazione 1

I componenti comuni a tutti i modelli vengono portati alla linea in appositi contenitori dagli operatori della logistica, così come la minuteria che viene gestita con i contenitori kanban; essi sono posizionati in prossimità del corridoio laterale dell'area produttiva (freccia blu), in modo da risolvere i problemi di alimentazione che si erano riscontrati nell'isola di assemblaggio 1.

Nel nuovo layout la stazione 1 va ad occupare un'area di circa 16 m^2.

5.5.2 Stazione 2:

È adibita alla lavorazione dei gruppi motore e dei pre-assemblati del Radiocomandato. Il suo trolley contiene la base motore specifica del modello, la frizione elettromagnetica, il mozzo rotore conico, il filtro dell'olio, il sistema di raffreddamento e di ventilazione (quest'ultimo solo per il motore *T*); a ciascun gruppo motore si accompagna lo specifico impianto elettrico, che deve essere adattato per i modelli *B* e *K*. La fase di lavorazione del gruppo motore necessita dell'uso del carro ponte, presente nella vecchia area dismessa, per il sollevamento del motore e il suo posizionamento sul banco di lavoro. A valle della lavorazione dei gruppi motore si procede al prelievo dal trolley di tutti quei componenti per il montaggio dei pre-assemblati serbatoio e batteria. La nuova stazione vista in pianta si sviluppa su un'area di circa 16 m^2.

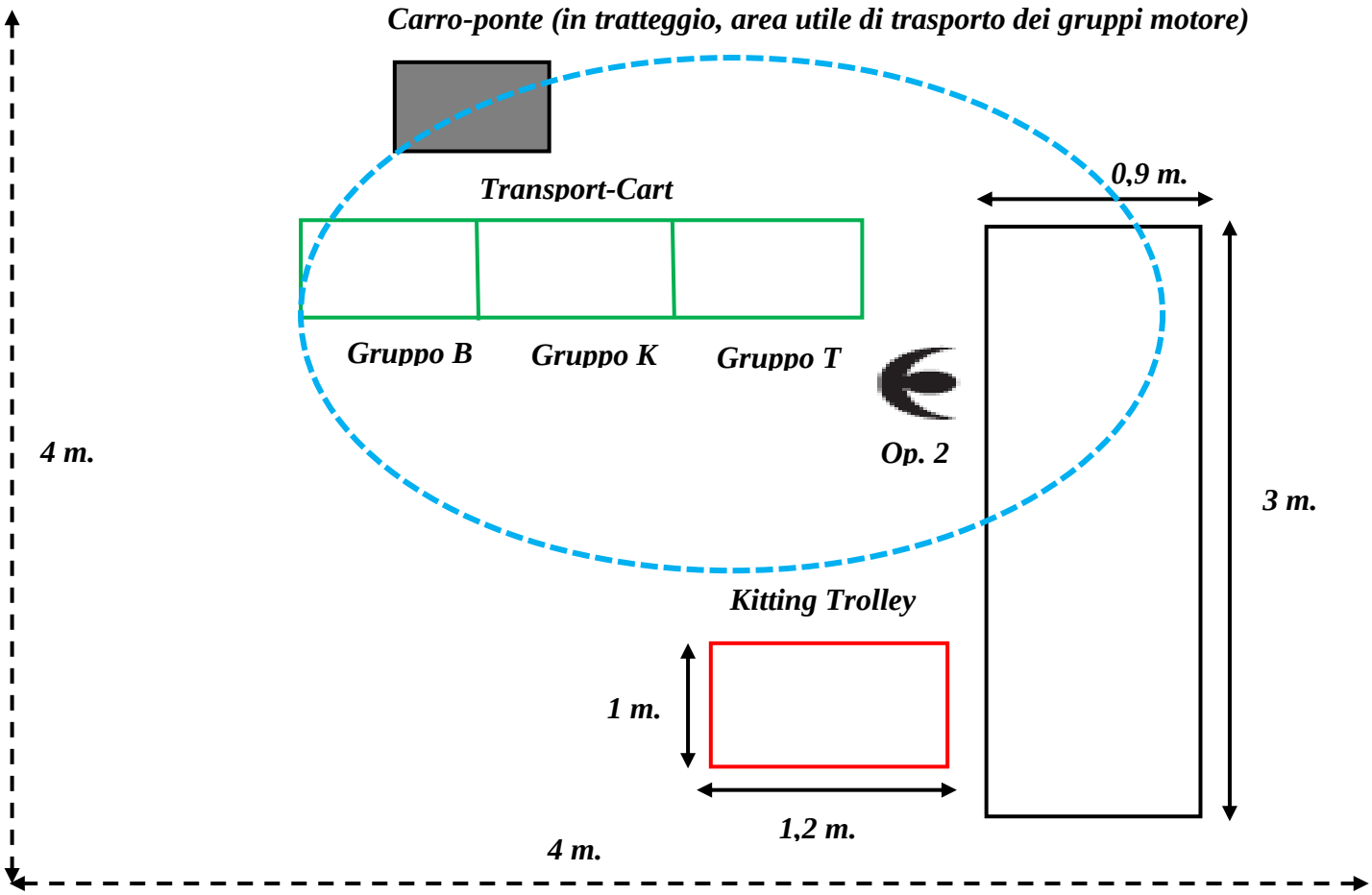

Figura 5.9: nuovo layout linea Radiocomandati, stazione 2

5.5.3 Stazione 3:

L'operatore della terza stazione viene necessariamente collocato nei pressi del carro-ponte a causa delle mansioni da lui svolte e dell'importanza dell'aspetto ergonomico all'interno del suo ciclo di assemblaggio. Accanto alla sua postazione è presente il Board-Trolley contenente i piatti della larghezza di taglio prevista dalla schedulazione settimanale della linea, i quali vengono man mano posti sull'apposito cavalletto per la lavorazione. L'operatore poi preleva dal trolley tutti quei componenti per la preparazione del kit piatto-lama che sono specifici di un determinato modello: il braccio sollevatore posteriore del piatto e i due braccetti anteriori, il rinforzo piatto, il porta-lama specifico per la larghezza del piatto, le bandinelle di protezione anteriori accompagnate all'asta di supporto delle bandinelle, poiché quest'ultima deve essere congruente alla larghezza del piatto-lama. Nel caso lo scheduling preveda la produzione del modello *T*, il trolley contiene il rotore, il gruppo tendicinghia, le bandelle di protezione (differenti rispetto ai modelli *B* e *K*), il braccio sollevatore e la base motore.

A valle poi della preparazione del kit piatto-lama o alternativamente della cofanatura del kit trincia, l'operatore provvede al sollevamento tramite carro-ponte del gruppo motore proveniente dalla stazione 2 e all'assemblaggio dei due kit appena prodotti. La nuova stazione va ad occupare un'area nel nuovo layout di circa 25 m^2.

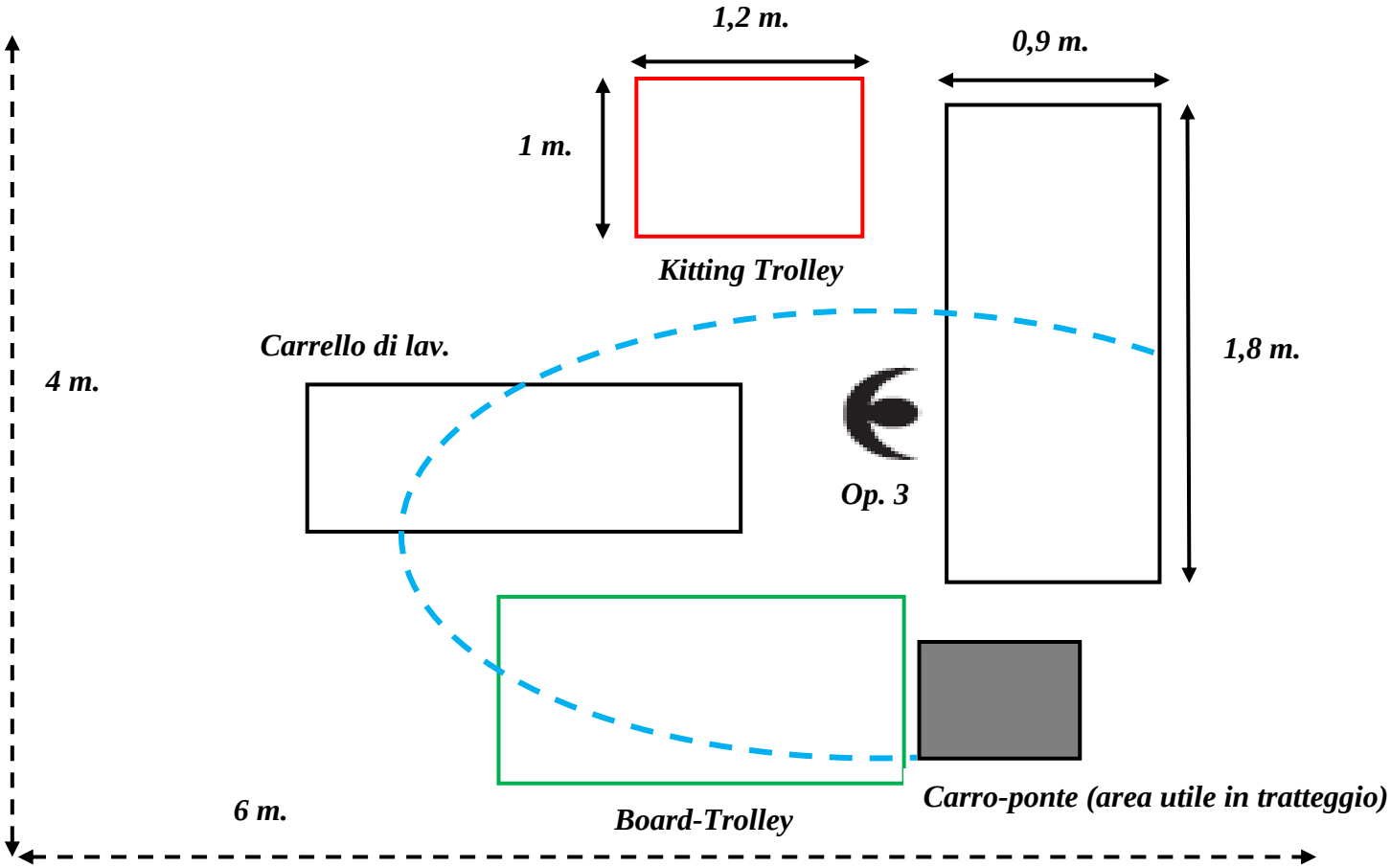

Figura 5.10: nuovo layout linea Radiocomandati, stazione 3

All’uscita dalle stazioni 1, 2 e 3, i sub-assemblati gruppo telaio e kit piatto-lama/kit trincia devono essere assemblati insieme. Prima di entrare nella stazione 4, in analogia con quanto succedeva nelle due aree di assemblaggio precedenti, è necessario porre il gruppo telaio su delle pedane rialzabili, in modo da inserire al suo interno i kit assemblati nelle stazioni 2 e 3. Le dimensioni e i pesi raggiunti dal prodotto Radiocomandato in questa fase del ciclo di assemblaggio comportano la necessità di mantenerlo in una posizione fissa sulla pedana: è dunque l’operatore che si muove e che compie le proprie operazioni di assemblaggio muovendosi attorno al prodotto.

Le stazioni 4 e 5 si trovano quindi molto ravvicinate fra di loro, con i due operatori che lavorano a stretto contatto. La nuova area prevede la presenza di due pedane rialzabili sulle quali di volta in volta sono collocati i prodotti Radiocomandati, prima delle operazioni di finitura e di assemblaggio dell’impianto elettrico. Data poi la stretta connessione fra i compiti della stazione 4 e della stazione 5, la vicinanza dei due operatori facilita un clima di team-working.

5.5.4 Stazione 4:

L’operatore in questa stazione lavora attorno al prodotto e si occupa di tutta quella che è la fase di finitura del Radiocomandato: inserisce i sub-assemblati serbatoio e batteria provenienti dalla stazione 2, assembla il kit piatto-lama con il kit telaio tramite l’inserimento di opportuni perni; nel modello *T*, provvede alla finitura del sub-assemblato trincia, con l’assemblaggio del coperchio copri-puleggia, della rete di protezione superiore e delle protezioni laterali. La stretta connessione fra la stazione 4 e 5 nasce dal fatto che l’operatore 4 predispone tutti i cablaggi (dalla batteria, dal motore, dal serbatoio, dal pistone di sollevamento piatto/trincia) che nella stazione 5 andranno collegati alle centraline dell’impianto elettrico del prodotto Radiocomandato.

5.5.5 Stazione 5:

Anche questa stazione prevede la lavorazione attorno al prodotto fermo sulla pedana. Nella prima parte del tempo ciclo a disposizione dell’operatore, egli provvede alla costruzione delle pareti in lamiera verniciata che vanno ad accogliere l’impianto elettrico e l’impianto GPS: ciò avviene con l’ assemblaggio delle schede, l’inserimento del condensatore e delle resistenza di frenata, il collegamento dei fusibili e l’inserimento dell’impianto elettrico. Le pareti sono presenti in diverse colorazioni, così come alcuni

accessori specifici solo di certi modelli; essi vengono portati alla stazione con il trolley solo quando vi è la necessità di produrre un determinato prodotto. A valle della costruzione dei due pre-assemblati, questi sono inseriti sul Radiocomandato e collegati con i cablaggi predisposti dall'operatore 4 nella stazione precedente.

L'operatore infine scarica il prodotto finito dalla pedana, il quale viene portato fuori dalla linea di assemblaggio con un transpallet manuale. L'area occupata dalle stazioni 4 e 5 è di circa 50 m^2.

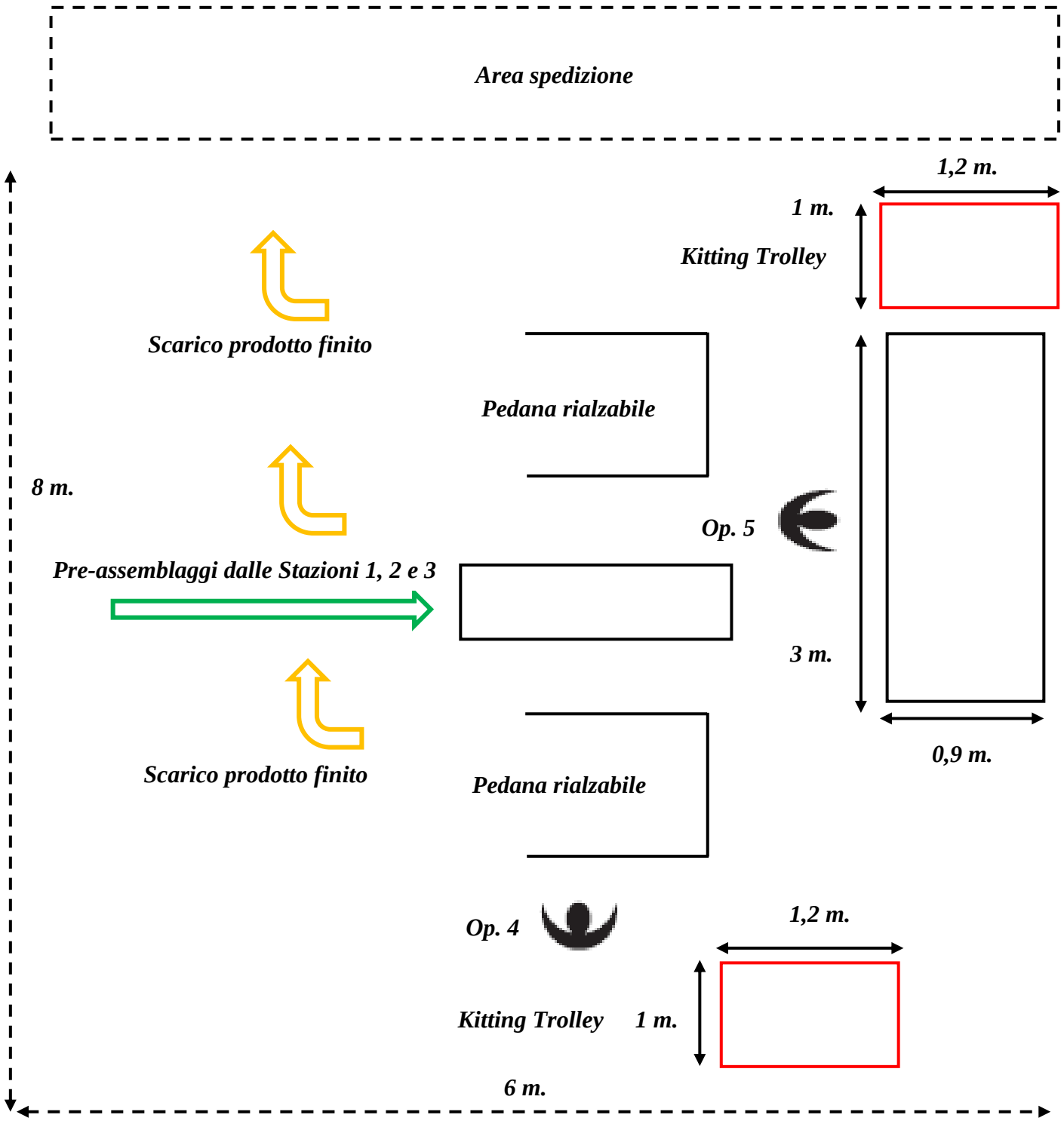

Figura 5.11: nuovo layout linea Radiocomandati, stazioni 4 e 5

Si riassume infine in Figura 5.12 il nuovo layout complessivo della linea di prodotti Radiocomandati:

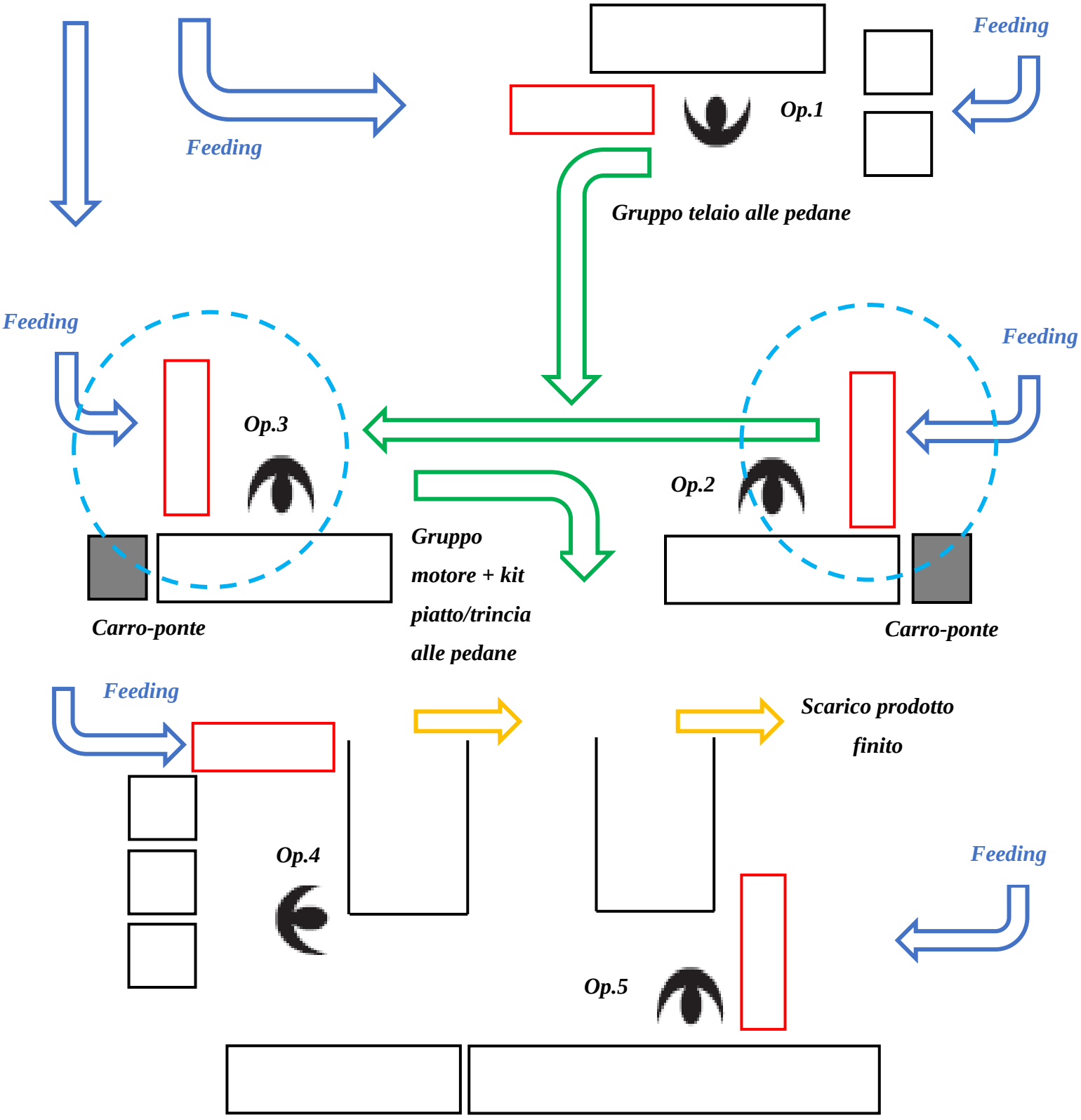

Figura 5.12: nuovo layout del sistema di assemblaggio per prodotti Radiocomandati

Il nuovo layout si va ad estendere su un'area di circa 250 m^2 e coinvolge tutte e cinque le risorse, precedentemente separate nelle due Isole di assemblaggio. Ragioni di spazio e tecniche impongono la localizzazione della stazione 1 ad inizio linea: come descritto, si occupa della lavorazione dei gruppi telaio, i quali ad assemblaggio ultimato vengono caricati sulle pedane rialzabili con l'utilizzo di un carrello mobile.

Le stazioni 2 e 3 sono situate in prossimità dei due carro-ponte: la seconda risorsa del sistema si occupa della lavorazione dei gruppi motore che vengono inviati alla stazione 3; quest'ultima invece assembla i kit piatti-lama/kit trincia, sui quali viene poi montato il rispettivo gruppo motore. A lavorazione ultimata, il sub-assemblato viene anch'egli inviato sulle pedane rialzabili, sempre facendo uso di un carrello mobile.

Nelle stazioni 4 e 5 si completa infine l'assemblaggio del prodotto Radiocomandato, con la finitura meccanica e l'assemblaggio dell'impianto elettrico.

Ogni Stazione è dotata di un proprio banco di lavoro sul quale sono posizionate tutte le attrezzature di montaggio (avvitatori, chiavi, adattatori, utensili) e i componenti a gestione indipendente (guaine, rivetti, occhielli, fascette, viti, rondelle, dadi). È poi presente per ogni operatore il trolley con i componenti richiesti in stazione per l'assemblaggio di un modello specifico, secondo lo scheduling previsto dalla linea; nelle stazioni 2 e 3 sono presenti anche il Transport-Cart e il Board-Trolley per i gruppi motore e i piatti-lama. Infine, vicino ad ogni stazione sono collocati i contenitori con le parti di assemblaggio comuni a tutti i modelli.

L'alimentazione avviene dal magazzino centralizzato tramite i due corridoi posti ai lati del nuovo layout; si ha un feeding dal magazzino centralizzato tramite Trolley-to-Work Station per i componenti non comuni e una decentralizzazione a bordo linea per i componenti comuni.

La nuova disposizione planimetrica, accompagnata al metodo di bilanciamento scelto, dovrebbe superare i problemi che si sono riscontrati nella fase di studio preliminare (Capitolo 3, Paragrafi 3.2.1 e 3.2.2):

- ***Problematiche legate al Bilanciamento e al Work-in-Process:*** sono state risolte attraverso il ri-bilanciamento dei task di assemblaggio. Gli operatori, le cui mansioni non permettevano di raggiungere la produttività desiderata, sono stati

bilanciati secondo il nuovo tempo ciclo T_C= 240 *[min/pz]* impostato nel sistema di assemblaggio. Ciò ha permesso di ridurre i semi-lavorati accumulati a bordo linea e di creare un flusso più lineare e regolarizzato, seguendo un'ottica di produzione snella e cercando di diminuire le inefficienze che portavano a perdite di tempo anche dell'ordine delle ore nel corso della settimana lavorativa;

- ***Problematiche di approvvigionamento alla linea:*** nel nuovo sistema, vengono tenute a bordo linea solo le parti di assemblaggio montate su tutti i prodotti. Gli altri componenti vengono portati dal magazzino su opportuni trolley, secondo lo scheduling richiesto dalla linea di assemblaggio. In questo modo si riducono le scorte, gli spazi occupati e il prelievo dai trolley risulta essere più ergonomico per gli operatori addetti all'assemblaggio.

  Inoltre, anche il trasporto dei contenitori con i componenti comuni viene effettuato in sicurezza e in velocità, l'alimentazione infatti adesso viene effettuata dai due corridoi laterali posti a fianco della nuova area;
- ***Fasi critiche del Ciclo di Assemblaggio*:** nel nuovo layout, l'operatore nella nuova stazione 3 non è più costretto a spostarsi per utilizzare il carro-ponte, poiché è stato posizionato in prossimità dello stesso. Discorso analogo vale per l'operatore della stazione 2, che usa il secondo carro-ponte proveniente dalla vecchia area dismessa per il sollevamento e la lavorazione dei gruppi motore.

  Inoltre, nell'approvvigionamento dei gruppi motore e dei piatti-lama vengono effettuati meno viaggi grazie alla preparazione preliminare in magazzino del Transport-Cart e del Board-Trolley;
- ***Gestione dei componenti critici:*** per alcuni componenti critici (parti verniciate o di difficile approvvigionamento) si è pensato di dotare il sistema di alcune scorte di sicurezza nel magazzino centralizzato. È importante notare che la scorta di sicurezza fa riferimento ad alcune parti verniciate di certi modelli specifici, essa non è stata calcolata per le parti grezze di acquisto ottimizzate con i lotti economici;
- ***Problematiche di spazio:*** la nuova linea di assemblaggio è più ampia, con dei corridoi di alimentazione ai lati che facilitano il feeding delle parti. Gli spazi di manovra sono maggiori, anche grazie allo spostamento in magazzino di molti contenitori delle parti di assemblaggio;

- ***Problematiche legate al flusso dei materiali dall'Isola di assemblaggio 1*:** avendo riunito le due aree di assemblaggio precedentemente distinte, non si presenta più lo sfalsamento fra le attività dei due sistemi. Quando richiesto dalla linea, il modello Radiocomandato rotativo a coltelli con scarico posteriore viene prodotto da tutti e cinque gli operatori presenti nella nuova disposizione planimetrica;

5.6 Valutazione Economica:

Si riporta di seguito una breve analisi economica per valutare la convenienza o meno a configurare la nuova linea di assemblaggio manuale con una logica di assemblaggio di tipo Mixed-Model.

Si è deciso di adottare come orizzonte temporale di riferimento un periodo di 5 anni. Si è fatta poi una stima dei costi marginali del nuovo sistema, ovvero di quei costi che vengono a sorgere con la messa a punto della nuova linea di prodotti Radiocomandati. Allo stesso modo sono stati valutati i possibili ricavi marginali, derivanti dalla maggiore produttività della nuova linea di assemblaggio rispetto ai due sistemi precedentemente separati; ciò è stato reso possibile grazie anche alla diminuzione delle ineffcienze rilevate durante la fase di studio preliminare.

5.6.1 Costi marginali:

- ***Costi dell'operatore logistico:*** i calcoli della feeding-policy ottimale (Paragrafo 5.3.2) hanno stimato in circa 2 ore al giorno il tempo impiegato dall'operatore della logistica nella gestione della nuova linea dei prodotti Radiocomandati (picking in magazzino, feeding delle parti alla linea, riapprovvigionamento dei contenitori kanban). È un costo che nasce perché l'operatore toglie il proprio tempo alle altre linee di assemblaggio, al carico/scarico merci o alla gestione del magazzino. Riportato su base annua, si è stimato un costo per l'azienda di circa 22˙000,00 *[€/anno]*, da sostenere ogni anno;
- ***Costi di investimento in attrezzature:*** le nuove attrezzature per il feeding delle parti sono un ulteriore costo sorgente. Si è ipotizzato l'acquisto di una flotta di 10 Trolley per la gestione dei componenti non comuni, di 2 Transport-Cart per i gruppi motore e di 2 Board-Trolley per i piatti-lama; è stato quindi stimato un

costo di investmento in attrezzature di 16˙060,00 *[€]*. Si rende poi necessario un investimento per i carrelli manuali necessari alla lavorazione e al trapsorto del telaio, del piatto-lama e della cofanatura del trincia, valutato in circa 6˙000,00 *[€]*.

- ***Costo nella riconfigurazione del nuovo layout:*** la predisposizione del nuovo layout rappresenta un investimento in termini di tempo e di costo. Bisogna infatti smontare la vecchia catena di montaggio, a cui bisogna aggiungere una riconfigurazione delle linee ad aria compressa ed elettriche che alimentano le attrezzature pneumatiche, i compressori e gli utensili utilizzati nelle linee. Il costo stimato è di circa 12˙000,00 *[€]*, dovuti sia alla riconfigurazione del layout che al rallentamento della produzione per lo spostamento della vecchia isola di assemblaggio 1 nella nuova area;

5.6.2 Ricavi marginali:

- ***Ricavi legati alla maggiore produttività:*** i ricavi marginali nascono dalla maggiore produttività *Q* di 2 *[pz/gg]* che dovrebbe garantire la nuova linea di assemblaggio rispetto alla configurazione a due aree separate, e sono stati stimati in circa 2˙415˙000,00 *[€/anno]*;

La Tabella 5.15 riporta i costi e i ricavi marginali riferiti all'orizzonte temporale considerato (come da convenzione, si è riportato l'investimento *I* all'anno 0); sono stati poi calcolati per ogni anno i relativi flussi di cassa.

Anno	Investimento/Costo annuale *[€]*	Ricavo annuale *[€]*	Flusso di Cassa *[€]*	Flusso di Cassa cumulato *[€]*
0	-56.060,00 €	0,00 €	-56.060,00 €	-56.060,00 €
1	-22.000,00 €	2.415.000,00 €	2.393.000,00 €	2.336.940,00 €
2	-22.000,00 €	2.415.000,00 €	2.393.000,00 €	4.729.940,00 €
3	-22.000,00 €	2.415.000,00 €	2.393.000,00 €	7.122.940,00 €
4	-22.000,00 €	2.415.000,00 €	2.393.000,00 €	9.515.940,00 €
5	-22.000,00 €	2.415.000,00 €	2.393.000,00 €	11.908.940,00 €

Tabella 5.15: costi, ricavi, flussi di cassa e flussi di cassa cumulati del sistema di assemblaggio Radiocomandati

Infine, con il metodo del Valore Attuale Netto (*VAN*) si vogliono attualizzare tutte le entrate e le uscite di cassa al presente, secondo un certo tasso di interesse *i.* In pratica, "un *VAN* positivo è una misura del profitto generato in più rispetto alla quantità minima richiesta dagli investitori espressa attraverso il tasso di attualizzazione" [14]. Il *VAN* viene calcolato come:

$$VAN(i\%) = -I + \sum_{k=0}^{N} \frac{F_k}{(1+i)^k};$$

- I: investimento iniziale all'anno 0 *[€]*;
- i: tasso di interesse effettivo nel periodo di composizione *[%]*;
- k: indice di ciascun periodo di composizione (periodo *k*-esimo);
- F_k: flusso di cassa alla fine del periodo *k [€]*;
- N: numero dei periodi di analisi *[anni]*;

Anno	Investimento/Costo annuale attualizz. *[€]*	Ricavo annuale attualizz. *[€]*	Flusso attualizzato *[€]*	VAN *[€]*
0	-56.060,00 €	0,00 €	-56.060,00 €	-56.060,00 €
1	-21.568,63 €	2.367.647,06 €	2.346.078,43 €	2.347.177,65 €
2	-21.568,63 €	2.367.647,06 €	2.346.078,43 €	4.693.256,08 €
3	-21.568,63 €	2.367.647,06 €	2.346.078,43 €	7.039.334,51 €
4	-21.568,63 €	2.367.647,06 €	2.346.078,43 €	9.385.412,94 €
5	-21.568,63 €	2.367.647,06 €	2.346.078,43 €	11.731.491,37 €

Tabella 5.16: attualizzazione dei flussi di cassa e calcolo del VAN del sistema di assemblaggio

La Tabella 5.16 mostra il calcolo del VAN per ogni periodo preso come riferimento; si è deciso di adottare un tasso di interesse *i* pari al 2%. Il valore del *VAN* risulta essere positivo già al termine del primo anno, fattore che permette di affermare che l'investimento in prima istanza sembra essere conveniente.

Infine, è possibile ricavare il periodo di recupero θ, o Payback Period, necessario al recupero dell'investimento; questi può essere calcolato tramite la formula:

$$\sum_{k=1}^{\theta}(R_k - E_K) - I \geq 0\,;$$

- R_k e E_K sono rispettivamente rivavi ed esborsi riferiti al *k*-esimo periodo *[€]*;
- I rappresenta l'investimento iniziale *[€]*;

La Tabella 5.15 evidenzia che l'investimento iniziale può essere recuperato già nei primi mesi successivi al ri-bilanciamento e alla messa a punto del nuovo layout del sistema di assemblaggio.

5.7 Progetti Futuri:

I progetti futuri in Barbieri S.r.l. riguardano l'implementazione della nuova linea di prodotti Radiocomandati che il lavoro di questa tesi ha voluto analizzare nella sua fattibilità. La messa a punto del nuovo sistema di assemblaggio prevede nei prossimi mesi la sistemazione del magazzino delle parti per venire incontro al nuovo mix di prodotti richiesti dalla linea, cercando la minimizzazione dei tempi di picking e delle distanze percorse. È poi necessario formare gli operatori sui nuovi task che nel nuovo sistema verranno loro assegnati; si rende perciò necessario un periodo di training per il personale impiegato nell'assemblaggio e nel feeding delle parti dei prodotti Radiocomandati.

Si monitorerà che i tempi delle attività nella nuova linea corrispondano con quanto emerso nei due sistemi separati; il feeding al sistema di assemblaggio dovrà poi essere sincronizzato con il tempo ciclo impostato, in modo da creare un sistema di tipo pull dal cliente finale fino all'acquisto dei componenti di assemblaggio.

Infine, alcuni nuovi prodotti Radiocomandati che al momento sono in fase di progettazione potrebbero portare a ridefinire alcuni task del ciclo di assemblaggio e alcune mansioni assegnate agli operatori. Uno degli obiettivi iniziali di questo lavoro di tesi era creare un sistema che fosse flessibile nel tempo al mix e al cambiamento dei diversi modelli, in grado di assorbire le modifiche che inevitabilmente entreranno in gioco nei prossimi mesi.

5.8 Conclusioni:

Il tirocinio e il lavoro di Tesi in Barbieri S.r.l. avevano lo scopo di predisporre un nuovo sistema di assemblaggio manuale per la linea di prodotti Radiocomandati che risolvesse alcune criticità presenti in azienda.

Lo studio preliminare svolto nelle due isole di assemblaggio al momento presenti nello stabilimento ha fatto emergere quelli che erano i problemi nell'area produttiva: sbilanciamento fra i carichi di lavoro degli operatori, il non raggiungimento della produttività richiesta dal mercato e dai clienti, la presenza di alcuni task di assemblaggio critici. Al di fuori del sistema di assemblaggio vero e proprio si presentava spesso il rischio di andare in rottura di stock, assistendo poi ad un flusso dei materiali non sempre adeguato ed a una feeding-policy non corretta alle due aree di assemblaggio dati i volumi di produzione in gioco.

Nei diversi capitoli si è provveduto ad affrontare le criticità riscontrate, cercando di adottare un approccio scientifico che fosse coerente con quanto man mano emergeva dall'analisi: con diverse metodologie si è bilanciato il nuovo sistema di assemblaggio, in modo da livellare i carichi di lavoro fra i diversi operatori. I due sistemi precedentemente separati sono stati quindi integrati in una nuova linea di prodotti, in modo da essere sincronizzata con il mercato a valle del sistema; ciò ha permesso di abbassare il tempo ciclo e quindi di aumentare la produttività della linea, in particolare quella riferita al modello del Radiocomandato rotativo a coltelli con scarico posteriore. Inoltre, essendo i carichi di lavoro bilanciati, si è risolto l'accumulo di Work-in-Process alle spalle dell'operatore che si verificava nell'isola di assemblaggio 1; si evitano in questa maniera movimentazioni di carichi inutili, perdite di tempo e accumli a bordo linea che ostacolano il flusso dei materiali e la sicurezza degli operatori.

I rischi di rottura di stock che rallentavano il sistema sono stati risolti con il calcolo dei lotti economici di acquisto delle parti di assemblaggio (con una quantificazione dei risparmi ottenibili) e con una scorta di sicurezza per i componenti che risultavano critici nel loro processo di approvvigionamento o di lavorazione in outsourcing; lotti e scorte sono stati calcolati cercando la minimizzazione della funzione di costo totale.

I risparmi ottenuti con l'acquisto tramite lotti economici potrebbero essere re-investiti nell'acquisto di attrezzature per il miglioramento delle condizioni di lavoro degli

operatori, aumentando il grado di soddisfazione del personale e l'efficacia del processo di assemblaggio.

Le scorte di sicurezza permettono invece di evitare la rottura di stock, non rendendo quindi necessario rischedulare la linea per la mancanza del componente di assemblaggio ed evitando così l'insoddisfazine del cliente a valle del sistema; una scorta cuscinetto permette poi di velocizzare i tempi dedicati alle riparazioni, permettendo così agli oparatori di concentrarsi su delle attività a maggiore valore aggiunto come l'assemblaggio di un nuovo prodotto.

È stato poi studiato il modo più corretto per portare le parti di assemblaggio al nuovo sistema: dall'analisi è emerso che, dati i lotti in gioco, il numero di prodotti uscenti dal sistema di assembaggio e la distanza dal magazzino centrale, è più conveniente adottare una feeding-policy di Trolley-to-Work Station e non di Pallet-to-Work Station come avviene al momento all'interno dello stabilimento; ciò porta ad una riduzione delle scorte e degli spazi occupati a bordo linea e ad un maggiore controllo della giacenza reale nel magazzino centralizzato.

Infine, facendo uso di un'area non più utilizzata in azienda è stato definito il layout del nuovo sistema di assemblaggio: si sono riconfigurate le postazioni di lavoro degli operatori, si sono poste le risorse in prossimità di attrezzature speciali (carro-ponte) così da risolvere l'asemblaggio di alcuni task critici, si sono disposti i contenitori delle parti in modo che il feeding dal magazzino fosse il più sicuro ed efficiente possibile. In questo modo diminuiscono le distanze percorse dagli operatori all'interno dello stabilimento, gli spazi sono maggiormente ottimizzati e l'alimentazione alla nuova linea di assemblaggio è più veloce e accessibile per gli operatori della logistica.

La Tabella 5.17 riporta un confronto fra i due sistema di assemblaggio precedentemente separati e la nuova linea di produzione che integra tutta la Famiglia di Prodotti Radiocomandati:

PARAMETRO DEL SISTEMA	***2 SISTEMI SEPARATI***	***1 SISTEMA INTEGRATO***
Produttività settimanale [pz/sett.]	***5-6 [pz/sett.]***	***10 [pz/sett.]***
Tempo Ciclo [h/pz]	***8 [h/pz] e 16 [h/pz]***	***4 [h/pz]***
Work in Process	***3-4 [pz]***	***Produzione One-Piece-Flow***
Risorse coinvolte	***4+1***	***5***
Feeding-Policy (componenti non comuni)	***Pallet-to-Work Station***	***Trolley-to-Work Station***
Spazio occupato	***circa 180 m^2***	***circa 250 m^2***
Investimenti	***/***	***circa 56˙000,00 €***
Ricavi Marginali	***/***	***circa 2˙415˙000,00 [€/anno]***
Risparmi aggiuntivi	***/***	***Lotto economico di acquisto***

Tabella 5.17: confronto fra i 2 sistemi di assemblaggio separati e il nuovo sistema di assemblaggio integrato

Il lavoro svolto sulle inefficienze rilevate dovrebbe portare il nuovo sistema a produrre un maggiore quantitativo di prodotti Radiocomandati (con guadagni marginali dell'ordine dei 2 milioni di euro all'anno) abbassando il tempo ciclo T_C *[h/pz]* rispetto ai due sistemi separati e con una produttività maggiore *[pz/sett.]* garantita dal nuovo sistema; questo senza aumentare il numero di operatori coinvolti nel montaggio. Il nuovo sistema di assemblaggio assembla i prodotti in un'ottica Mixed-Model, cercando di essere sincronizzato con il mercato a valle e con il feeding dal magazzino centralizzato; è, infine, progettato per far fronte ai nuovi prodotti Radiocomandati che entreranno nel sistema nel futuro prossimo, in modo da permettere la produzione indistinta di tutti i modelli facenti parte della Famiglia di prodotti Radiocomandati all'interno di Barbieri S.r.l.

BIBLIOGRAFIA:

"[1] D. Battini, M. Faccio, A. Persona, F. Sgarbossa, "New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design", *Int. Journal of Industrial Ergonomics,* Vol. 41, 2˙011, pp. 30-42."

"[2] C. Becker, A. Scholl, "A survey in problems and methods in generalized assembly line balancing", *European Journal of Operational Research,* 168, 2˙006, pp. 694-715."

"[3] J.R. King, "Machine component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm", *International Journal of Production Research,* 18:2, 1˙980, pp. 213-232."

"[4] H.B. Maynard, G.J. Stegemerten, J.L. Schwab, "Methods-time measurement", *McGraw-Hill,* 1˙948."

"[5] www.bedaux.com/it/bedaux_method.php";

"[6] P. Sharma, G. Thakar, R.C. Gupta, "Evaluation of Multi Criteria Assembly Line Balancing by MCDM approaches: a conceptual review", *International Journal for Quality Research,* 8 (1), 2˙014, pp. 87-106."

"[7] N.K. Abdullah, M. Mawardi, R.S.A. Rashid, "Economic Order Quantity (EOQ): an alternative at Routine Maintenance Company", *IEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium (BEIAC),* 2˙013, pp. 739-744."

"[8] A. Persona, D. Battini, R. Manzini, A. Pareschi, "Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components", *International Journal of Production Economics,* Vol. 110, 2˙007, pp. 147-159."

"[9] H. S. Kilic, M.B. Durmusoglu, "*Advances in assembly line parts feeding policies: a literature review",* Vol. 35, Number 1, 2˙015, pp. 57-68."

"[10] D. Battini, M. Faccio, A. Persona, ""Supermarket Warehouses": stocking policies optimization in an assembly-to-order environment", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology,* 50, 2˙010, pp. 775-778."

"[11] D. Battini, M. Faccio, A. Persona, F. Sgarbossa, "Design of the optimal feeding policy in an assembly system", *International Journal of Production Economics*, 121 (1), 2˙009, pp. 233-254."

"[12] A. C. Caputo, P. M. Pelagagge, P. Salini, "Selection of assembly lines feeding policies based on parts features and scenario conditions", *International Journal of Production Research*, 56:3, 2˙018, pp. 1˙208-1˙232."

"[13] N. Slack, A. Brandon-Jones, R. Johnston, A. Betts, A. Vinelli, P. Romano, P. Danese, "Gestione delle Operations e dei Processi", *Seconda Edizione*, 2˙013, Pearson."

"[14] W.G. Sullivan, E.M. Wicks, J.T. Luxhoy, "Economia applicata all'ingegneria (Edizione italiana a cura di E. Scarso, E. Bolisani)", *Prima Edizione*, 2˙006, Pearson."

"[15] A. Andriolo, D. Battini, M. Gamberi, F. Sgarbossa, A. Persona, "1913-2013: The EOQ theory and next steps towards sustainability*", 7th IFAC Conference and Manufacturing Modelling, Management and Control, International Federation of Automatic Control*, June 19-21, 2˙013, Saint Petersburg, Russia."

"[16] A. Azzi, D. Battini, M. Faccio, A. Persona, F. Sgarbossa, "Inventory Holding Costs Measurement: a multi-case study". *The International Journal of Logistics Management*, 25, 2˙014."

"[17] D. Battini, M. Faccio, E. Ferrari, A. Persona, F. Sgarbossa, "Design configuration for a mixed model assembly system in case of low product demand", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 34, 2˙007, pp. 188-200."

"[18] D. Battini, M. Gamberi, A. Persona, F. Sgarbossa, "Part-feeding with supermarket in assembly system: transportation mode selection and multi-scenario analysis", Volume 35, Number 1, 2˙015, pp. 149-159."

"[19] A. Y. Bozer, L.F. McGinnis, "Kitting versus line stocking: A conceptual framework and a descriptive model", *International Journal of Production Economics*, 28, 1˙992, pp. 1-19."

"[20] M. Faccio, M. Gamberi, A. Persona, "Kanban number optimisation in a supermarket warehouse feeding a mixed model assembly system", *International Journal of Production Research*, 51:10, 2˙013, pp. 2˙997-3˙017."

"[21] A. Pareschi, "Impianti industriali. Criteri di scelta, progettazione e realizzazione", *Seconda Edizione*, 2˙007, Esculapio."

"[22] A.C. Radasanu, "Inventory management, service level and safety stock", *Journal of Public Administration*, Finance and Law, 2˙016, pp. 145-153."

"[23] C. Ren, C. Barlotti, Y. Cohen, B. Frangipane, M. Garofalo, G. Cozzari, C. Metz, "Re-layout of an assembly area: a case study at Bosch Rexroth Oil Control", *Volume 35*, Number 1, 2˙015, pp. 94-103".

SITOGRAFIA:

"[24] www.lorenzogovoni.com/lotto-economico."

"[25]www.quadrologico.it/i-sistemi-produttivi-secondo-wortmann."

"[26] www.barbierisrl.com."

"[27] www.trilogiq.com."