



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

Bilanciamento e re-layout di una linea di assemblaggio
manuale: il caso Berti Macchine Agricole S.p.A.

Relatrice
Ch.ma Prof.ssa
Daria Battini

Laureando
Marco Maccini
matr. 1116933

Anno Accademico 2016/2017

INDICE

SOMMARIO.....	9
INTRODUZIONE.....	11
CAPITOLO 1 INQUADRARE L’AZIENDA.....	11
1.1 IL SETTORE.....	11
1.2 L’AZIENDA.....	12
1.2.1 Storia.....	12
1.2.2 Prodotti e mercati.....	13
1.2.3 Obiettivi e certificazioni.....	14
1.2.4 Ordini.....	15
1.2.5 Produzione.....	16
CAPITOLO 2 ANALISI SITUAZIONE ATTUALE.....	17
2.1 L’assemblaggio.....	17
2.2 Modalità di produzione aziendale.....	17
2.3 Problematiche.....	19
2.3.1 Problematiche di carico.....	19
2.3.2 Problematiche di tempo.....	19
2.3.3 Problematiche di attesa.....	20
2.3.4 Problematiche di spazio.....	21
2.3.5 Le problematiche in breve.....	22

CAPITOLO 3 OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	23
3.1 Matrice prodotto-processo.....	23
3.2 Frontiera efficiente.....	25
CAPITOLO 4 SOLUZIONE.....	27
4.1 Trinciatrici.....	27
4.2 Approccio alla soluzione.....	28
4.3 Misurazione del lavoro.....	28
4.3.1 Tipi di misurazione.....	30
4.3.2 Analisi dei tempi.....	32
4.4 Rilevamento tempi con metodo Bedaux.....	34
4.4.1 Il rilevamento e la valutazione dell'efficienza.....	35
4.4.2 Normalizzazione.....	35
4.4.3 Maggiorazione.....	36
CAPITOLO 5 RIDUZIONE PRELIMINARE DEI TEMPI.....	39
5.1 Caso catene di protezione.....	39
5.1.1 Configurazione a catene singole.....	41
5.1.2 Configurazione a spezzoni.....	42
5.1.3 Impatto potenziale.....	43
5.1.4 Risultati del confronto.....	44
CAPITOLO 6 PROGETTO LINEA.....	47
6.1 Linea di assemblaggio.....	47

6.2	Diagramma delle affinità.....	49
6.3	Divisione in attività.....	52
6.4	Matrice binaria.....	54
6.5	Descrizione attività.....	55
6.5.1	Modello Y.....	55
6.5.2	Modello C.....	56
6.5.3	Modello R.....	57
6.6	Matrici di incidenza.....	59
6.6.1	Modello Y.....	60
6.6.2	Modello C.....	60
6.6.3	Modello R.....	61
6.7	Predecessori e successori.....	61
6.7.1	Modello Y.....	62
6.7.2	Modello C.....	62
6.7.3	Modello R.....	63
6.8	Diagramma delle precedenze.....	63
6.8.1	Modello Y.....	64
6.8.2	Modello C.....	64
6.8.3	Modello R.....	64
6.9	Rilevamento tempi.....	65
6.9.1	Modello Y.....	65
6.9.2	Modello C.....	66
6.9.3	Modello R.....	66
6.10	Prodotto caratteristico.....	67
6.10.1	Matrice di incidenza combinata.....	67
6.10.2	Jonit Precedence Diagram.....	68
6.11	Virtual Average Model (VAM).....	68

CAPITOLO 7 BILANCIAMENTO.....	71
7.1 Tempo ciclo.....	73
7.2 Rought cut capacity planning.....	74
7.3 Bilanciamento per tentativi.....	75
7.4 Metodo LCR.....	77
7.5 Metodo RPW.....	78
7.6 Valutazione bilanciamenti.....	80
7.6.1 Indici di performance.....	81
7.6.1.1 Bilanciamento per tentativi.....	83
7.6.1.2 Metodo LCR.....	84
7.6.1.3 Metodo RPW.....	86
7.6.2 Riepilogo indici e scelta.....	88
7.6.3 Produttività.....	90
CAPITOLO 8 ANALISI DEL LAYOUT.....	91
8.1 Configurazione attuale.....	91
8.1.1 Isola di assemblaggio.....	91
8.1.2 Lavaggio e verniciatura.....	93
8.1.3 Montaggio finale.....	93
8.1.4 Movimentazioni.....	93
8.2 Layout nuova linea.....	95
8.2.1 Prima stazione.....	96
8.2.2 Seconda stazione.....	97
8.2.3 Terza stazione.....	98
8.2.4 Quarta stazione.....	99
8.2.5 Misure totali.....	100
8.3 Part feeding.....	101
8.3.1 Parti comuni.....	101

8.3.2	Componenti in funzione della misura.....	102
8.3.2.1	Stationary kit.....	103
8.3.2.1.1	Just in sequence (JIS).....	105
8.3.2.1.2	Replenishment dello stationary kit.....	105
8.3.2.2	Gomma di protezione e raschiatori.....	106
8.3.2.3	Catene di protezione.....	106
8.3.2.4	Bandelle di protezione e rastrelli.....	107
8.3.3	Ganci, spinotti ed etichette.....	108
CAPITOLO 9 IMPATTO ECONOMICO.....		109
CAPITOLO 10 CONFRONTO ALTERNATIVE.....		111
10.1	Tempo di attraversamento.....	111
10.2	Work in process (WIP).....	112
10.3	Layout e movimentazioni.....	113
CAPITOLO 11 CONCLUSIONI.....		115
11.1	Miglioramenti futuri.....	115
Bibliografia e sitografia.....		117

SOMMARIO

La tesi espone l'esperienza di tirocinio del laureando nel valutare l'implemento di una nuova linea di assemblaggio da realizzare all'interno del reparto produzione dell'azienda Berti Macchine Agricole.

Il progetto al fine di raggiungere una produzione con elevati volumi nel rispetto del tempo ciclo dettato dalla domanda di trinciatrici generiche.

Lo studio vuole rivalutare il layout e la miglior configurazione della linea, in modo da minimizzare gli sprechi, i tempi di attraversamento e i prodotti in corso di lavorazione per ottenere date di consegna più affidabili e di breve termine. L'applicazione dei principi porta all'implemento di una soluzione teorica che, per motivi di tempo e di investimento, rimane valida a livello di ricerca.

INTRODUZIONE

Berti Macchine Agricole S.p.A. (via Musi, Caldiero - Verona) è un'azienda fornitrice di macchine agricole specializzate per concessionari, aziende agricole e privati per la manutenzione di zone agricole, forestali e aree verdi.

CAPITOLO 1

INQUADRARE L'AZIENDA

1.1 Il settore

L'attività agricola moderna non può fare a meno delle macchine: non è concepibile un'agricoltura da reddito senza l'impiego di mezzi agricoli. Le macchine sono il mezzo di produzione di maggior impatto, economico e non solo. Il peso del settore dell'agricoltura si è ridotto rispetto a qualche decennio fa, ma in alcuni territori rappresenta ancora una quota non trascurabile del valore aggiunto. A livello nazionale, l'agricoltura produce il 2.1% del Pil nominale italiano (dati Istat 2016). La dinamica del valore aggiunto dell'agricoltura ha mostrato un trend crescente per tutti gli anni novanta, interrottosi però con il nuovo decennio. Tra il 2001 ed il 2005, in media, l'attività produttiva in agricoltura ha registrato tassi di variazione pari a -0.2 punti percentuali all'anno, sintesi di una flessione del valore aggiunto nei primi anni e di un considerevole incremento (+13.6 per cento) nel 2004. Dopo quest'anno eccezionalmente favorevole, l'attività produttiva ha evidenziato un andamento generalmente in flessione. Tra il 2006 ed il 2011 il valore aggiunto si è ridotto di 1.9 punti percentuali in media all'anno, a causa soprattutto della contrazione osservata nel 2009 (-3.7 per cento) e nel 2010 (-7.8 per cento). Lo scenario di previsione al 2017 prefigura un proseguimento della tendenza cedente dei livelli produttivi. Nel periodo tra il 2012 ed il 2016 si prevedeva un tasso di variazione

medio annuo ampiamente negativo (-1.2 per cento), sintesi di una caduta più marcata nella prima parte del periodo e di una stagnazione nella parte finale [1].

Il settore delle macchine per l'agricoltura in Italia è uno dei più competitivi a livello europeo, grazie all'innovazione che lo ha reso sempre più sostenibile portandolo ai primi posti in Europa per fatturato e valore aggiunto. Il settore nel nostro paese conta 3.131 imprese e 36.269 addetti, il 66,8% dei quali operai (dati 2013), e il fatturato è passato dai circa 6 miliardi di euro nel 2009 a 8,3 miliardi nel 2011. Meglio dell'Italia, in Europa, fa solo la Germania, il cui fatturato si attesta su 10,2 miliardi di euro [2].

1.2 L'azienda

1.2.1 Storia

L'attività della ditta Berti Macchine Agricole nasce nei primi anni Venti del secolo scorso, in provincia di Vicenza come azienda artigiana nel settore della costruzione di attrezzi agricoli, grazie al suo fondatore Livio Berti. La prima attrezzatura realizzata dal padre del fondatore fu l'aratro a trazione animale prima e meccanica poi.

Il prodotto che ha veramente segnato la storia dell'azienda è la trinciatrice. Nel 1972 ne viene realizzato il primo modello denominato SFIPO (Figura 1.1), diventato successivamente prodotto di punta con il nome TFB/Y; nel 1979 viene costruita la prima trinciatrice da argini e negli anni seguenti anche altre macchine agricole come le decespugliatrici idrauliche [3].



Figura 1.1 Modello SFIPO (1972) – www.bertima.it

1.2.2 Prodotti e mercati

Attualmente è situata a Caldiero (Verona) dove offre una gamma suddivisa in due linee di prodotto indirizzate a ben precise fasce di mercato, per un fatturato che supera i 25 milioni di euro. E' alla fine degli anni Ottanta che l'azienda ha preso una decisione strategica riguardo il proprio orientamento, ovvero specializzarsi nella costruzione di due sole famiglie di prodotti: quella delle trinciatrici agricole per trattori e quella delle decespugliatrici idrauliche per le macchine movimento terra, eliminando così la costruzione generica.



Figura 1.2 Trinciatrice gamma agricola - www.bertima.it

La “gamma agricola” spazia dalle trinciatrici specializzate per frutteto (Figura 1.2) e vigneto, trincia stocchi, trincia argini, bracci decespugliatore e trincia forestali (coprendo un range di potenza che in termini di assorbimento va da 15 a 250 Cavalli).

La “gamma professional”

(Figura 1.3) comprende le attrezzature destinate al movimento terra, comprese la manutenzione del verde e la forestazione applicabili a ogni tipo di escavatore (con peso operativo tra 15 e 300 q.li) e su tutti i modelli di mini-pale.



Figura 1.3 Trinciacocchi gamma professional - www.bertima.it

Per la distribuzione dei propri prodotti in tutto il mondo, la ditta si affida ad una rete di concessionari, distributori, importatori autorizzati in grado di assicurare servizio di vendita e assistenza. I clienti sono sparsi in tutto il mondo: in tutta Europa, in Asia (Russia, Israele, Giappone, Filippine, Indonesia), nelle Americhe (Stati Uniti, Canada, Messico, Brasile, Cile), in Sud Africa e in Oceania (Australia e Nuova Zelanda). Gli ordini arrivano per l'80% dall'estero, specialmente da grossi concessionari. Il rimanente 20% è ricoperto dall'Italia, con aziende agricole e concessionari situati lungo tutto il paese.

1.2.3 Obiettivi e certificazioni

Uno degli obiettivi principali della ditta è sempre stato quello di costruire macchine innovative per la manutenzione e la bonifica professionale degli spazi verdi a livello urbano, agricolo e forestale. Oggi la ditta Berti è in grado di offrire una gamma di 350 modelli, per tutte le tipologie di coltivazione e terreno, applicabili ad ogni trattore o escavatore.

Per migliorare il servizio della ricambistica e del post-vendita è stata creata Berti Service, una società nata con lo scopo di ottimizzare e velocizzare la preparazione e spedizione dei ricambi, e di formare e aggiornare concessionari e utilizzatori finali sull'utilizzo e riparazione delle macchine.

Berti S.p.A. fa parte della federazione Feder Unacoma, associazione dei più importanti costruttori italiani di macchine agricole operatrici, ed è seguita dall'istituto di ricerca Inamoter C.N.R., una risorsa di eccellenza per l'avanzamento, la promozione e la divulgazione delle conoscenze utili alla progettazione, alla produzione e all'impiego delle macchine agricole e movimento terra.

Berti Macchine Agricole pone tra i propri obiettivi prioritari, al pari della redditività, la qualità del prodotto e del servizio, la sicurezza sul lavoro e la tutela dell'ambiente. Si impegna a perseguire una politica di continuo miglioramento delle proprie performance qualitative e di sicurezza, nonché ambientali,



Figura 1.4 Certificazione TÜV

minimizzando ogni impatto negativo e massimizzando la soddisfazione del cliente, dei propri dipendenti/collaboratori e degli altri portatori di interesse del contesto territoriale di riferimento.

Intende raggiungere questi traguardi mediante il mantenimento di un efficace Sistema Gestione Qualità secondo i requisiti della norma UNI EN ISO 9001 e un efficace Sistema Gestione Sicurezza secondo i requisiti della norma BS OHSAS 18001. Inoltre, da ottobre 2015, l'azienda ha ottenuto la certificazione TÜV per la tutela dell'ambiente (ISO 14001).

1.2.4 Ordini

Berti M. A. lavora con una produzione su commesse ripetitive: l'azienda vende da catalogo o comunque produce una gamma di prodotti ben definiti; vengono studiate anticipatamente tutte le caratteristiche progettuali e tecnologiche del prodotto, le quali vengono inserite a catalogo, ma la produzione inizia solo dopo il manifestarsi dell'ordine del cliente. Sono possibili anche soluzioni personalizzate, partendo dalla fase di progettazione del prodotto sulle specifiche del cliente. Questo modo di operare permette all'azienda di produrre le macchine finite in logica *pull*, ottenendo solo quanto è necessario e quando è necessario. Questa logica prevede che l'inizio dell'assemblaggio vero e proprio del prodotto finito avvenga solo ad ordine ricevuto e questo è possibile perché il tempo di risposta accordato dal mercato è compatibile con il tempo necessario alla realizzazione delle attività produttive. Il fatto che la produzione venga attivata solo dalla domanda effettiva accelera i tempi di lavorazione e riduce la confusione e le scorte. La produzione e l'ordine dei componenti e dei sub-assemblati avvengono invece in logica *push*, ovvero in previsione di utilizzarli successivamente, e vengono stoccati nel magazzino centrale.

L'azienda riceve gli ordini tramite l'ufficio commerciale, supportato da un configuratore di prodotto che permette al cliente di esprimere le sue esigenze con scelte che riguardano tutti i campi del prodotto finito. La base per la scelta è il catalogo, diviso in gamma agricola e gamma professional, il quale esplicita quali sono le caratteristiche delle macchine e le specifiche di serie. Una sezione per ogni modello è dedicata agli optional, che specificano le opzioni alternative o aggiuntive sulle quali è possibile esprimere le scelte.

Gli ordini conclusi passano all'ufficio produzione, dove il responsabile genera sul programma gestionale l'ordine di produzione assegnando ogni macchina ad una delle postazioni del reparto assemblaggio, chiamate isole di assemblaggio. La logica per l'assegnazione si basa sull'effetto dell'apprendimento, ovvero i modelli vengono in genere assegnati a specifiche stazioni in modo che l'operatore apprenda meglio il metodo di montaggio. Dall'isola di assemblaggio inizia un percorso, che verrà descritto in seguito, che il prodotto segue fino all'imballaggio.

L'azienda è molto flessibile alle esigenze di prodotto e di servizio dei clienti in tutto il mondo. Per questo motivo negli anni si sono stabiliti rapporti stretti con tutti i clienti, e questo rappresenta un fattore fondamentale per assicurare la continuità e il successo.

Esempi lampanti di queste collaborazioni sono le distinte *ad hoc*. Si tratta di accordi tecnici stipulati con alcuni grandi clienti per fare in modo di garantire loro una fornitura in linea con le loro richieste e facilmente gestibile dall'azienda. Partendo da modelli a catalogo le distinte sono state modificate con aggiunte/sostituzioni o modifiche dirette dei componenti per creare un prodotto finito sulla base delle indicazioni del cliente. Il nome del modello creato richiama il cliente che l'ha richiesto, e quest'ultimo garantisce elevati volumi per quanto riguarda gli ordini di quelle macchine.

1.2.5 Produzione

L'area totale dello stabilimento è suddivisa in reparti, ognuno dei quali relativo ad una specifica fase del processo nel suo percorso verso il cliente finale. Come già detto, la prima fase avviene nel reparto isola di assemblaggio, continuando poi nei reparti lavaggio, verniciatura e montaggio finale.

L'ufficio tecnico sviluppa nuove soluzioni e nuovi prodotti nel rispetto delle normative nell'ambito della sicurezza, oltre a fornire supporto quotidiano alla produzione.

CAPITOLO 2

ANALISI SITUAZIONE ATTUALE

2.1 L'assemblaggio

La maggior parte del tempo che il prodotto trascorre tra l'ordine e la consegna è dedicato all'assemblaggio. L'attività di assemblaggio è l'attività che principalmente crea valore, dalla quale generalmente esce direttamente il prodotto finito con cui l'azienda si pone nel mercato. Per questo è una attività strategica, sulla quale le grandi aziende investono la loro sopravvivenza ed il loro successo: la maggior parte delle grandi industrie considera l'assemblaggio, specialmente di componenti pesanti come nell'automotive, vitale. Le attività di assemblaggio contano per oltre il 50% del totale del tempo di produzione e per il 20% del costo unitario totale di prodotto. Questo indica il risparmio potenziale che può essere generato implementando miglioramenti sistematici in questa attività. Inoltre la qualità del prodotto finito dipende fortemente dall'assemblaggio, che definisce in maniera netta il livello qualitativo della produzione [4]. Per questo Berti Macchine Agricole investe nella formazione dei propri dipendenti per avere personale e manodopera specializzati.

L'evoluzione dei mercati ha portato l'azienda a dover garantire prodotti in diverse configurazioni e varianti, adattando i volumi produttivi alle variazioni della domanda.

La grande sfida di Berti, come delle altre ditte, è stata e continua ad essere quella di adattare la propria produzione ad un mercato che chiede versioni e configurazioni diverse in volumi che variano a seconda della domanda.

2.2 Modalità di produzione aziendale

Quest'ultimo aspetto tocca particolarmente l'azienda oggetto di studio: producendo macchine per l'agricoltura, la domanda è molto soggetta alla stagionalità, con un picco di richieste che corrisponde ai mesi primaverili/estivi e un calo nei mesi

autunnali/invernali.

Berti riesce a livellare il carico di lavoro annuale occupando i propri reparti durante i mesi di calo con la produzione di macchine cosiddette standard, che sono le macchine e le configurazioni che secondo un'analisi interna aziendale risultano essere le più vendute. Esse vengono poi stoccate a magazzino in modo tale che, durante il periodo di picco della domanda, molti ordini riescono ad essere evasi con rapidi tempi di risposta grazie alle macchine prodotte e stoccate in precedenza. È questo l'unico caso in cui la produzione non parte da un ordine effettivo di un cliente, ma da un ordine interno che ha lo scopo di occupare i reparti nei periodi di scarsa richiesta.

La ditta Berti utilizza per il reparto assemblaggio sette isole di lavoro (isole di assemblaggio), ognuna delle quali, con il rispettivo operatore, è adibita alla produzione di determinati modelli. Due di queste sono predisposte per l'assemblaggio di modelli speciali o di grandi dimensioni; due sono dedicate all'assemblaggio della gamma professional; una è dedicata al montaggio delle macchine trincia argini e le tre rimanenti assemblano le macchine trinciatrici. Queste tre sono tra loro equivalenti e quindi intercambiabili (attrezzatura, strumenti e misure uguali) e sono in grado di produrre a lotti 12 macchine, ma generalmente l'assegnazione delle macchine da parte del responsabile della produzione tende a seguire una regola secondo cui ogni isola è specializzata all'assemblaggio di particolari modelli rispetto ad altri. Questo approccio permette agli operatori di migliorare la propria efficienza specializzandosi su un limitato numero di modelli, grazie all'effetto dell'apprendimento.

Successivamente il prodotto passa al lavaggio, che avviene in una specifica area con una *pompa ghibli* che lava i prodotti con acqua in pressione. La macchina passa quindi al reparto verniciatura, dove viene verniciata solitamente di arancione e posta sotto *l'asciugatrice a ponte* (macchinario formato da una struttura contenente lampade da essiccazione per velocizzare il processo di asciugatura del colore). Affiancato al reparto verniciatura c'è il reparto montaggio finale: una volta asciugata la vernice gli addetti predispongono le macchine con i vari accessori e configurazioni richiesti dai clienti in fase d'ordine, e le muniscono della documentazione di conformità alle norme CE nell'ufficio immatricolazione.

Quindi il prodotto finito viene imballato e stoccato in attesa della spedizione o del ritiro.

A supporto del percorso principale ci sono alcuni reparti per la produzione e l'assemblaggio di componenti che l'azienda ha deciso di mantenere all'interno: in particolare si svolgono attività di taglio, saldatura, sabbiatura, montaggio e collaudo di sub-assemblati che verranno poi forniti al processo principale. Vi sono infine ambienti adibiti a magazzino, il quale si può suddividere in tre tipologie: materie prime e componenti, ricambi e prodotti finiti.

2.3 Problematiche

2.3.1 Problematiche di carico

Una prima difficoltà si trova spesso nel bilanciamento dei carichi fra celle: il responsabile di produzione è costretto a ritardare la produzione di alcune macchine appartenenti ad una particolare commessa se nell'assegnazione dei carichi non trova la giusta collocazione alle macchine in lotti da 12: è costretto a creare un compromesso tra bilanciamento del carico e data di consegna. Il tutto porta a date di consegna spesso derivate.

2.3.2 Problematiche di tempo

Ulteriore problema riguarda il tempo di attraversamento di una macchina, ovvero il tempo che intercorre dal momento che essa entra nel sistema come input al momento in cui esce dall'ultimo reparto come output. Essendo l'isola di assemblaggio studiata per assemblare 12 macchine per volta, l'operatore svolge l'operazione su tutte le macchine prima di passare all'operazione successiva. Il motivo di questa scelta è il fatto di usufruire dell'attrezzo che serve per fare tale operazione per tutte le macchine che in quel momento compongono il lotto. In questo modo il tempo di recupero e di attrezzaggio di quello strumento si può ripartire sul totale delle macchine a disposizione, riducendo il tempo totale dell'operazione di set-up una volta diviso il tempo di un unico attrezzaggio per 12.

Tuttavia, eseguendo l'operazione su tutte le macchine prima di passare alla successiva, è evidente che il tempo che intercorre tra l'operazione A su una macchina e l'operazione B sulla stessa macchina è pari al tempo dell'operazione A moltiplicato per il numero delle macchine rimanenti (11). Quindi il tempo di attraversamento della macchina è fortemente condizionato e dilungato dai tempi di attesa che essa subisce mentre l'operatore esegue le operazioni sulle altre macchine.

Uno spreco di tempo si accumula anche per il fatto che per alcuni componenti usati meno frequentemente l'operatore è costretto ad abbandonare la postazione per il recupero. Inoltre alcuni componenti ingombranti vengono forniti da operatori della logistica per mezzo di carrelli elevatori e disposti a bordo linea appena prima del loro consumo: può accadere che l'operatore della logistica ritardi per qualche motivo la consegna e l'operatore della stazione è costretto ad aspettare l'arrivo dei componenti per poter proseguire con il montaggio. Particolarmente problematico risulta il prelievo dei rotori, dei rulli e dei raschiatori: avviene casualmente pescando all'interno di un grande carrello dove vengono posti in ordine sparso i rotori necessari per le 12 macchine del lotto (lo stesso per i rulli e i raschiatori). Al momento del prelievo l'operatore deve capire a su quale macchina posizionare il componente, cosa che richiede del tempo. Questi tempi non sono sicuramente a valore aggiunto.

2.3.3 Problematiche di attesa

Una volta completato l'assemblaggio i lotti vengono trasferiti ai reparti successivi, dove per essere lavorati devono attendere in buffer intermedi, creando code. Le code hanno principalmente un notevole impatto sul tempo di attraversamento e costituiscono, assieme alla movimentazione, circa il 60% del tempo di attraversamento del sistema produttivo attuale.

Un altro importante parametro legato alle code è il materiale in corso di lavorazione (WIP=Work In Process), il quale ad un loro aumento risponde aumentando in modo proporzionale. Un alto WIP comporta un'elevata utilizzazione di magazzino con relative spese di gestione e attrezzature; un secondo aspetto è legato al capitale costituito dal WIP, il quale potrebbe essere utilizzato ad esempio per eventuali investimenti.

L'obiettivo risulta dunque quello di ridurre la coda al minimo valore possibile senza perdere produttività e rispettando la schedulazione. La riduzione delle code determina tempi di attraversamento più brevi e quindi una maggiore flessibilità dell'azienda nel reagire rapidamente alla domanda di mercato. La riduzione del WIP, determinata da una riduzione delle code, comporta a sua volta una riduzione dei possibili danni o deterioramento allo stesso materiale in corso di lavorazione, in quanto si riduce il volume delle scorte.

2.3.4 Problematiche di spazio

Il layout attuale (Figura 2.1) verrà descritto in dettaglio successivamente ma il primo problema riguardante questo aspetto interessa l'area necessaria per tutta la produzione, in quanto è influenzata soprattutto dalla distanza tra i reparti. Le distanze più lunghe che le macchine devono percorrere sono quelle che dividono il reparto isola di assemblaggio e il reparto lavaggio e quello di lavaggio con quello di verniciatura. Gli unici reparti contigui sia fisicamente che nel percorso che il prodotto deve seguire sono la verniciatura ed il montaggio finale. Questa disposizione relativa dei reparti comporta molte movimentazioni e distanze non indifferenti, aumentando il tempo di attraversamento e il numero di prodotti in corso di lavorazione (WIP).

Non è da trascurare l'aspetto della comunicazione. I reparti disposti in questo modo rendono complicata e lenta la comunicazione tra operatori di diverse zone. L'eventuale necessità di comunicazione viene affidata generalmente al capo officina, responsabile dei reparti, il quale deve fisicamente recarsi dove l'informazione deve arrivare per comunicarla.

La difficoltà si ripercuote sul fatto che qualsiasi tipo di difetto rilevato da un reparto non può essere immediatamente comunicato al reparto responsabile del difetto stesso. Inoltre, nel caso in cui il prodotto abbia la necessità di essere rilavorato da un reparto precedente, questo comporta ulteriori movimentazioni di materiale lungo distanze non indifferenti.

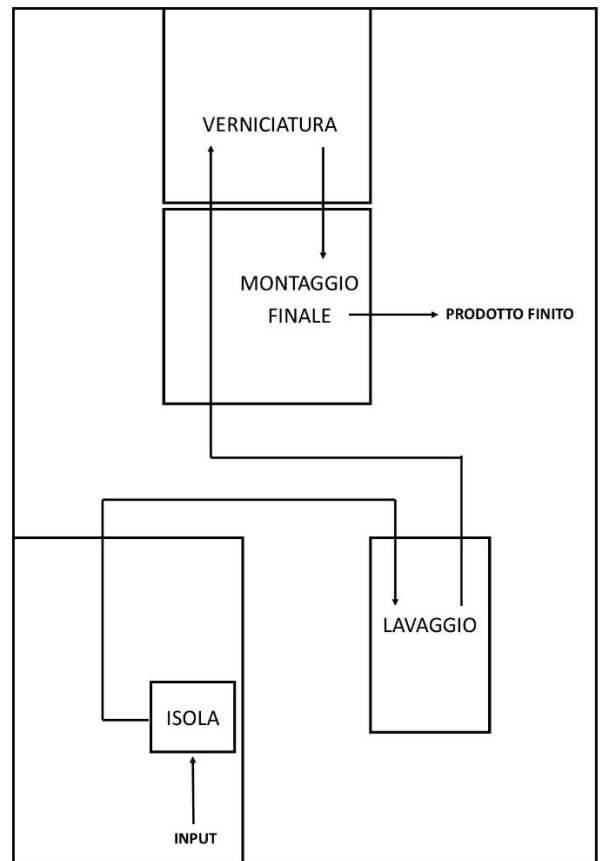


Figura 2.1

2.3.5 Le problematiche in breve

Questo contesto produttivo, oltre alla scarsa saturazione delle risorse, comporta quindi elevati tempi di attraversamento causati dalla sequenza delle operazioni che avvengono sui lotti nelle isole di assemblaggio e per le elevate movimentazioni, le elevate distanze e attese che il prodotto deve percorrere e subire dal punto di input (isola di assemblaggio) al punto di output (dopo il montaggio finale). L'elevato numero di prodotti WIP è causato dal numero di macchine presenti in isola di montaggio e dalle macchine in attesa di passare ai successivi reparti. Il tutto comporta una scarsa prevedibilità delle date di consegna causata dalle difficoltà nella scelta dei lotti da inoltrare nell'impianto e nella scelta delle sequenze di inoltro dei lotti nell'impianto.

CAPITOLO 3

OBIETTIVI DELLO STUDIO

L'obiettivo aziendale oggetto della tesi è quello di differenziare la modalità di produzione tra i modelli cosiddetti standard e i modelli chiamati speciali. I modelli standard sono caratterizzati da prodotti venduti in alti volumi e configurazioni che si ripetono frequentemente durante la produzione annuale, mentre i prodotti speciali sono quei modelli di misure eccessive o configurazioni tali da non prevedere grandi volumi di produzione annuale.

La strategia è il punto di partenza per il miglioramento, e ad essa devono fare riferimento gli obiettivi di performance aziendali. Le priorità per questi obiettivi, per natura, differiscono per le due linee appena descritte: i prodotti standard richiedono una limitata varietà e volumi elevati, con obiettivi quali velocità, affidabilità e basso costo; le macchine cosiddette speciali sono prodotte in volumi limitati e con alta varietà (si pensi alla possibilità di personalizzazione) e richiedono flessibilità e affidabilità.

3.1 Matrice prodotto-processo

Processi con volumi e varietà differenti andrebbero organizzati diversamente. Per qualunque processo il flusso di prodotti, il layout delle risorse, la tecnologia impiegata e la struttura delle mansioni sono fortemente influenzati dal posizionamento in termini di volumi-varietà. Tutti i processi dovrebbero posizionarsi coerentemente nella matrice prodotto-processo (Figura 3.1): la diagonale principale (o naturale) rappresenta il fit tra processo e posizionamento in termini di volumi-varietà. La matrice è funzione anche del flusso dell'output.

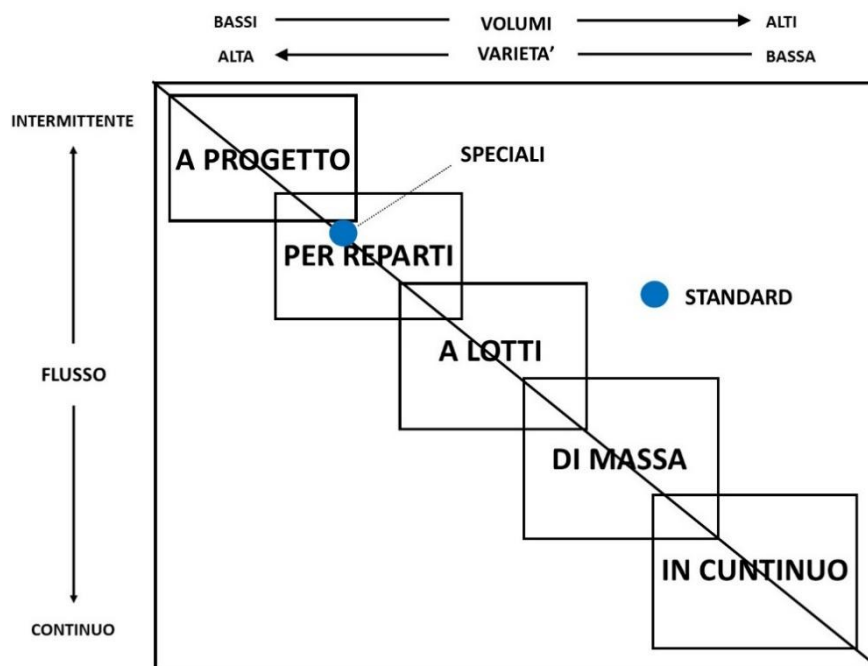


Figura 3.1

Il posizionamento per quanto riguarda i prodotti standard ed i prodotti speciali è quello riportato in figura. La configurazione attuale prevede per tutti i prodotti indifferentemente una produzione a reparti, con il reparto assemblaggio che lavora a lotti. Questa tipologia di processo ha solitamente a che fare con varietà alta e volumi relativamente bassi. Si nota che per quanto riguarda la famiglia standard, le macchine vengono prodotte in volumi elevati e bassa varietà: la tipologia di processo attuale quindi non è la migliore. Ci si allontana dalla diagonale naturale della matrice prodotto-processo verso destra e questo comporta inevitabilmente un aumento dei costi operativi: il processo si trova ad essere più flessibile di quanto non giustificherebbe la posizione effettiva in termini di volume-varietà. In altre parole non viene sfruttata l'opportunità di standardizzare maggiormente le proprie attività, perciò i costi tendono a essere più alti di quello che potrebbero derivare da un processo più vicino alla diagonale [5].

3.2 Frontiera efficiente

In questo contesto si può considerare anche il grafico della frontiera efficiente (Figura 3.2), che mostra sull'asse verticale la varietà di prodotto e su quello orizzontale l'efficienza dei costi. Un'azienda posizionata sulla frontiera efficiente ha un efficace modo di produrre: l'efficienza risulta coerente alla varietà e il modo di produrre è adeguato [6].

L'azienda prevede attualmente un unico modo di produrre le proprie macchine. Se nel caso dei prodotti speciali è un modo efficiente per generare output flessibilmente e con affidabilità elevata (sta sulla frontiera efficiente), nel caso dei prodotti standard l'efficienza dei costi non rispecchia la varietà richiesta dal mercato.



Figura 3.2

La differenziazione nella produzione delle macchine standard ha come obiettivo quello di posizionarsi sulla frontiera efficiente, ovvero di allineare l'efficienza dei costi alla varietà che questa linea di prodotto richiede. La varietà rimane quindi invariata e l'obiettivo è quello di migliorare l'efficienza dei costi. In questo modo l'azienda segmenta i suoi processi (standard e speciali) in linea con la segmentazione del mercato.

Se da un lato il prodotto standard deve indubbiamente competere sul prezzo, dall'altro per i prodotti speciali la variabile prezzo è del tutto irrilevante, mentre assumono importanza critica altri aspetti quali la rispondenza alle specifiche e l'affidabilità delle consegne. Tutto ciò richiede una strategia competitiva *ad hoc* per

i modelli speciali: invece di orientarsi alla minimizzazione del costo, occorre prestare attenzione alla progettazione del prodotto e alle performance di qualità, poiché sono questi, e non il prezzo, i fattori di successo del sistema produttivo. Per questi prodotti la produzione rimane infatti invariata.

CAPITOLO 4

SOLUZIONE

La produzione di modelli standard vuole quindi perseguire la maggiore efficienza dei costi mediante un metodo che abbassi i tempi di attraversamento, le distanze che il prodotto deve percorrere e le attese che deve subire. Questo permette di minimizzare il numero di WIP e garantire una maggiore affidabilità sulle date di consegna riuscendo a produrre quanto richiesto e quando richiesto.

La nuova modalità di produzione per i prodotti standard prevede l'implemento di una linea di assemblaggio. Nel contesto aziendale sono considerati standard i prodotti di punta per quanto riguarda i volumi: le trinciatrici. Attorno a questo prodotto verterà lo studio. Questa famiglia è popolata da molti modelli e varianti ma tramite uno studio del prodotto e del ciclo di lavorazione (da catalogo, consultazione distinte base e "sul campo") è stato possibile individuare delle attività che possono essere svolte su tutti i modelli. Le differenze tra un modello e l'altro sono al netto di queste attività, ovvero nascono dalla diversità delle versioni dei componenti o dalla varietà di configurazioni scelte in fase di progettazione del modello.

4.1 Trinciatrici

La trinciatrice (Figura 4.1 e Figura 4.2) è una macchina agricola trasportata e messa in movimento dai trattori agricoli, essa viene usata per abbattere e tritare residui vegetali (erba incolta, residui di coltivazione) emergenti dal suolo. Cuore dell'attrezzo è il rotore orizzontale su cui sono disposti gli utensili da taglio. L'alimentazione del moto del rotore avviene mediante la presa di forza (a 540 o 1000 giri) del trattore, collegato con un attacco a tre punti (timone). L'Italia è il principale produttore mondiale di trinciatrici. Le regioni più attive nella produzione di tali macchine sono il Veneto, l'Emilia-Romagna e la Lombardia. Lo spostamento, che può avvenire mediante martinetto idraulico o leva meccanica, permette di spostare lateralmente la scocca della macchina, mantenendo l'attacco a tre punti stabile dietro al trattore. Questa caratteristica è di solito presente per lavori dove è richiesto lo spostamento a tratti della macchina, come un viale alberato in

cui la macchina deve uscire e rientrare di continuo dalla traiettoria del trattore. Qualora la macchina fosse centrata all'attacco a tre punti la funzione è quella di coprire interamente o parzialmente lo spazio tra le due ruote posteriori del trattore.



Figura 4.1 – Trinciatrice TFB/Y - www.bertima.it



Figura 4.2 - Trinciatrice TFB/Y - www.bertima.it

4.2 Approccio alla soluzione

Implementare la linea di assemblaggio richiede inizialmente un'analisi dello stato dell'arte e uno studio per capire i prodotti che verranno gestiti con il nuovo metodo: lo studio del processo e la misurazione della prestazione di lavoro sono passi fondamentali per affrontare l'implemento di una nuova linea. Lo studio del processo richiede il partizionamento dell'ammontare totale di lavoro in un set di operazioni elementari chiamati task. Ogni attività richiede un tempo di esecuzione, valutato mediante la misurazione della prestazione di lavoro. Una volta ottenuti i dati necessari si affronta il bilanciamento della linea per strutturare il contenuto di lavoro del processo. Verrà inoltre affrontata una modifica del layout per ridurre le distanze delle movimentazioni e quindi i tempi di attraversamento ed i prodotti WIP.

4.3 Misurazione del lavoro

Il passo successivo alla suddivisione del lavoro in task elementari è quello di misurare il tempo di esecuzione di ognuno di essi. La misurazione del lavoro consiste nell'applicazione di tecniche studiate per stabilire il contenuto di un lavoro relativo ad un compito specifico, determinando il tempo richiesto per svolgerlo

secondo un definito standard di prestazione da parte di un operaio qualificato [7]. Per misurazione della prestazione di lavoro, o metrica del lavoro, s'intende il percorso utilizzato nelle imprese per definire [8]:

- la quantità di operazioni che un lavoratore deve effettuare in una fase di lavoro;
- le modalità in cui deve effettuarle;
- il tempo in cui deve effettuarle (il cosiddetto tempo ciclo).

Lo schema utilizzato per definire la quantità di lavoro da effettuare in un tempo ciclo si basa sulle seguenti fasi:

- fase di ingegnerizzazione del prodotto: è la fase in cui se ne definiscono le caratteristiche;
- definizione delle modalità di assemblaggio del prodotto: in questa fase il responsabile di un gruppo di lavoratori traduce le informazioni della fase precedente in una sequenza di operazioni elementari necessarie per l'assemblaggio del prodotto;
- definizione dei tempi e del carico di lavoro: questa fase racchiude il calcolo del tempo necessario per le singole operazioni e, di conseguenza, il tempo finale di un ciclo.

Lo studio preliminare dei metodi consiste nella sistematica registrazione, analisi ed esame critico dei sistemi esistenti per compiere un lavoro e nello sviluppo ed applicazione di metodi più facili e più efficienti.

Il contenuto di lavoro di un prodotto o di un'attività è costituito dalla quantità di lavoro espressa in ore-uomo o ore-macchina, che sarebbe necessario per fabbricare il prodotto o per svolgere l'attività, se il progetto fosse perfetto, se il procedimento e il metodo di fabbricazione e di esecuzione fossero perfettamente messi a punto, se non esistessero perdite di tempo imputabili a una qualsiasi causa (a parte le cause concesse all'esecutore per l'opportuno riposo). Il contenuto di lavoro è il minimo irriducibile tempo di esecuzione. Il problema è che condizioni ideali (di perfezione del progetto o dei metodi stessi) non si verificano mai, per cui si hanno comunque delle aggiunte di lavoro al contenuto base. Cause di allungamento dei tempi di esecuzione sono difetti di progetto o di specifiche di prodotto, carenze di fattibilità, rilavorazioni, specifiche di qualità

scorrette, inefficienza del metodo, non disponibilità/carenze delle attrezzature o macchine necessarie, carenze di layout/nei flussi produttivi. Esistono anche cause imputabili al management come carenze nelle condizioni ambientali, oppure cause imputabili agli operatori: disattenzione, negligenza, altre questioni di carattere personale o sociale.

4.3.1 Tipi di misurazione

La misurazione comporta la considerazione di due fasi: determinazione dei tempi e analisi dei tempi. I sistemi di determinazione dei tempi possono essere

- la stima;
- il cronometraggio;
- la sintesi di tempi predeterminati;
- la campionatura.

La stima si basa essenzialmente su dati storici relativi a lavori analoghi ed è valida quando è sufficiente un'approssimazione non spinta, o comunque quando l'incidenza del costo della manodopera è secondaria e nel caso di alti tempi e bassi volumi di produzione.

Il cronometraggio è il metodo classico, importante nel caso di attività caratterizzate da tempi di lavorazione contenuti e medio alti volumi. Ovviamente l'affidabilità dei tempi cronometrati dipende da quanto a lungo si è fatto esperienza sulla specifica attività, o in altri termini dal numero di osservazioni effettuate. Uno dei metodi più utilizzati per il cronometraggio è il metodo Bedaux.

La sintesi di tempi predeterminati è un metodo che consente di determinare i tempi di esecuzione senza ricorrere all'uso di strumenti di misura. Consiste nello scomporre l'operazione nei suoi elementi costitutivi e nel ricavare i tempi di ciascun elemento desumendoli da tabelle e/o grafici. I tempi catalogati in questi database sono ricavati da rilevazioni campione associate ai micromovimenti delle persone: il tempo del movimento è stato calcolato come il tempo medio delle rilevazioni effettuate sulle diverse persone.

L'applicazione dei tempi predeterminati richiede la scomposizione del lavoro in elementi, ovvero nelle porzioni/componenti dell'attività. E' da considerare che l'utilizzo di tempi predeterminati è funzionale solo nel caso di cicli molto corti e ripetitivi.

I tempi dei movimenti elementari sono richiamati dall'acronimo P.M.T.S. (Predetermined Motion Time Standards) e sono stati sviluppati diversi standard. Il P.M.T.S. più utilizzato a livello internazionale è M.T.M., un sistema che si basa su tabelle di tempi calcolati mediante ricerche effettuate prevalentemente negli USA negli anni 1940-50. Secondo queste ricerche i tempi di lavoro, definiti con le tabelle MTM, dovrebbero permettere ad un lavoratore con un livello medio di abilità di lavorare per un turno di 8 ore senza stancarsi. Le tabelle sono relative ai movimenti di varie parti del corpo, in particolare ai movimenti di base attinenti gli arti superiori, gli occhi, gli arti inferiori.

I movimenti di base del metodo M.T.M. 1 (padre dei metodi a tempi predeterminati) sono considerati 5: raggiungere (Reach), prendere (Grasp), muovere (Move), posizionare (Position), rilasciare (Release). Inoltre ci sono 3 movimenti di base addizionali per le mani: ruotare (Turn), applicare pressione (Apply Pressure), disaccoppiare (Disegnare). Altri movimenti per gli occhi possono essere muovere gli occhi e fissare lo sguardo. Per i movimenti del corpo e gli arti inferiori ci sono vari movimenti considerati, come ad esempio spostare il piede attorno alla caviglia, spostare la gamba attorno al ginocchio o all'anca, camminare, effettuare un passo laterale, ruotare il corpo, abbassarsi, inginocchiarsi, sedersi.

L'M.T.M. 2 aggrega micromovimenti successivi in sequenze di movimento chiamate appunto motion sequences come ad esempio Get (Reach+Grasp) e Place (Move+Position). Per ognuno di tali movimenti sono definiti i relativi tempi.

Nelle tabelle M.T.M. i tempi sono misurati in unità chiamate T.M.U. (Time Measurement Unit) equivalenti a 0,036 sec e 0,0006 min (1 ora = 100.000 T.M.U.). Questa unità di misura permette una migliore gestione dei tempi molto piccoli (i sistemi a tempi predeterminati sono adatti a cicli molto corti, suddivisi in attività che possono durare alcuni secondi e quindi può essere utile rilevare anche

differenze di qualche centesimo). Inoltre questa unità di misura è difficilmente copiabile da chi non conosce appieno il metodo.

L'utilizzo delle tabelle M.T.M. è dettato dai cosiddetti fattori di influenza: il tempo per un determinato task è influenzato dalla classe di peso, dall'ingombro dell'oggetto, dai casi del prendere (esempio oggetti singoli o in manciata), dai casi del piazzare (accoppiamenti stretti o meno, applicando pressione o meno), e dai settori di distanza.

Il metodo MOST suddivide un singolo task in varie sequenze tabulate che sono una combinazione di lettere e numeri. Le lettere sono associate ai micromovimenti elementari della sequenza e i numeri corrispondono alla durata del micromovimento in T.M.U. La somma dei pedici associati ad ogni sequenza corrisponde al totale dei T.M.U. necessari, la quale somma va moltiplicata per 10 e convertita con il coefficiente di conversione ($1 \text{ T.M.U.} = 0,036 \text{ sec}$) per ricavare il tempo in secondi. In conseguenza alla trasformazione in secondi il tempo puro di esecuzione va maggiorato di una percentuale di riposo che va dal 10% al 20%. I coefficienti sono così alti perché i tempi presenti nei database sono molto ambiziosi rispetto alla normale e media esecuzione da parte degli operatori.

La campionatura è particolarmente adatta per ottenere una ripartizione percentuale di attività complesse e per attività indirette (non direttamente imputabili alla produzione). È un campionamento statistico per attributi in quanto il metodo consiste in osservazioni istantanee effettuate in un certo numero, per un determinato periodo di tempo sul lavoro di una o più macchine, processi od operatori. Ad ogni osservazione si prende nota di quanto sta succedendo in quell'istante, e quindi la percentuale di osservazioni relativa a ciascuna attività o inattività viene considerata come la misura di quella attività o inattività. Le conclusioni sono basate sulle probabilità.

4.3.2 Analisi dei tempi

Questa fase, successiva alla misurazione dei tempi, prende in considerazione tre fattori:

1. il tipo di elemento;

2. la valutazione;
3. le maggiorazioni.

I tipi di elemento delle tempistiche classificano i tempi in base alla loro natura, i quali possono essere:

- ripetitivi;
- occasionali a frequenza regolare;
- occasionali a frequenza irregolare;
- avvenimenti contingenti;
- tempi ininfluenti.

Mentre i primi tre tipi devono essere considerati nella valutazione del tempo di lavoro, gli avvenimenti contingenti (ovvero avvenimenti non collegabili direttamente con l'attività) e i tempi ininfluenti (cioè i tempi non dedicati all'attività in analisi) a priori non devono essere presi in considerazione.

La valutazione dei tempi di lavoro è associata al fatto che questi sono ovviamente dipendenti dall'esperienza e dalla rapidità propria dell'operatore impegnato nell'attività in analisi. Il superamento della componente individuale di prestazione consiste nell'individuazione di uno standard che consideri, insieme all'indicazione del tempo rilevato, una valutazione con un'adeguata scala numerica corrispondente al passo dell'operatore. La valutazione ha quindi per oggetto il rendimento (efficienza ed efficacia) della persona impegnata. Si tratta di un'attività che inevitabilmente contiene una componente soggettiva: la valutazione del rendimento è il procedimento con cui l'analista confronta la prestazione del lavoratore cronometrato con il suo concetto personale di prestazione normale per quel particolare tipo di attività. A tal proposito è da segnalare che la soluzione non è tale da assicurare una completa oggettività, ma è comunque utile ad uniformare i comportamenti degli analisti (le valutazioni) alla luce di riferimenti comuni.

È evidente, comunque, che i tempi base sono riferiti all'esecuzione di una specifica attività secondo il metodo definito e che, come tali, non considerano il carico di lavoro e più in generale le condizioni di lavoro. La considerazione di tali condizioni significherà quindi considerare adeguate maggiorazioni dei tempi stessi, per tenere conto di elementi vari come interruzioni e ritardi inevitabili, necessità personali, fatica, interferenza.

L'introduzione e il mantenimento della nuova linea sono in stretta correlazione con il consenso da parte delle aree alle quali i metodi sono riferiti e con l'addestramento degli operatori. Il consenso riporta all'approvazione dei responsabili delle specifiche aree e, a seguire, di quella degli operatori direttamente interessati. Leve fondamentali a tal proposito sono il coinvolgimento già durante le fasi precedenti e la comunicazione. Queste 'precauzioni' permettono l'accettazione da parte degli interessati di essere messi sotto la lente d'ingrandimento per lo studio di ciò che fanno: è importante comunicare che ciò che si sta studiando non ha l'obiettivo di giudicare come il singolo operatore lavora, ma di mettere a fuoco lo stato delle attività, ovvero come le cose vengono fatte, per cercare di migliorare le prestazioni complessive della produzione. Particolare non trascurabile da far capire agli operatori è il fatto che chi opera sa come vanno svolte le attività certamente meglio di chi è demandato all'attività di analisi. Questo modo di comunicare permette di creare tra operatori e analista una relazione di tipo collaborativo.

4.4 Rilevamento tempi con metodo Bedaux

La rilevazione cronometrica delle attività è ancora la forma più diffusa di quantificazione del tempo occorrente per eseguire la lavorazione o il montaggio di un prodotto [9].

La tecnica Bedaux è nata negli anni '20 nell'ambito dello studio del lavoro e prevede il cronometraggio diretto delle attività. Come espresso nella parte iniziale, è importante la comunicazione tra analisti e operatori: non si tratta di una tecnica volta al giudizio sulla prestazione, ma ha lo scopo di rilevare dati importanti per la progettazione. Una spiegazione preliminare del motivo dell'utilizzo del cronometro permette agli analisti di lavorare con operatori ben disposti, nell'ottica di collaborazione.

Il compito del soggetto che opera, chiamato *cronometrista* o *analista*, è definire il come si deve lavorare, stabilire cioè il metodo di lavoro. In quest'ottica sono stati seguiti vari cicli di produzione per capire sia la sequenza cronologica che gli operatori usano sia il metodo migliore per la rilevazione dei tempi.

Definito il metodo, l'operazione successiva è la scomposizione del lavoro assegnato in blocchi misurabili e valutabili. Il ciclo viene quindi suddiviso in task elementari. Lo studio del metodo di lavoro degli operatori ha portato alla suddivisione dell'intero ciclo in 32 attività, ciascuna riferita ad un componente (gruppo di componenti) o ad attività ben definite.

4.4.1 Il rilevamento e la valutazione dell'efficienza

La parte di rilevazione cronometrica si svolge in più rilevazioni con cronometro di ogni task, onde ottenere i tempi rilevati. Ad ogni rilevamento va associato un giudizio che rappresenta l'efficienza rilevata, ovvero una misura del passo/della prestazione dell'operatore che tiene conto di fattori come la precisione, la sicurezza e la velocità con cui si è svolta l'attività. I giudizi dell'efficienza rappresentano la scala di Bedaux: essi vanno di cinque in cinque e generalmente si assegnano giudizi non inferiori a 50 e non superiori a 100. L'efficienza desiderata è posta in corrispondenza del valore 80: questo giudizio è quello ottimo in quanto prevede una prestazione né troppo lenta e né troppo veloce. I giudizi inferiori a 80 rappresentano una prestazione non ottima: 70 corrisponde ad una prestazione media, 60 ad una prestazione appena sufficiente alla sopravvivenza dell'azienda, 50 insufficiente. I giudizi superiori a 80 corrispondono a ritmi veloci, che portano a tempi più brevi ma non sostenibili durante un arco di tempo più ampio. Come già detto nella prima parte, i giudizi sono assegnati dall'analista e quindi soggetti alla soggettività di chi giudica la prestazione e dall'idea che il singolo individuo ha sul modo e sul tempo necessario a svolgere la determinata attività. Esistono dei corsi di 'taratura degli analisti' per fare in modo di ridurre il più possibile la soggettività.

4.4.2 Normalizzazione

Una volta registrati un numero sufficiente di rilevamenti (con relative efficienze), i tempi di ogni attività vanno normalizzati rispetto all'efficienza desiderata; il tempo

medio normalizzato del task è la media aritmetica dei tempi normalizzati.

Tempo medio normalizzato:

$$\left(\frac{\sum_i^n (Tr_{ji} \cdot Er_{ji})}{E_0} \right) \cdot \frac{1}{N}$$

Tr_{ji} =i-esimo tempo rilevato per il task j;

Er_{ji} =i-esima efficienza rilevata per il task j;

E_0 =efficienza desiderata (80);

N =numero di rilevamenti.

4.4.3 Maggiorazione

A questi tempi vanno aggiunte le maggiorazioni per fattore fisiologico e condizioni ambientali. La tabella di Bedaux (Tabella 4.1) contiene i coefficienti di riposo da assegnare in base a fattori come necessità fisiologiche, fatica, posizione di lavoro, temperatura/umidità, rumorosità e illuminazione. Si ottengono in questo modo i tempi assoluti.

Per lo studio oggetto di questa tesi sono stati rilevati per ogni attività 5 tempi (con relative efficienze), è stata scelta come efficienza desiderata 80 e il coefficiente di riposo (Tabella 4.2) è stato posto a 10% in base a queste decisioni:

Coefficiente di Riposo	
Necessità fisiologiche	4%
Fatica	4%
Temperatura	1%
Rumorosità	1%
totale	10%

Tabella 4.2

I fattori pericolosità, attenzione, monotonia, illuminazione e inquinamento sono stati considerati influenti nel calcolo del coefficiente di riposo.

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	###		
	In piedi	3%		
	In piano	In piano sconnesso	Salita o discesa	Con carrello
	In marcia (carico)	2%	3%	4%
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 4.1 Tabella di Bedaux

CAPITOLO 5

RIDUZIONE PRELIMINARE TEMPI

La fase di ingegnerizzazione del prodotto serve a definirne le caratteristiche ed insieme alla fase di definizione delle modalità di assemblaggio ha come obiettivo quello ridurre al minimo il tempo necessario all'assemblaggio. Progettare componenti facili da assemblare può ridurre notevolmente il tempo di esecuzione dell'attività. L'ingegnerizzazione del prodotto e del processo di assemblaggio sono fondamentali in fase di introduzione di un nuovo prodotto, ma è altrettanto importante saper rivedere scelte e configurazioni previste inizialmente per apportare una riduzione del tempo di assemblaggio una volta notata una criticità su un processo esistente.

5.1 Caso catene di protezione

Esaminando la famiglia delle trinciatrici è stata valutata come critica la durata del montaggio delle protezioni anteriori della macchina se la versione richiede le catene di protezione (figura 5.1). Tutte le trinciatrici montano delle protezioni anteriori a protezione del rotore per evitare che i sassi presenti sul terreno di lavoro vengano sparati pericolosamente nell'area circostante. Queste protezioni possono essere di due tipi: bandelle o catene, le quali durante il montaggio in isola di assemblaggio vengono infilate in un perno. Il numero di bandelle o di catene presente in distinta base è associato alla misura della macchina. Le catene vengono montate con dei distanziali per mantenerle uniformi su tutta la lunghezza della macchina e, dato lo spessore della catena e del distanziale, sono per ogni modello in numero superiore rispetto al numero di bandelle (larghezza bandelle c.a. 10 cm): conseguenza ovvia è il maggiore tempo impiegato per il montaggio di una configurazione rispetto all'altra.



Figura 5.1 Protezione anteriore in catene

Nell'ambito del calcolo delle tempistiche, l'ufficio tecnico ha sviluppato una soluzione per ridurre il tempo di montaggio delle catene di protezione, le quali sono attualmente montate singolarmente ed intervallate da distanziali. La nuova configurazione prevede l'acquisto di un sub-assemblato (Figura 5.2) composto da una serie di catene saldate alla loro estremità superiore su un piattino (con il passo tra una catena e l'altra corrispondente alla presenza del distanziale della configurazione a catene singole). Al piattino vengono saldati 3 sostegni forati per permettere di infilare il sub-assemblato nel perno e di montare più agevolmente e più rapidamente una serie di catene che prima si sarebbe dovuta montare catena per catena e distanziale per distanziale.



Figura 5.2 Sub-assemblato per catene

Il sub-assemblato, detto spezzone, misura in lunghezza 400 mm e comprende 16 catene composte da 7 maglie. Il numero di spezzoni necessari a coprire tutta la macchina dipende dalla misura del prodotto. Tutte le possibili misure delle macchine sono multiple di 50 mm, quindi per le misure multiple di 400 mm le macchine monteranno solo sub-assemblati da 400 mm; per le misure non multiple di 400 mm saranno necessari spezzoni di misura diversa, ma in ogni caso almeno multipla di 50 mm.

Nell'ambito di questa innovazione è stato redatto uno studio per la convenienza di una configurazione rispetto all'altra, con il supporto del programma gestionale, del personale dell'ufficio tecnico, dell'ufficio acquisti e degli operai del reparto assemblaggio. L'impatto sotto studio è stato valutato studiando i tempi di montaggio delle diverse configurazioni.

5.1.1 Configurazione a catene singole

La vecchia configurazione di catene prevedeva per la maggior parte delle macchine l'utilizzo di catene con codice CGSZ010 e di distanziali con codice BD/4833. Per capire l'impatto della vecchia configurazione sono state considerate tutte le misure delle macchine che prevedono l'opzione di montaggio delle catene e dei distanziali, e tramite le distinte base è stata riportata la quantità totale dei due articoli per ogni misura.

Il costo per l'azienda della manodopera del reparto assemblaggio è di 30 €/ora. Per capire il tempo di montaggio delle catene singole e dei distanziali è stato cronometrato un operatore durante l'attività su macchine di varie misure. È stato quindi calcolato il tempo di montaggio delle catene singole per ogni misura. Essendo il costo orario dell'operatore dell'isola di montaggio 30 €/ora si è ricavato

il costo della manodopera per il montaggio delle catene per ogni misura (Tabella 5.1).

MIS	COD	QTY	COD	QTY	MIN/MACC	COSTO MANOD
100	BD/4833	35	CGSZ010	36	8,75	€ 4,38
120	BD/4833	41	CGSZ010	43	10,25	€ 5,13
140	BD/4833	49	CGSZ010	50	12,25	€ 6,13
160	BD/4833	55	CGSZ010	57	13,75	€ 6,88
180	BD/4833	62	CGSZ010	64	15,5	€ 7,75
200	BD/4833	67	CGSZ010	71	16,75	€ 8,38
220	BD/4833	74	CGSZ010	78	18,5	€ 9,25
230	BD/4833	77	CGSZ010	81	19,25	€ 9,63
250	BD/4833	86	CGSZ010	89	21,5	€ 10,75

Tabella 5.1 Tempo e costo di montaggio catene singole

5.1.2 Configurazione a spezzoni

Per quanto riguarda la nuova configurazione l'ufficio tecnico ha stabilito che le misure di spezzoni necessarie a coprire tutte le possibili misure sono 500 mm, 450 mm, 400 mm, 300 mm e 200 mm.

A questo punto, basandosi sulle stesse misure delle macchine che montano le catene CGSZ010 e i distanziali BD/4833, è stato calcolato il numero e la misura di spezzoni necessari a coprire tutta la lunghezza della macchina. Quindi, per esempio, una macchina di misura 100 cm avrà bisogno di n° 2 spezzoni da 400 mm e di n° 1 spezzone da 200 mm; una macchina di misura 250 cm avrà bisogno di n° 5 spezzoni da 400 mm e di n° 1 spezzone da 500 mm.

Dopo varie prove di montaggio degli spezzoni è stato stimato un tempo di assemblaggio pari a 1 minuto per ogni singolo spezzone. Moltiplicando questo dato per il numero di spezzoni necessari per ogni misura è stato calcolato il tempo di montaggio per ogni misura. E' risultato che il montaggio della nuova configurazione su una singola macchina è di circa 3 volte inferiore rispetto alla configurazione vecchia.

Essendo il costo orario dell'operatore 30 €/ora si è ricavato il costo della manodopera per il montaggio degli spezzoni per ogni misura (Tabella 5.2).

MIS	QTY					MIN/MACC	COSTO MANOD
	500	450	400	300	200		
100			2		1	3	€ 1,50
120			3			3	€ 1,50
140			3		1	4	€ 2,00
160			4			4	€ 2,00
180			4		1	5	€ 2,50
200			5			5	€ 2,50
220			5		1	6	€ 3,00
230			5	1		6	€ 3,00
250	1		5			6	€ 3,00

Tabella 5.2 Tempo e costo di montaggio catene a spezzoni

La tabella seguente (Tabella 5.3) riassume per ogni misura le differenze in minuti per il tempo di esecuzione e il conseguente risparmio di costo sulla manodopera tra le due configurazioni.

MIS	RISPARMIO	
	TEMPO	COSTO MANOD
100	5,75	€ 2,88
120	7,25	€ 3,63
140	8,25	€ 4,13
160	9,75	€ 4,88
180	10,5	€ 5,25
200	11,75	€ 5,88
220	12,5	€ 6,25
230	13,25	€ 6,63
250	16,5	€ 8,25

Tabella 5.3 Risparmio di tempo e costo tra le due configurazioni

5.1.3 Impatto potenziale

Dopo lo studio dell'impatto delle due diverse configurazioni sulle varie misure delle macchine è stata redatta un'indagine per avere una percezione dell'impatto più aderente alla realtà produttiva dell'azienda. In particolare si è cercato di capire quale effetto avrebbe avuto la nuova configurazione se fosse stata montata al posto della configurazione a catene singole sulle macchine prodotte nel 2015.

Interrogando il database sono quindi state prese in considerazione tutte le macchine che nel 2015 sono state prodotte con le catene CGSZ010 e i distanziali BD/4833, differenziandole con la quantità relativa per misura oltre che per modello. Avendo a disposizione il numero di catene e distanziali necessari per ogni misura è stato calcolato il numero totale degli stessi utilizzato per ogni modello e ogni misura nel 2015. La sommatoria totale ha portato a ricavare il totale delle catene e dei distanziali montati nel 2015.

Avendo a disposizione il dato sul tempo di montaggio per ogni misura si è calcolato il tempo di montaggio totale della vecchia configurazione impiegato nel 2015. Moltiplicando il totale del tempo impiegato nel 2015 per il costo orario degli operai delle isole di assemblaggio è risultato il costo totale della manodopera 2015 per il montaggio della configurazione vecchia.

Le stesse macchine prodotte nel 2015 con le catene singole come protezioni sono state usate come base di studio per la nuova configurazione. In base alla misura, è stato riportato il numero di spezzoni necessari per ogni macchina e moltiplicato poi per il numero di macchine prodotte in tale misura. Sommando i risultati si nota che ovviamente il sub-assemblato maggiormente usato è quello da 400 mm, seguito da quello da 200 mm e quelli da 500 mm, 450 mm e 300 mm in misura minore.

Avendo a disposizione il tempo di montaggio relativo agli spezzoni, moltiplicandolo al costo orario dell'operaio, è risultato il costo totale della manodopera che sarebbe stata impiegata nel 2015 per le macchine con le catene a spezzoni.

5.1.4 Risultati del confronto

Configurazione vecchia con catene CGSZ010 e distanziali BD/4833:

Tempo totale annuale: 7.723,75 minuti (128,73 ore);

Costo manodopera annuale: € 3.861,88.

Configurazione nuova con le catene a spezzoni:

Tempo totale: 419 minuti (circa 7 ore);

Costo manodopera annuale: € 209,50.

Differenza di tempo annuale: 7.304,75 minuti (121,73 ore);

Differenza di costo manodopera annuale: € 3.652,38.

La configurazione a catene a spezzoni permette un notevole risparmio di tempo e quindi anche di costo della manodopera. Questa riduzione preliminare del tempo di esecuzione sarà implementata nello studio successivo. Questi risultati riguardanti le due configurazioni per la produzione 2015 sono stati presentati nella riunione tecnica che aveva per oggetto la valutazione tecnico-economica delle catene nuove (spezzoni), insieme alle tabelle che consideravano i costi sulle singole misure. La nuova configurazione è stata promossa e si è deciso di introdurre l'innovazione a partire da un modello in procinto di uscire sul mercato e sui prodotti di punta.

CAPITOLO 6

PROGETTO LINEA

Alla luce di questa preliminare riduzione dei tempi di esecuzione di una specifica attività si è proseguito lo studio con lo sviluppo della nuova linea. Come già detto, è stato deciso di implementare la nuova linea di assemblaggio sulla famiglia delle trinciatrici, comprendendo le varie configurazioni. Alla famiglia oggetto di analisi appartengono macchine con misure che vanno da 100 cm a 250 cm. È stato deciso di porre sotto studio una famiglia composta da 3 modelli denominati Y, C e R ognuno dei quali con caratteristiche comuni e con configurazioni proprie del singolo modello o di due modelli su tre. In seguito verranno descritte le caratteristiche delle configurazioni delle macchine classificandole in base alle attività che il prodotto deve subire per avere tale configurazione.

6.1 Linea di assemblaggio

Una linea di assemblaggio consiste in una serie di stazioni di lavoro in cui vengono svolte le attività consecutivamente e i pezzi passano da una postazione all'altra secondo diverse modalità dipendenti dal volume e dal peso del prodotto. Ad ogni stazione le attività ad essa assegnate vengono svolte ripetitivamente in funzione del tempo ciclo (tempo richiesto dal processo per il completamento di una unità).

Con il passaggio ad una produzione in linea alcuni effetti sono da considerare:

- l'introduzione di prodotti nuovi diviene meno frequente e molto costosa; gli aggiustamenti parziali del processo produttivo diventano un fatto di procedura, mentre i cambiamenti radicali diventano onerosissimi da progettare e da attuare;
- il processo produttivo diventa più rigido e il ciclo è meglio definito e formalizzato. Le fasi del processo sono sempre più strettamente interconnesse;
- gli alti volumi rendono possibile lo sfruttamento di economie di scala; i macchinari vengono sfruttati più intensivamente e la produzione deve essere accuratamente pianificata;

- utilizzo di materie prime analoghe per realizzare prodotti eterogenei. Approssimandosi l'effettivo lancio in produzione, aumenta la certezza circa i fabbisogni, crescono gli acquisti di materie prime e la regolarità e l'affidabilità di acquisti e consegne. La validità dei contratti di fornitura si allunga; grazie all'entità dei volumi e alla regolarità degli acquisti aumenta il controllo sui fornitori in termini di prezzo e specifiche di progettazione;
- si intensifica l'integrazione tra il sistema informativo globale e quello di produzione. Il flusso informativo è unidirezionale e prevalentemente discendente (*top-down*);
- il controllo qualità fa riferimento a standard sempre più formalizzati [10].

La nuova linea si basa su un approccio mixed-model. Una linea di assemblaggio mixed-model è un tipo di produzione in cui vengono prodotti una varietà di modelli con caratteristiche di prodotto simili, quindi offre la possibilità di produrre una famiglia di prodotti su una stessa linea [11]. Il tasso di produzione dei singoli modelli rispecchierà lo stesso tasso con cui il modello è richiesto sul mercato (mix micro=mix macro). Con la continua diversificazione delle esigenze dei clienti e la frammentazione dei mercati di massa, le aziende competono più sulle linee di prodotto che sui prodotti singoli [12]. Offrendo una varietà di prodotti diversi ma appartenenti ad una stessa famiglia è possibile ricoprire diversi segmenti di mercato senza incorrere in svantaggi di costo.

Il concetto per la risoluzione di un bilanciamento mixed-model è quello di combinare più modelli di una stessa famiglia basandosi sulle attività che vanno svolte. È possibile visualizzare le attività che vanno svolte sui modelli mediante i diagrammi delle precedenze, uno per ogni modello. Combinando i diagrammi si giunge ad uno unico, in modo da rappresentare e risolvere il sistema come un bilanciamento di una linea single-model.

Questo approccio è diventato popolare negli ultimi anni come parte integrante del sistema di produzione JIT (Just In Time). Questo sistema si propone di agganciare la produzione alle richieste del mercato e ridurre al minimo le scorte di magazzino.

Berti si trova in questo caso già allineata a quest'ottica perché assembla i prodotti solo dopo aver ricevuto l'ordine.

6.2 Diagramma delle affinità

L'analisi ha previsto lo studio del ciclo di lavorazione direttamente nei reparti dove avviene la produzione. L'osservazione ha permesso di capire come gli operatori lavorano e le sequenze che adottano per svolgere le attività previste dal loro reparto. L'analisi ha previsto uno studio delle affinità tra i reparti per capire quali vincoli tecnologici esistono attualmente, vincoli che dovranno essere rispettati nel progetto della nuova linea di assemblaggio.

Si tratta di una rappresentazione (Figura 6.1) che prende in considerazione il criterio di affinità tra i reparti esistenti attualmente in azienda. Questi sono centri di attività che sono in relazione tra di loro sia per quanto riguarda i flussi di materiale che per altri tipi di affinità, ovvero tutti quei fattori che rappresentano il grado di mutua attrazione. Le affinità possono essere positive, negative o neutre. Si impiegano le seguenti classi di vicinanza per esprimere l'affinità tra due coppie di reparti:

- A: assolutamente necessaria (i e j adiacenti);
- E: particolarmente importante (i e j vicini e adiacenti se possibile);
- I: importante (i e j vicini);
- O: ordinaria (i e j vicini qualora sia possibile);
- U: non importante;
- X: non desiderabile, da evitare (i e j non devono essere adiacenti).

Le affinità tra reparti dipendono principalmente dai flussi di materiale. L'intensità del flusso tra un reparto e l'altro aumenta l'affinità tra i due. Nello studio esistono alcune affinità che non dipendono dai flussi, ma che possono essere altrettanto importanti:

- vincoli o problematiche ambientali;
- similitudini di processo;
- condivisione di risorse;
- miglioramento della qualità di prodotto/processo;

- problematiche di sicurezza;
- comunicazione tra reparti.

L'attribuzione di un valore (A-X) ad un'affinità di questo tipo è principalmente un fatto soggettivo, per questo l'assegnazione di un certo valore di vicinanza deve essere sempre motivata.

Presupposto importante è la descrizione dei vincoli legati alla cabina di verniciatura. Il tipo di verniciatura previsto dall'azienda prevede l'applicazione di vernice liquida tramite pittura pneumatica, ovvero la verniciatura a spruzzo mediante un compressore. Le attività di verniciatura comportano la potenziale esposizione ad agenti chimici nell'ambiente di lavoro. L'esposizione può avvenire prevalentemente per via inalatoria a causa della potenziale aerodispersione dei componenti. L'impianto ha pertanto bisogno di essere posizionato adiacentemente alle porte che comunicano con l'esterno, deve disporre di un impianto di aspirazione e di un impianto di recupero idrico delle particelle di vernice. Inoltre gli operatori devono indossare maschere protettive per evitare l'inalazione di particelle pericolose.

Anche la postazione per il lavaggio delle macchine comporta dei vincoli per quanto riguarda il layout: si tratta di una stazione che deve essere predisposta, oltre che dall'attrezzatura per il lavaggio, di griglie di scarico. Per questo motivo non è possibile inserire l'attività di lavaggio in linea, anche perché i vapori e le gocce vaporizzate darebbero fastidio al resto degli operai della linea.

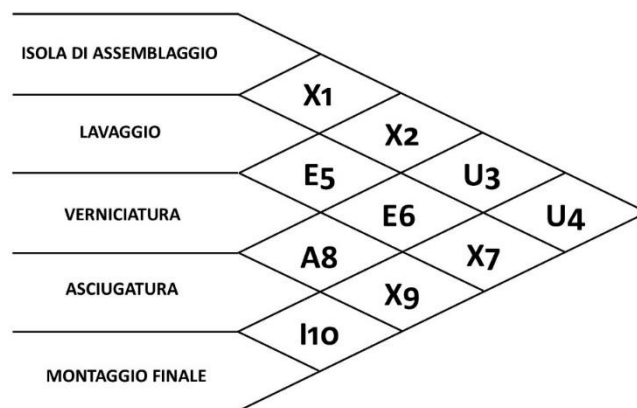


Figura 6.1 Diagramma delle affinità tra reparti

- X1: l'affinità tra isola di assemblaggio e lavaggio è ritenuta non desiderabile per le ragioni tecniche relative al lavaggio descritte in precedenza;
- X2: l'affinità tra verniciatura e isola di assemblaggio è ritenuta non desiderabile per questioni di sicurezza e salute, oltre che per le ragioni tecniche di impianto descritte in precedenza;
- U3: l'affinità tra isola di assemblaggio e asciugatura è ritenuta non importante a causa di contatti infrequenti;
- U4: l'affinità tra isola di assemblaggio e montaggio finale è ritenuta non importante a causa di contatti infrequenti;
- E5: l'affinità tra verniciatura e lavaggio è ritenuta particolarmente importante perché le macchine devono essere lavate appena prima di essere verniciate;
- E6: l'affinità tra lavaggio e asciugatura è ritenuta particolarmente importante perché il flusso di produzione prevede il lavaggio, la verniciatura e l'asciugatura in sequenza;
- X7: l'affinità tra lavaggio e montaggio finale è ritenuta non desiderabile per le ragioni tecniche relative al lavaggio descritte in precedenza;
- A8: l'affinità tra verniciatura ed asciugatura è ritenuta assolutamente necessaria per garantire un efficace processo di verniciatura;
- X9: l'affinità tra verniciatura e montaggio finale è ritenuta non desiderabile per questioni di sicurezza e salute, oltre che per le ragioni tecniche di impianto descritte in precedenza;
- I10: l'affinità tra asciugatura e montaggio finale è ritenuta importante per il flusso dei materiali stabilito nel ciclo di produzione.

Alla luce di questo diagramma si deduce che qualsiasi ipotesi di nuovo layout deve mantenere le attività di lavaggio e quelle che vengono svolte nella cabina di verniciatura e ad esse associate (vedi asciugatura) in postazioni indipendenti dalla linea principale, a debita distanza dalle altre postazioni.

6.3 Divisione in attività

Di seguito (Tabella 6.1) viene presentata la lista dei task elementari con i quali è stato suddiviso il processo di produzione delle macchine. A ciascuna delle 31 attività è stato attribuito un nome che indica in breve il componente a cui l'attività si riferisce. Successivamente verrà descritto in dettaglio come ogni singolo task viene applicato ai 3 diversi modelli.

Alcuni elementi principali vengono descritti per meglio comprendere le successive descrizioni delle attività. La cassa è la base su cui vengono montati tutti gli altri componenti. Le bandelle e le catene sono due alternative per la protezione anteriore: per questo motivo verranno successivamente considerate un'unica attività per il

calcolo dei tempi. Il rotore arriva alla postazione già predisposto con gli utensili da taglio. Il rullo posteriore, insieme al raschiatore, la gomma e i rastrelli posteriori provvedono al livellamento del terreno. Le attività RA159 e RA194 sono successivamente considerate come due alternative dello stesso task. La scatola ingranaggi, il tubo di lubrificazione e i componenti dell'attività TRASM trasmettono in moto rotatorio dal punto di forza del trattore al rotore. Il timone costituisce l'attacco a tre punti per fissare la macchina al trattore. Gli

spostamenti meccanico ed idraulico provvedono allo spostamento relativo della cassa rispetto al timone: per questo motivo verranno successivamente considerate un'unica attività per il calcolo dei tempi. Le ruote posteriori, la cui presenza preclude il montaggio del rullo, permettono una migliore sterzata durante il moto. Le slitte proteggono la fiancata della macchina. Alla luce delle decisioni in ambito di accoppiamento di attività, il totale dei task risulterà essere 29.

OPERAZIONE	DESCRIZIONE
CAS	Caricamento cassa
BAN	Montaggio protezioni bandelle
CAT	Montaggio protezioni catene
SBROT	Montaggio supporti su rotore
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa
PRL	Montaggio protezione laterale
SBRUL	Montaggio supporti su rullo
RUL	Montaggio rullo posteriore
CAP	Capovolgere
COF	Fissaggio cofano
RA*	Montaggio raschiatore 159/194
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi
TL	Montaggio tubo lubrificazione
TRASM	Montaggio trasmissione
PRED	Predisposizione ruote anteriori
TIM	Montaggio timone
SCI	Scarico
LAV	Lavaggio
VER	Verniciatura
CAV	Posizionare sui cavalletti
SPI	Montaggio spostamento idraulico
SPM	Montaggio spostamento meccanico
CUF	Montaggio cuffia di protezione
CART	Montaggio carter di protezione
PART	Montaggio particolari
GOM	Montaggio gomma posteriore
RUOP	Montaggio ruote posteriori
RAST	Montaggio rastrelli posteriori
ET	Etichette
SLI	Montaggio Slitte
SCF	Scarico finale

6.4 Matrice binaria

La matrice binaria delle attività (Tabella 6.2) rappresenta i task che vengono svolti su ogni modello. Per ogni modello (posto in colonna) è presente la cifra 1 se l'attività di quella riga è svolta sul modello, la cifra 0 se non è prevista. Confrontandole tra loro si nota che ci sono task comuni a tutti i modelli, alcuni che sono svolti su due modelli su tre e altri che vengono praticati in uno solo.

Dati i tre modelli denominati Y, C e R e le complessive attività:

i task e quindi i componenti comuni ai tre modelli sono 21: caricamento cassa (CAS), montaggio supporti rotore (SBROT), montaggio rotore (ROT), montaggio protezione laterale (PRL), capovolgere (COP), fissaggio cofano (COF), montaggio scatola ingranaggi (SCIN), montaggio tubo lubrificazione (TL), montaggio trasmissione (TRASM), montaggio

timone (TIM), scarico identificativo (SCI), lavaggio (LAV), verniciatura (VER), posizionare sui cavalletti (CAV), montaggio cuffia di protezione (CUF), montaggio carter di protezione (CART), montaggio particolari (PART), montaggio gomma posteriore (GOM), montaggio rastrelli posteriori (RAST), etichette (ET), scarico finale (SCF).

Le attività presenti solo per il modello C sono montaggio protezione catene (CAT), montaggio raschiatore 194 (RA194), montaggio spostamento meccanico (SPM). L'attività presente solo per il modello R è montaggio ruote posteriori (RUOP). Le attività presenti solo per i modelli Y e C sono montaggio supporti su rullo (SBRUL) e montaggio rullo (RUL). Le attività presenti solo per i modelli Y e R sono montaggio protezione bandelle (BAN), montaggio raschiatore 159 (RA159), montaggio spostamento idraulico (SPI) e montaggio slitte (SLI). Queste combinazioni sono date da vincoli dei modelli che risultano dal catalogo aziendale.

	Y	C	R
CAS	1	1	1
BAN	1	0	1
CAT	0	1	0
SBROT	1	1	1
ROT	1	1	1
PRL	1	1	1
SBRUL	1	1	0
RUL	1	1	0
CAP	1	1	1
COF	1	1	1
RA159	1	0	1
RA194	0	1	0
SCIN	1	1	1
TL	1	1	1
TRASM	1	1	1
PRED	0	1	1
TIM	1	1	1
SC	1	1	1
LAV	1	1	1
VER	1	1	1
CAV	1	1	1
SPI	1	0	1
SPM	0	1	0
CUF	1	1	1
CART	1	1	1
PART	1	1	1
GOM	1	1	1
RUOP	0	0	1
RAST	1	1	1
ET	1	1	1
SLI	1	0	1
SCF	1	1	1

Tabella 6.2 Matrice binaria

Attualmente le attività che vanno da CAS a SCI sono svolte nel reparto isola di assemblaggio, il lavaggio (LAV) e la verniciatura (VER) sono svolte in reparti a sé stanti e le attività da CAV a SCF avvengono nel reparto montaggio finale.

6.5 Descrizione attività

6.5.1 Modello Y

Descrizione dettagliata delle attività da svolgere per la produzione del modello Y (Tabella 6.3). Se un'attività non è prevista la cella della descrizione risulta vuota.

DESCRIZIONE		Y
CAS	Caricamento cassa	Misurare la lunghezza della cassa, imbragarla alla fune e caricarla sulla postazione; allargare i fori filettandoli
BAN	Montaggio protezioni bandelle	Estrarre il perno, recuperare le bandelle e montarle infilando gradualmente il perno; fissare il perno
CAT	Montaggio protezioni catene	
SBROT	Montaggio supporti su rotore	Pulire le estremità del rullo ed ingrassarle; montare i supporti destro e sinistro (con rondella e guarnizione)
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	Imbragare il rotore con la fune di sollevamento, metterlo in posizione e fissarlo con viti e rondelle; montare gli ingrassatori; fissare il piatto di chiusura saldandolo
PRL	Montaggio protezione laterale	Montaggio protezione laterale fissandola con viti e rondelle
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	Pulire gli estremi del rullo e montare i supporti destro e sinistro
RUL	Montaggio rullo posteriore	Imbragare il rullo; posizionarlo con viti e dadi e fissare con l'avvitatore; avvitare gli ingrassatori; smerigliare gli estremi del rullo con il flessibile
CAP	Capovolgere	Capovolgere la macchina
COF	Fissaggio cofano	Chiudere e fissare il cofano con viti e dadi; smerigliare le fiancate e controllarne l'allineamento
RA*	Montaggio raschiatore 159/194	Montare il raschiatore e fissarlo con viti e dadi
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	Prelevare la scatola ingranaggi e posizionarla; fissare la scatola ingranaggi con viti e rondelle
TL	Montaggio tubo lubrificazione	Assemblare il tubo di lubrificazione e montarlo sulla fiancata
TRASM	Montaggio trasmissione	Posizionare le pulegge con i calettatori; allineare le pulegge e fissare i calettatori; montare le cinghie sulle pulegge; montare il tendicinghia; avvitare gli ingrassatori
PRED	Predisposizione ruote anteriori	
TIM	Montaggio timone	Montare gli ingrassatori; imbragare il timone e inserirlo
SCI	Scarico	Applicare il numero id, ingrassare la macchina e scaricarla dalla postazione
LAV	Lavaggio	Trasportare la macchina alla postazione lavaggio e lavare la macchina
VER	Verniciatura	Asciugare la macchina; verniciare la macchina e asciugarla; trasportarla alla stazione successiva
CAV	Posizionare sui cavalletti	Alzare la macchina rispetto al piano di lavoro; togliere lo scotch dalle pulegge e ingrassare la fiancata dietro al tendicinghia

SPI	Montaggio spostamento idraulico	Montare il martinetto idraulico fissandolo con l'avvitatore; agganciare i tubi preassemblati e fissarli
SPM	Montaggio spostamento meccanico	
CUF	Montaggio cuffia di protezione	Infilare e montare la cuffia di protezione
CART	Montaggio carter di protezione	Montare carter di protezione fissandolo con le viti
PART	Montaggio particolari	Montare gli spinotti e il gancio porta cardano sul timone e il piedino
GOM	Montaggio gomma posteriore	Montare la gomma posteriore fissando il supporto
RUOP	Montaggio ruote posteriori	
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	Montare i rastrelli posteriori posizionandoli e fissandoli con le copiglie
ET	Etichette	Attaccare le etichette
SLI	Montaggio Slitte	Montare le slitte fissandole con viti e dadi
SCF	Scarico finale	Scaricare la macchina e verificare

Tabella 6.3 Lista e descrizione attività modello Y

6.5.2 Modello C

Descrizione dettagliata delle attività da svolgere per la produzione del modello C (Tabella 6.4). Se un'attività non è prevista la cella della descrizione risulta vuota.

DESCRIZIONE		C
CAS	Caricamento cassa	Misurare la lunghezza della cassa, imbragarla alla fune e caricarla sulla postazione; allargare i fori filettandoli
BAN	Montaggio protezioni bandelle	
CAT	Montaggio protezioni catene	Estrarre il perno, montare le catene a spezzoni infilando gradualmente il perno; fissare il perno
SBROT	Montaggio supporti su rotore	Pulire le estremità del rullo ed ingrassarle; montare i supporti destro e sinistro (con rondella e guarnizione)
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	Imbragare il rotore con la fune di sollevamento, metterlo in posizione e fissarlo con viti e rondelle; montare gli ingrassatori; fissare il piatto di chiusura saldandolo
PRL	Montaggio protezione laterale	Montaggio protezione laterale fissandola con viti e rondelle
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	Pulire gli estremi del rullo e montare i supporti destro e sinistro
RUL	Montaggio rullo posteriore	Imbragare il rullo; posizionarlo con viti e dadi e fissare con l'avvitatore; avvitare gli ingrassatori; smerigliare gli estremi del rullo con il flessibile
CAP	Capovolgere	Capovolgere la macchina
COF	Fissaggio cofano	Chiudere e fissare il cofano con viti e dadi; smerigliare le fiancate e controllarne l'allineamento
RA*	Montaggio raschiatore 159/194	Montare il raschiatore e fissarlo con viti e dadi
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	Prelevare la scatola ingranaggi e posizionarla; fissare la scatola ingranaggi con viti e rondelle

TL	Montaggio tubo lubrificazione	Assemblare il tubo di lubrificazione e montarlo sulla fiancata
TRASM	Montaggio trasmissione	Posizionare le pulegge con i calettatori; allineare le pulegge e fissare i calettatori; montare le cinghie sulle pulegge; montare il tendicinghia; avvitare gli ingrassatori
PRED	Predisposizione ruote anteriori	Tagliare il porta-piedino e saldare la boccola sul profilo
TIM	Montaggio timone	Montare gli ingrassatori; imbragare il timone e inserirlo
SCI	Scarico	Applicare il numero id, ingrassare la macchina e scaricarla dalla postazione
LAV	Lavaggio	Trasportare la macchina alla postazione lavaggio e lavare la macchina
VER	Verniciatura	Asciugare la macchina; verniciare la macchina e asciugarla; trasportarla alla stazione successiva
CAV	Posizionare sui cavalletti	Alzare la macchina rispetto al piano di lavoro; togliere lo scotch dalle pulegge e ingrassare la fiancata dietro al tendicinghia
SPI	Montaggio spostamento idraulico	
SPM	Montaggio spostamento meccanico	Infilare lo spostamento meccanico nel foro sulla fiancata; allineare, inserire il perno, le spine, il fermo e la copiglia
CUF	Montaggio cuffia di protezione	Infilare e montare la cuffia di protezione
CART	Montaggio carter di protezione	Montare carter di protezione fissandolo con le 6 viti
PART	Montaggio particolari	Montare gli spinotti e il gancio porta cardano sul timone e il piedino
GOM	Montaggio gomma posteriore	Montare la gomma posteriore fissando il supporto
RUOP	Montaggio ruote posteriori	
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	Montare i rastrelli posteriori posizionandoli e fissandoli con le copiglie
ET	Etichette	Attaccare le etichette
SLI	Montaggio Slitte	
SCF	Scarico finale	Scaricare la macchina e verificare

Tabella 6.4 Lista e descrizione attività modello C

6.5.3 Modello R

Descrizione dettagliata delle attività da svolgere per la produzione del modello R (Tabella 6.5). Se un'attività non è prevista la cella della descrizione risulta vuota.

DESCRIZIONE		R
CAS	Caricamento cassa	Misurare la lunghezza della cassa, imbragarla alla fune e caricarla sulla postazione; allargare i fori filettandoli
BAN	Montaggio protezioni bandelle	Estrarre il perno, recuperare le bandelle e montarle infilando gradualmente il perno; fissare il perno
CAT	Montaggio protezioni catene	

SBROT	Montaggio supporti su rotore	Pulire le estremità del rullo ed ingrassarle; montare i supporti destro e sinistro (con rondella e guarnizione)
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	Imbragare il rotore con la fune di sollevamento, metterlo in posizione e fissarlo con viti e rondelle; montare gli ingrassatori; fissare il piatto di chiusura saldandolo
PRL	Montaggio protezione laterale	Montaggio protezione laterale fissandola con viti e rondelle
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	
RUL	Montaggio rullo posteriore	
CAP	Capovolgere	Capovolgere la macchina
COF	Fissaggio cofano	Chiudere e fissare il cofano con viti e dadi; smerigliare le fiancate e controllarne l'allineamento
RA*	Montaggio raschiatore 159/194	Montare il raschiatore e fissarlo con viti e dadi
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	Prelevare la scatola ingranaggi e posizionarla; fissare la scatola ingranaggi con viti e rondelle
TL	Montaggio tubo lubrificazione	Assemblare il tubo di lubrificazione e montarlo sulla fiancata
TRASM	Montaggio trasmissione	Posizionare le pulegge con i calettatori; allineare le pulegge e fissare i calettatori; montare le cinghie sulle pulegge; montare il tendicinghia; avvitare gli ingrassatori
PRED	Predisposizione ruote anteriori	Tagliare il porta-piedino e saldare la boccola sul profilo
TIM	Montaggio timone	Montare gli ingrassatori; imbragare il timone e inserirlo
SCI	Scarico	Applicare il numero id, ingrassare la macchina e scaricarla dalla postazione
LAV	Lavaggio	Trasportare la macchina alla postazione lavaggio e lavare la macchina
VER	Verniciatura	Asciugare la macchina; verniciare la macchina e asciugarla; trasportarla alla stazione successiva
CAV	Posizionare sui cavalletti	Alzare la macchina rispetto al piano di lavoro; togliere lo scotch dalle pulegge e ingrassare la fiancata dietro al tendicinghia
SPI	Montaggio spostamento idraulico	Montare il martinetto idraulico fissandolo con l'avvitatore; agganciare i tubi preassemblati e fissarli
SPM	Montaggio spostamento meccanico	
CUF	Montaggio cuffia di protezione	Infilare e montare la cuffia di protezione
CART	Montaggio carter di protezione	Montare carter di protezione fissandolo con le 6 viti
PART	Montaggio particolari	Montare gli spinotti e il gancio porta cardano sul timone e il piedino
GOM	Montaggio gomma posteriore	Montare la gomma posteriore fissando il supporto
RUOP	Montaggio ruote posteriori	Montare le ruote posteriori sterzanti fissandole con viti, rondelle e dadi
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	Montare i rastrelli posteriori posizionandoli e fissandoli con le copiglie
ET	Etichette	Attaccare le etichette
SLI	Montaggio Slitte	Montare le slitte fissandole con viti e dadi
SCF	Scarico finale	Scaricare la macchina e verificare

Tabella 6.5 Lista e descrizione attività modello R

6.6 Matrici di incidenza

Tutte le attività descritte sono da svolgere sui modelli: l'operatore ovviamente le esegue in sequenza secondo una logica di ordine cronologico e precedenze temporali. Lo studio di una linea di assemblaggio deve tuttavia considerare le precedenze tecnologiche delle attività, ovvero le vere precedenze di un'attività rispetto all'altra.

La precedenza dell'attività x rispetto all'attività y è valida solamente se l'attività y non può essere eseguita senza prima aver terminato l'attività x. Quindi bisogna escludere le precedenze dovute al fatto che 'si è sempre fatto così' o dovute all'abitudine se non sono vere precedenze tecnologiche.

Le precedenze possono essere rappresentate tramite la matrice di incidenza (Tabelle 6.6, 6.7, 6.8), la quale, per ogni modello, rappresenta le precedenze tecnologiche esistenti tra tutte le attività presenti. E' una matrice $N \times N$ (dove N è il numero di task) triangolare superiore che ha sia in riga sia in colonna la lista di tutte le attività. La cella che corrisponde all'intersezione tra due attività esprime se esiste una precedenza tecnologica tra l'attività posta in colonna e l'attività posta in riga. In particolare nella cella sarà presente la cifra 1 se l'attività x (in colonna) ha precedenza sull'attività y (in riga). Se non esiste una precedenza tecnologica tra le due attività, questo sarà espresso dalla presenza della cifra 0 nella cella intersezione delle due attività.

Sono contrassegnate di azzurro le colonne e le righe corrispondenti ad attività che non vengono svolte sul modello. Le attività in giallo sono quelle che attualmente vengono eseguite nel reparto isole di assemblaggio; quelle in marrone sono eseguite nel reparto lavaggio e nel reparto verniciatura; quelle in arancione sono quelle che svolgono gli operatori del reparto montaggio finale. Quando nella cella è presente una cifra rossa significa che le attività che determinano l'intersezione di quella cella sono incompatibili tra loro (esempio: BAN e CAT non possono essere svolte entrambe su un modello in quanto rappresentano due diverse configurazioni per quanto riguarda la protezione anteriore).

6.6.1 Matrice di incidenza modello Y

	CAS	BAN	CAT	SBROT	ROT	PRL	SBRUL	RUL	CAP	COF	RA153	RA194	SCIN	TL	TRASM	PRED	TIM	SCI	LAV	VER	CAV	SPI	SPM	CUF	CART	PART	GOM	RUOP	RAST	ET	SLI	SCF	
CAS	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	
BAN		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CAT			0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SBROT				1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
ROT					0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
PRL						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
SBRUL							1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
RUL								1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CAP									1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
COF										1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
RA153											0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
RA194												0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SCIN													0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
TL														1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
TRASM															0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	
PRED																1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
TIM																	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
SC																		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
LAV																			1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
VER																				1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
CAV																					1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SPI																						1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SPM																							1	0	1	0	0	0	1	0	1		
CUF																								1	0	0	0	0	0	1	0	1	
CART																									1	1	1	1	1	0	1		
PART																										1	1	1	1	0	1		
GOM																											1	0	0	1	0	1	
RUOP																												0	1	1	0	1	
RAST																													1	1	0	1	
ET																														1	0	1	
SLI																															0	1	1
SCF																																1	1

Tabella 6.6 Matrice di incidenza Y

6.6.2 Matrice di incidenza modello C

	CAS	BAN	CAT	SBROT	ROT	PRL	SBRUL	RUL	CAP	COF	RA153	RA194	SCIN	TL	TRASM	PRED	TIM	SCI	LAV	VER	CAV	SPI	SPM	CUF	CART	PART	GOM	RUOP	RAST	ET	SLI	SCF	
CAS	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	
BAN		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
CAT			0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SBROT				1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
ROT					0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
PRL						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
SBRUL							1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
RUL								1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
CAP									1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
COF										1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
RA153											0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
RA194												0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SCIN													0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
TL														1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
TRASM															0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1		
PRED																1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
TIM																	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SC																		1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
LAV																			1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
VER																				1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
CAV																					1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1		
SPI																						1	1	0	1	0	0	0	1	0	1		
SPM																							1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
CUF																								1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
CART																									1	1	1	1	1	0	1	1	
PART																										1	1	1	1	0	1	1	
GOM																											1	0	0	1	0	1	
RUOP																												0	1	1	0	1	
RAST																													1	1	0	1	
ET																														1	0	1	
SLI																															0	1	1
SCF																																1	1

Tabella 6.7 Matrice di incidenza C

6.6.3 Matrice di incidenza modello R

	CAS	BAN	CAT	SBROT	ROT	PRL	SBRUL	RUL	CAP	COF	RA159	RA194	SCIN	TL	TRASM	PRED	TIM	SCI	LAV	VER	CAV	SPI	SPM	CUF	CART	PART	GOM	RUOP	RAST	ET	SLI	SCF			
CAS	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			
BAN		0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
CAT			0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
SBROT				1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
ROT					0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
PRL						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
SBRUL							1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
RUL								1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
CAP									1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
COF										1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
RA159											0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
RA194												0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
SCIN													0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
TL														1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
TRASM															0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1			
PRED																1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
TIM																	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
SC																		1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
LAV																			1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
VER																			1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
CAV																				1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1			
SPI																					1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1			
SPM																						1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1		
CUF																							1	0	1	0	0	0	0	1	0	1			
CART																								1	1	1	1	1	0	1	0	1			
PART																									0	0	0	0	1	0	1	0	1		
GOM																										0	1	1	0	1	0	1			
RUOP																											1	1	0	1	0	1			
RAST																												1	1	0	1	0	1		
ET																													1	0	1	0	1		
SLI																														1	0	1	0	1	
SCF																															1	0	1	0	1

Tabella 6.8 Matrice di incidenza R

6.7 Predecessori e successori

Dalla matrice di incidenza si possono desumere le precedenze tecnologiche e quindi si può stilare, per ogni attività di ogni modello, la lista di quali sono i relativi predecessori e successori (Tabelle 6.9, 6.10, 6.11). Ovvero le attività che, seguendo le precedenze tecnologiche, avvengono necessariamente prima di tale attività e quelle che vengono svolte necessariamente dopo. Per semplificare ed accorciare la lettura delle liste sono state raggruppate le attività sulla base dei reparti in cui vengono svolte: (MI) rappresenta le attività che vanno da CAS a SCI, (INT) le attività di lavaggio e verniciatura, (MF) le attività comprese tra CAV e SCF.

6.7.1 Lista di predecessori e successori modello Y

DESCRIZIONE	PREDECESSORI	SUCCESSORI
CAS Caricamento cassa	-	TUTTI
BAN Montaggio protezioni bandelle	CAS	CAP,SCIN,COF,TRASM,SLI,CART,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SBROT Montaggio supporti sul rotore	CAS	ROT,CAP,SCIN,COF,TRASM,SLI,CART,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
ROT Montaggio del rotore sulla cassa	CAS,SBROT	CAP,SCIN,COF,TRASM,SLI,CART,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
PRL Montaggio protezione laterale	CAS	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SBRUL Montaggio supporti su rullo	CAS	RUL,CAP,SCIN,COF,TRASM,SLI,CART,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
RUL Montaggio rullo posteriore	CAS,SBRUL	CAP,SCIN,COF,TRASM,SLI,CART,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
CAP Capovolgere e distanziare	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT	SCIN,COF,TRASM,RA159,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
COF Fissare il cofano e smussare bordi	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP	TRASM,SLI,CART,RA159,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
RA159 Montaggio raschiatore 159	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,COF,SLI	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SCIN Montaggio scatola ingranaggi	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP	TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TL Montaggio tubo lubrificazione	CAS	TRASM,CART,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TRASM Montaggio trasmissione	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,SCIN,COF	CART,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TIM Montaggio timone	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,SCIN	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SCI Scarico identificativo	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,PRL,CAP,COF,RA159,SCIN,TL,TRASM,SLI,CART,TIM	(INT),(MF-CART-SLI)
LAV Lavaggio	CART,SLI,(MI)	VER,(MF-CART-SLI)
VER Verniciatura	CART,SLI,(MI),LAV	(MF-CART-SLI)
CAV Posizionare sui cavalletti	(MI),CART,SLI,(INT)	VR,SPI,CUF,PART,GOM,RAST,ET,SCF
SPI Montaggio spostamento idraulico	(MI),(INT),CAV,CART,SLI	CUF,PART,ET,SCF
CUF Montaggio cuffia di protezione	(MI),(INT),CAV,SPI,CART,SLI	PART,ET,SCF
CART Montaggio carter di protezione	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,TL,CAP,SCIN,COF,TRASM	SCI,(INT),(MF)
PART Montaggio particolari	(MI),(INT),CAV,SPI,CUF,CART,SLI	ET,SCF
GOM Montaggio gomma posteriore	(MI),(INT),CAV,CART,SLI	RAST,ET,SCF
RAST Montaggio rastrelli posteriori	(MI),(INT),CAV,GOM,CART,SLI	ET,SCF
ET Etichette	(MI),(INT),CAV,GOM,RAST,SPI,CUF,PART,CART,SLI	SCF
SLI Montaggio Slitte	CAS,BAN,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,COF	RA159,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SCF Scarico finale	TUTTI	-

Tabella 6.9 Predecessori-successori Y

6.7.2 Lista di predecessori e successori modello C

DESCRIZIONE	PREDECESSORI	SUCCESSORI
CAS Montaggio del gruppo cassa	-	TUTTI
CAT Montaggio protezioni catene	CAS	CAP,SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SBROT Montaggio supporti sul rotore	CAS	ROT,CAP,SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
ROT Montaggio del rotore sulla cassa	CAS,SBROT	CAP,SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
PRL Montaggio protezione laterale	CAS	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SBRUL Montaggio supporti su rullo	CAS	RUL,CAP,SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
RUL Montaggio rullo posteriore	CAS,SBRUL	CAP,SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
CAP Capovolgere e distanziare	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT	SCIN,COF,RA194,TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
COF Fissare il cofano e smussare bordi	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP	RA194,TRASM,CART,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
RA194 Montaggio raschiatore 194	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,COF	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SCIN Montaggio scatola ingranaggi	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP	TRASM,CART,TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TL Montaggio tubo lubrificazione	CAS	TRASM,CART,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TRASM Montaggio trasmissione	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,SCIN,COF,TL	CART,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
PRED Predisposizione ruote anteriori	CAS	TIM,SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
TIM Montaggio timone	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,CAP,SCIN,PRED	SCI,(INT),(MF-CART-SLI)
SCI Lubrificare e scaricare macchina	CAS,CAT,SBRUL,SBROT,RUL,ROT,PRL,CAP,COF,RA194,SCIN,TL,TRASM,PRED,TIM,CART	(INT),(MF-CART-SLI)
LAV Lavaggio	CART,(MI)	VER,(MF-CART-SLI)
VER Verniciatura	CART,(MI),LAV	(MF-CART-SLI)
CAV Posizionare sui cavalletti	CART,(MI),(INT)	VR,SPM,CUF,PART,GOM,RAST,ET,SCF
SPM Montaggio spostamento meccanico	CART,(MI),(INT),CAV	CUF,PART,ET,SCF
CUF Montaggio cuffia di protezione	CART,(MI),(INT),CAV,SPM	PART,ET,SCF
CART Montaggio carter di protezione	CART,(MI),(INT),CAV	ET,SCF
PART Montaggio particolari	CART,(MI),(INT),CAV,VR,SPM,CUF	ET,SCF
GOM Montaggio gomma posteriore	CART,(MI),(INT),CAV	RAST,ET,SCF
RAST Montaggio rastrelli posteriori	CART,(MI),(INT),CAV,GOM	ET,SCF
ET Etichette	CART,(MI),(INT),CAV,SPM,CUF,PART,GOM,RAST,CART	SCF
SCF Scarico finale	TUTTI	-

Tabella 6.10 Predecessori-successori C

6.7.3 Lista di predecessori e successori modello R

DESCRIZIONE	PREDECESSORI	SUCCESSORI
CAS	Montaggio del gruppo cassa	-
BAN	Montaggio protezioni bandelle	-
SBROT	Montaggio supporti sul rotore	-
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	-
PRL	Montaggio protezione laterale	-
CAP	Capovolgere e distanziare	-
COF	Fissare il cofano e smussare bordi	-
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	-
TL	Montaggio tubo lubrificazione	-
TRASM	Montaggio trasmissione	-
PRED	Predisposizione ruote anteriori	-
TIM	Montaggio timone	-
SCI	Lubrificare e scaricare macchina	-
LAV	Lavaggio	-
VER	Verniciatura	-
CAV	Posizionare sui cavalletti	-
SPI	Montaggio spostamento idraulico	-
CUF	Montaggio cuffia di protezione	-
CART	Montaggio carter di protezione	-
PART	Montaggio particolari	-
GOM	Montaggio gomma posteriore	-
RUOP	Montaggio ruote posteriori	-
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	-
ET	Etichette	-
SLI	Montaggio Slitte	-
SCF	Scarico finale	-

Tabella 6.11 Predecessori-successori R

6.8 Diagramma delle precedenze

Le precedenze tecnologiche possono essere rappresentate graficamente attraverso i diagrammi delle precedenze (Figure 6.2, 6.3, 6.4). Questi sono diagrammi composti di nodi e archi, in cui i nodi rappresentano le attività e gli archi rappresentano le precedenze tecnologiche. Quindi se tra un'attività e l'altra esiste un vincolo di precedenza tecnologica esse saranno collegate da un arco.

6.8.1 Diagramma delle precedenze del modello Y

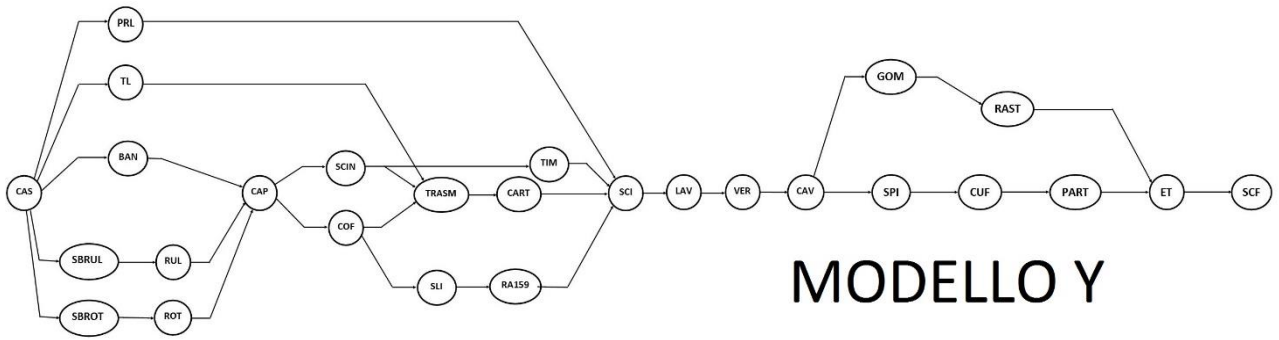


Figura 6.2 Diagramma precedenze Y

6.8.2 Diagramma delle precedenze modello C

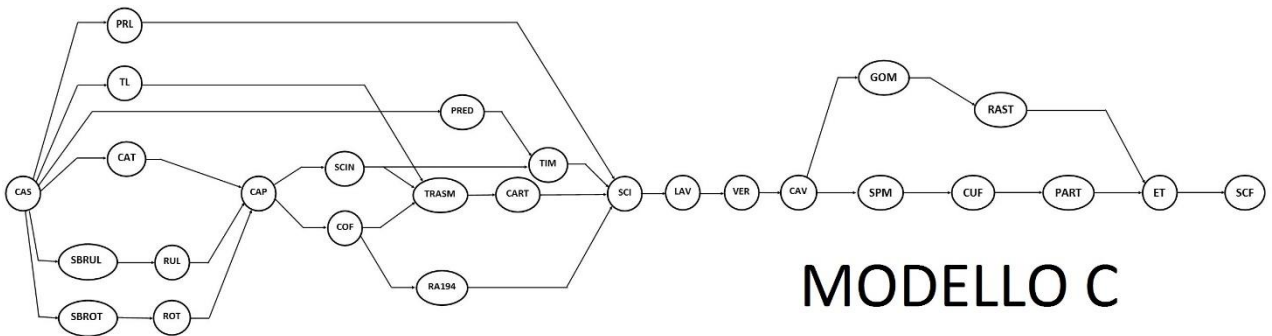


Figura 6.3 Diagramma precedenze C

6.8.3 Diagramma delle precedenze modello R

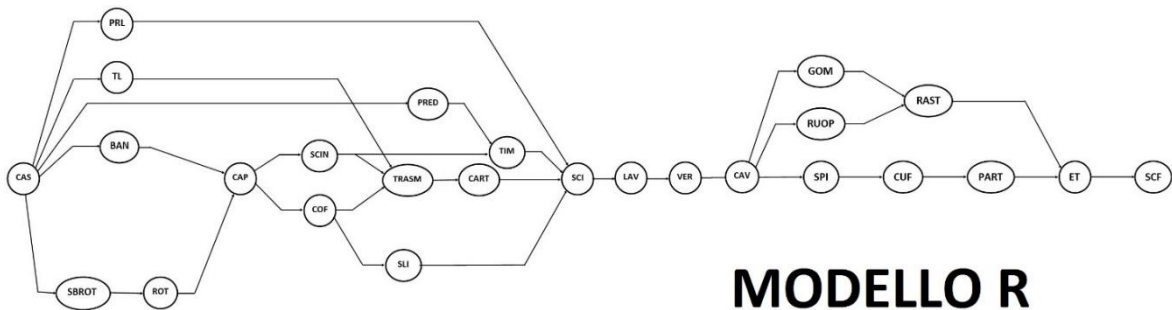


Figura 6.4 Diagramma precedenze R

6.9 Rilevamento tempi

Ogni attività è stata cronometrata e, seguendo il metodo Bedaux, è stata assegnata la relativa efficienza. Le seguenti tabelle (Tabelle 6.12, 6.13, 6.14) riportano la lista di tutte le attività, la relativa descrizione, il reparto dove attualmente viene svolta (ISOLA=isola di assemblaggio; MF=montaggio finale), i tempi le efficienze rilevati, il tempo medio normalizzato e il tempo assoluto. Le righe che non hanno riportati né i tempi né le efficienze sono quelle delle attività che su tale modello non vengono svolte. I rilevamenti per ogni attività sono stati 5, l'efficienza ottima E_0 è pari a 80, il coefficiente di riposo è stato posto pari a 10%.

Dati i vincoli tecnici dati dalla postazione per il lavaggio e della cabina di verniciatura le attività non possono essere inserite nella linea di assemblaggio: per il task LAV si è perciò deciso di cronometrare, sommandolo al tempo di esecuzione dell'attività, il tempo di movimentazione per portare la macchina dalla linea alla postazione di lavaggio; per il task VER è stato cronometrato, oltre al tempo di esecuzione dell'attività, anche il tempo di trasporto dalla cabina di verniciatura alla linea.

6.9.1 Rilevamento modello Y

DESCRIZIONE	REPARTO	T1	E1	T2	E2	T3	E3	T4	E4	T5	E5	TEMPO MEDIO NORM	TEMPO ASSOLUTO	
CAS	Montaggio del gruppo cassa	ISOLA	157	80	160	80	147	90	158	80	152	75	157	172
BAN	Montaggio protezioni bandelle	ISOLA	187	80	200	75	190	80	180	85	177	90	191	210
CAT	Montaggio protezioni catene	ISOLA											0	0
SBROT	Montaggio supporti sul rotore	ISOLA	177	80	185	80	195	75	201	70	187	80	182	200
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	ISOLA	233	80	241	80	215	90	235	80	221	85	237	261
PRL	Montaggio protezione laterale	ISOLA	48	85	55	80	59	80	67	75	52	80	56	62
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	ISOLA	82	80	77	80	86	80	95	75	92	75	84	92
RUL	Montaggio rullo posteriore	ISOLA	166	80	175	80	163	85	182	80	193	75	181	199
CAP	Capovolgere e distanziare	ISOLA	70	75	79	70	54	85	62	80	55	85	63	69
COF	Fissare il cofano e smussare bordi	ISOLA	207	80	198	85	204	80	215	75	210	80	207	227
RA159	Montaggio raschiatore 159	ISOLA	136	80	129	80	150	75	143	75	135	80	135	148
RA194	Montaggio raschiatore 194	ISOLA											0	0
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	ISOLA	430	90	450	80	443	80	456	75	448	80	450	495
TL	Montaggio tubo lubrificazione	ISOLA	233	85	245	80	264	75	272	70	231	85	245	269
TRASM	Montaggio trasmissione	ISOLA	548	80	570	75	566	80	533	80	556	80	547	602
PRED	Predisposizione ruote	ISOLA											0	0
TIM	Montaggio timone	ISOLA	252	85	285	75	263	80	270	80	259	80	265	292
SCI	Lubrificare e scaricare macchina	ISOLA	156	85	187	75	170	80	164	80	166	80	168	185
LAV	Lavaggio	LAVAGGIO	205	85	232	80	241	80	256	75	235	80	233	256
VER	Verniciatura	VERNICIATURA	1788	80	1766	80	1922	75	1830	80	1822	80	1802	1982
CAV	Posizionare sui cavalletti	MF	302	80	288	80	293	80	274	90	311	70	293	322
SPI	Montaggio spostamento idraulico	MF	178	85	193	80	202	80	195	80	213	80	198	218
SPM	Montaggio spostamento meccanico	MF											0	0
CUF	Montaggio cuffia di protezione	MF	104	80	116	80	121	80	107	80	134	75	115	126
CART	Montaggio carter di protezione	MF	89	80	94	80	91	80	101	80	83	85	93	102
PART	Montaggio particolari	MF	211	75	188	80	195	80	200	80	189	80	194	213
GDM	Montaggio gomma posteriore	MF	307	80	331	75	289	85	311	80	320	80	311	342
RUOP	Montaggio ruote posteriori	MF											0	0
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	MF	241	80	264	80	233	85	254	80	260	80	253	279
ET	Etichette	MF	426	90	474	80	491	80	434	85	502	75	475	523
SLI	Montaggio Slitte	MF	215	80	211	80	234	80	248	75	220	80	223	245
SCF	Scarico	MF	64	80	68	80	65	80	68	80	66	80	66	73

Tabella 6.12 Tempi Y

6.9.2 Rilevamento modello C

DESCRIZIONE	REPARTO	T1	E1	T2	E2	T3	E3	T4	E4	T5	E5	TEMPO MEDIO NORM	TEMPO ASSOLUTO	
CAS	Montaggio del gruppo cassa	ISOLA	141	85	155	80	184	70	148	80	163	80	155	171
BAN	Montaggio protezioni bandelle	ISOLA											0	0
CAT	Montaggio catene	ISOLA	410	80	426	80	431	80	395	85	427	80	423	465
SBROT	Montaggio supporti sul rotore	ISOLA	164	85	203	70	179	80	191	75	171	85	178	196
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	ISOLA	240	80	232	85	218	90	253	75	248	80	243	268
PRL	Montaggio protezione laterale	ISOLA	48	85	49	85	58	80	55	80	63	75	55	61
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	ISOLA	102	80	98	80	92	85	93	85	112	70	99	109
RUL	Montaggio rullo posteriore	ISOLA	215	80	204	85	222	75	197	90	200	85	215	236
CAP	Capovolgere e distanziare	ISOLA	57	80	55	80	67	75	58	80	57	80	58	64
COF	Fissare il cofano e smussare bordi	ISOLA	200	80	197	80	210	75	221	70	192	85	198	218
RA159	Montaggio raschiatore 153	ISOLA											0	0
RA194	Montaggio raschiatore 194	ISOLA	154	85	167	80	164	80	159	80	175	80	166	182
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	ISOLA	438	75	414	85	444	75	468	65	460	75	416	457
TL	Montaggio tubo lubrificazione	ISOLA	235	80	256	75	224	85	260	70	220	90	238	261
TRASM	Montaggio trasmissione	ISOLA	592	70	557	80	548	85	521	85	535	85	556	611
PRED	Predisposizione ruote	ISOLA	540	80	506	90	522	85	534	80	560	70	538	591
TIM	Montaggio timone	ISOLA	248	80	264	80	284	70	244	80	241	85	252	277
SCI	Lubrificare e scaricare macchina	ISOLA	172	80	155	85	186	75	170	80	179	80	172	189
LAV	Lavaggio	LAVAGGIO	228	80	237	80	232	80	255	75	228	80	233	256
VER	Verniciatura e asciugatura	VERNICIATURA	1724	80	1769	75	1710	85	1740	80	1759	75	1718	1889
CAV	Posizionare sui cavalletti	MF	288	80	279	80	296	80	315	75	293	80	290	319
SPI	Montaggio spostamento idraulico	MF											0	0
SPM	Montaggio spostamento meccanico	MF	166	80	191	75	158	80	155	80	174	80	166	183
CUF	Montaggio cuffia di protezione	MF	98	85	110	80	114	80	134	75	118	80	114	126
CART	Montaggio carter di protezione	MF	95	80	89	80	93	80	101	80	104	80	96	106
PART	Montaggio particolari	MF	202	80	188	80	174	85	194	80	199	80	194	213
GOM	Montaggio gomma posteriore	MF	432	80	444	80	409	85	453	80	462	75	439	483
RUOP	Montaggio ruote posteriori	MF											0	0
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	MF	248	80	237	80	256	80	278	75	249	80	250	275
ET	Etichette	MF	502	80	454	80	468	80	475	80	429	85	471	518
SLI	Montaggio Slitte	MF											0	0
SCF	Scarico	MF	79	75	68	80	62	80	65	80	68	80	67	74

Tabella 6.13 Tempi C

6.9.3 Rilevamento modello R

DESCRIZIONE	REPARTO	T1	E1	T2	E2	T3	E3	T4	E4	T5	E5	TEMPO MEDIO NORM	TEMPO ASSOLUTO	
CAS	Montaggio del gruppo cassa	ISOLA	164	80	142	85	159	80	149	85	164	80	159	175
BAN	Montaggio protezioni bandelle	ISOLA	180	75	194	80	202	80	195	80	164	85	187	205
CAT	Montaggio protezioni catene	ISOLA											0	0
SBROT	Montaggio supporti sul rotore	ISOLA	177	80	184	80	190	80	207	75	198	80	189	207
ROT	Montaggio del rotore sulla cassa	ISOLA	231	80	225	80	248	80	271	75	240	80	240	264
PRL	Montaggio protezione laterale	ISOLA	54	80	48	85	59	80	56	80	62	80	56	62
SBRUL	Montaggio supporti su rullo	ISOLA											0	0
RUL	Montaggio rullo posteriore	ISOLA											0	0
CAP	Capovolgere e distanziare	ISOLA	51	85	66	80	71	80	85	75	63	80	67	73
COF	Fissare il cofano e smussare bordi	ISOLA	204	80	195	80	215	80	234	75	207	80	208	229
RA159	Montaggio raschiatore 153	ISOLA											0	0
RA194	Montaggio raschiatore 194	ISOLA											0	0
SCIN	Montaggio scatola ingranaggi	ISOLA	441	80	456	80	482	75	438	80	429	80	443	487
TL	Montaggio tubo lubrificazione	ISOLA	260	80	251	80	234	80	221	85	229	80	242	266
TRASM	Montaggio trasmissione	ISOLA	558	80	547	80	534	80	505	85	561	80	547	602
PRED	Predisposizione ruote	ISOLA	490	80	502	80	485	85	510	80	512	80	506	556
TIM	Montaggio timone	ISOLA	254	80	265	80	247	80	279	80	304	75	266	293
SCI	Lubrificare e scaricare macchina	ISOLA	165	80	141	85	174	80	189	75	168	80	167	183
LAV	Lavaggio	LAVAGGIO	264	75	225	80	221	80	235	80	249	75	232	256
VER	Verniciatura	VERNICIATURA	1524	85	1634	80	1515	85	1671	80	1678	80	1654	1820
CAV	Posizionare sui cavalletti	MF	274	80	298	80	315	75	287	80	290	80	289	318
SPI	Montaggio spostamento idraulico	MF	189	80	178	80	197	80	205	80	221	75	195	215
SPM	Montaggio spostamento meccanico	MF											0	0
CUF	Montaggio cuffia di protezione	MF	114	80	103	80	120	80	134	75	115	80	116	127
CART	Montaggio carter di protezione	MF	94	80	91	80	89	80	97	80	101	80	94	104
PART	Montaggio particolari	MF	189	80	195	80	205	75	210	75	198	80	194	214
GOM	Montaggio gomma posteriore	MF	456	80	427	80	435	80	444	80	437	80	440	484
RUOP	Montaggio ruote posteriori	MF	237	80	224	80	249	80	253	80	231	80	239	263
RAST	Montaggio rastrelli posteriori	MF	244	80	237	80	261	80	234	80	267	80	249	273
ET	Etichette	MF	475	80	436	80	412	85	492	80	503	80	469	516
SLI	Montaggio Slitte	MF	201	85	215	80	234	80	221	80	224	80	222	244
SCF	Scarico	MF	59	80	72	80	65	80	69	80	64	80	66	72

Tabella 6.14 Tempi R

6.10 Prodotto caratteristico

6.10.1 Matrice di incidenza combinata

La matrice di incidenza combinata (Tabella 6.15) rappresenta le precedenze tecnologiche riferite a tutte le possibili attività dei tre modelli. Può essere identificata tramite le matrici di incidenza dei singoli modelli in base al principio della somma booleana: la matrice combinata avrà la cifra 1 in corrispondenza di una determinata cella se in questa è presente la cifra 1 in almeno una delle matrici di incidenza dei singoli modelli. Avrà la cifra 0 altrimenti, ovvero se la cifra 0 è presente in quella cella per tutte le matrici di incidenza dei singoli modelli.

	CAS	BAN	CAT	SBROT	ROT	PRL	SBRUL	RUL	CAP	COF	RA153	RA194	SCIN	TL	TRASM	PRED	TIM	SCI	LAV	VER	CAV	SPI	SPM	CUF	CART	PART	GOM	RUOP	RAST	ET	SLI	SCF					
CAS	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						
BAN	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
CAT	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
SBROT	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
ROT	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
PRL	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
SBRUL	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
RUL	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
CAP	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
COF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
RA153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1						
RA194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1						
SCIN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1					
TL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1					
TRASM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1					
PRED	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
TIM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
SCI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
LAV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
VER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
CAV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1					
SPI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1					
SPM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1					
CUF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1					
CART	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1					
PART	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1						
GOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1				
RUOP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1				
RAST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1				
ET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1			
SLI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1		
SCF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

Tabella 6.15 Matrice di incidenza combinata

6.10.2 Joint Precedence Diagram

Il Joint Precedence Diagram (Figura 6.5) è un diagramma delle precedenze che rappresenta tutte le possibili attività che possono essere svolte sui tre modelli, con le relative precedenze. Da questo diagramma si possono ricavare i diagrammi dei singoli modelli semplicemente eliminando i nodi corrispondenti alle attività che sul modello non vengono svolte.

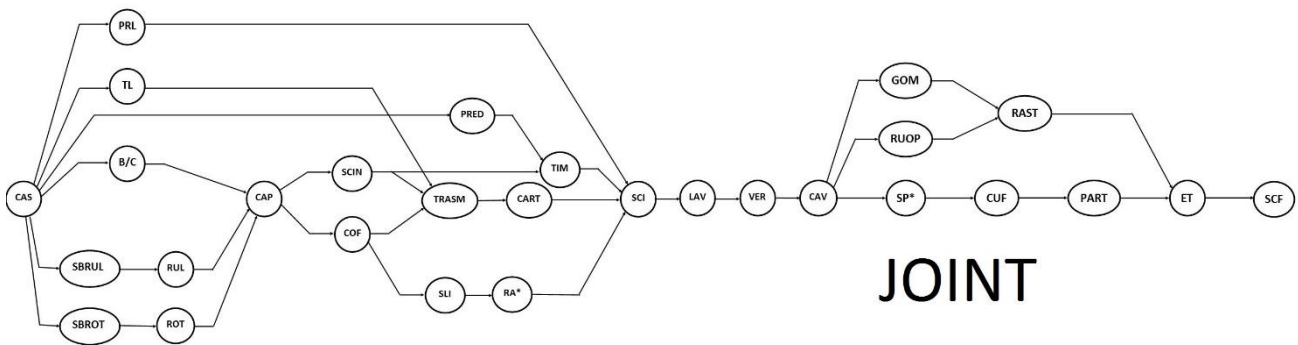


Figura 6.5

6.11 Virtual Average Model (VAM)

Il tempo assoluto delle singole attività differisce da modello a modello, ma l'obiettivo di uno studio di una linea di assemblaggio mixed-model prevede di assegnare all'attività un tempo univoco per tutti i modelli. Il Virtual Average Model è un approccio che permette di associare ad ogni attività un unico tempo di esecuzione in presenza di un mix di prodotti simili. In questo modo si giunge ad un prodotto fittizio detto *prodotto caratteristico* (joint model), che ha come tempi di esecuzione delle attività una combinazione dei tempi dei singoli modelli (Tabella 6.16). Il mix presente in tabella rappresenta la percentuale della domanda del modello sulla domanda totale della famiglia. Esiste una formula per il calcolo del tempo di esecuzione dell'attività per il prodotto caratteristico.

T_{jm} = tempo di esecuzione del task j sul modello m;

D_m = domanda oraria richiesta per il modello m;

VAM_j = tempo di esecuzione dell'attività j per il prodotto caratteristico.

$$VAM_j = \frac{(\sum_m (T_{jm} \cdot D_m))}{\sum_m D_m}$$

	Y	C	R	VAM
CAS	172	171	175	172
BAN/CAT	210	465	205	286
SBROT	200	196	207	199
ROT	261	268	264	263
PRL	62	61	62	61
SBRUL	92	109	0	98
RUL	199	236	0	211
CAP	69	64	73	68
COF	227	218	229	225
RA*	148	182	0	160
SCIN	495	457	487	483
TL	269	261	266	267
TRASM	602	611	602	605
PRED	0	591	556	586
TIM	292	277	293	288
SCI	185	189	183	186
LAV	256	256	256	256
VER	1982	1889	1820	1938
CAV	322	319	318	321
SP*	218	183	215	207
CUF	126	126	127	126
CART	102	106	104	103
PART	213	213	214	213
GOM	342	483	484	399
RUOP	0	0	263	263
RAST	279	275	273	277
ET	523	518	516	521
SLI	245	0	244	245
SCF	73	74	72	73
MIX	0,6	0,3	0,1	

Tabella 6.16 Tempi VAM

Nella tabella per il calcolo del VAM sono stati uniti alcuni task perché facenti riferimento ad uno stesso componente: le attività BAN e CAT sono state unite in BAN/CAT in quanto entrambe prevedono il montaggio della protezione anteriore; RA159 e RA194 prevedono il montaggio di due misure diverse di raschiatore e sono state unite nell'attività RA*; il montaggio dello spostamento meccanico (SPM) e dello spostamento idraulico (SPI) sono stati uniti nell'attività SP*.

CAPITOLO 7

BILANCIAMENTO

Un'importante questione interviene con la linea di produzione mixed-model: è il problema di come assegnare le attività alle stazioni della linea, ovvero il bilanciamento. Nelle procedure presenti in letteratura l'obiettivo è quello di minimizzare il tempo di ozio totale delle stazioni bilanciando il contenuto di lavoro sul periodo di tempo. Ma ci sono altri indici per valutare la bontà di un bilanciamento: successivamente verranno esposti e valutati nel complesso.

Gli Assembly Line Balancing Problems (ALBP) permettono di giungere ad un bilanciamento della linea e sono classificati in due tipi: ALBP I e II. Nel primo tipo il tempo ciclo, i tempi di esecuzione dei task e i vincoli di precedenza sono dati e l'obiettivo è quello di minimizzare il numero di stazioni necessarie al processo. Questo problema generalmente si affronta quando c'è da implementare una nuova linea di assemblaggio in modo da soddisfare una certa produttività obiettivo con il numero minimo di stazioni. Nel secondo tipo il numero di postazioni è fisso e predisposto, e si vuole minimizzare il tempo ciclo massimizzando così la produttività della linea. Questo problema è da risolvere quando l'organizzazione vuole produrre il massimo numero di prodotti usando un numero fisso di stazioni senza l'aggiunta di nuove risorse. Nel caso oggetto di studio verrà esaminato il problema di tipo I.

Ogni tipo di ALBP consiste nel trovare un bilanciamento fattibile, cioè un'assegnazione di ogni task alle stazioni in modo che i vincoli di precedenza e le altre restrizioni siano rispettati. Esistono dei metodi euristici per l'assegnazione delle attività alle stazioni. L'idea che sta alla base dei metodi euristici è assegnare i task alle stazioni basandosi su un punteggio numerico. Ci sono vari metodi per il calcolo del punteggio. Le attività assegnate alla stazione rappresentano il relativo carico di lavoro, ovvero il tempo cumulato di esecuzione di tutti i task nella stazione. Un bilanciamento è fattibile solo se, dato un tempo ciclo, il tempo di nessuna stazione lo eccede.

Il problema sta quindi nell'assegnare un set di task alla stazione, misurandone la performance, in base a questi vincoli:

- ogni task è assegnato ad una e una sola stazione;
- la somma del tempo dei task di ogni stazione non può eccedere il tempo ciclo;
- le relazioni di precedenza tra i task non possono essere violate.

L'assegnazione del task alla stazione non dipende dal modello su cui quell'attività è svolta. Quindi i task non sono assegnati a diverse stazioni se appartengono a modelli diversi.

In generale, l'assegnazione dei task alle stazioni utilizza una procedura a step che si basa su una regola di assegnazione, oltre che sulle precedenze tecnologiche. È possibile assegnare un'attività ad una stazione solamente se tutti i suoi predecessori sono già stati assegnati ad una stazione. Per questo motivo, ad ogni iterazione, si stila la lista di task disponibili all'assegnazione. Se il tempo di esecuzione del task da assegnare alla stazione è maggiore del tempo rimanente (pari alla differenza tra tempo ciclo e tempo cumulato dei task già assegnati) viene considerato il task successivo. Se nessun task può essere assegnato viene aperta una nuova stazione.

Misurare e prevedere il costo di una linea sul lungo periodo, mesi o anni, e i profitti relativi alla vendita dei prodotti assemblati è complicato e soggetto ad errori. Un comune obiettivo, oltre al rispetto del tempo ciclo, consiste nel massimizzare l'utilizzazione della linea. Questo aspetto è misurato dall'efficienza, ovvero il rapporto tra il tempo totale operativo della linea e il tempo che la stessa ha a disposizione. L'efficienza dipende direttamente dal tempo ciclo e dal numero di stazioni. Questo e altri indicatori di performance verranno espressi nel corso dello studio.

La fase di bilanciamento consiste quindi nel raggruppamento dei task e l'assegnazione alle stazioni di lavoro. Si tratta di un mixed-model assembly line balancing problem di tipo I: il tempo ciclo e i tempi di esecuzione sono noti, e l'obiettivo è quello di stabilire il numero minimo di stazioni necessarie per la linea.

7.1 Tempo ciclo

Il tempo ciclo è calcolato sulla base della domanda di ogni prodotto durante un dato periodo di tempo. È stata effettuata una ricerca all'interno dei database aziendali per poter capire la produttività richiesta per il prodotto caratteristico denominato VAM. Studiando il numero di macchine prodotte nel 2015 è stato calcolato che i prodotti riconducibili alla famiglia sotto studio nell'anno sono stati 2649. I giorni lavorativi annuali, secondo indicazione della funzione amministrazione, sono stati calcolati contando 26 giorni al mese con la chiusura dell'azienda ad agosto, oltre alle festività.

$$Q_{gg} = \frac{Q_{anno}}{\text{giorni lavorativi annuali}}$$

La produttività giornaliera Q_{gg} è stata quindi determinata per eccesso dal rapporto tra produttività annuale Q_{anno} (pz/anno) e giorni lavorativi annuali (giorni/anno), risultando 10 pz/giorno. Il turno giornaliero prevede 8,5 ore con due pause di 10 minuti, risultando quindi 490 min/giorno. Dividendo questo dato per la produttività giornaliera si ricava che dovrebbe essere prodotta una macchina ogni 49 minuti (2940 secondi).

$$T_c = \frac{\text{minuri giornalieri}}{Q_{gg}}$$

A questo punto il tempo è stato ridotto del 10% per evitare una completa saturazione delle stazioni e compensare possibili variazioni del tempo medio: il tempo ciclo risulta quindi essere di 2646 sec/pz.

produttività annuale	2649	pz/anno	
	270	giorni/anno	lun-sab e agosto chiuso per ferie
produttività giornaliera	10	pz/giorno	
	490	min/giorno	8h30m al giorno e 20 min di pausa
	49	min/pz	
	2940	sec/pz	
	-10%		
tempo ciclo	2646	sec/pz	

Tabella 7.1

7.2 Rought cut capacity planning

A questo punto è possibile stimare il numero di operatori necessario (Tabella 7.3) avendo a disposizione il valore del tempo di assemblaggio del prodotto caratteristico, la quantità da produrre nel periodo e il tempo disponibile con una singola risorsa umana nel periodo. Il numero minimo di operatori deriva dall'intero superiore di Nop' , il quale è il risultato della formula

$$Nop' = \frac{T_{ass} \cdot Qt}{t} \left(\frac{1}{K_{ass} \cdot K_{aai} \cdot K_{eff}} \right)$$

I coefficienti K_{ass} , K_{aai} , K_{eff} sono i coefficienti di rendimento della linea (Tabella 7.2). Se questi non venissero considerati si avrebbe una valutazione ideale della linea, ovvero senza assenteismo, senza attese e con efficienza massima da parte degli operatori.

Coefficients di Rendimento	
Kass - Assenteismo	97%
Kaai - Attese e inattività	96%
Keff - Efficienza operatori	98%

Tabella 7.2 Coefficienti di rendimento

Rought Cut Capacity Planning	
Tass	9100 sec/pz
Qt	10 pz/giorno
t	29400 sec/giorno
Nop'	3,391759
Nop	4 operatori

Tabella 7.3 Rought cut capacity planning

Tass = tempo di assemblaggio del VAM

Qt = quantità da produrre nel periodo

t = tempo disponibile nel periodo con una risorsa umana

Nop = numero minimo di operatori

Il numero minimo di stazioni necessarie alla produzione del VAM è quindi pari a 4.

A questo punto abbiamo a disposizione il tempo ciclo da rispettare (2646 secondi) e il numero minimo di stazioni da aprire (4). Il numero effettivo di stazioni per la linea di assemblaggio lo si cerca mediante alcuni metodi euristici. In questo studio vengono presi in considerazione tre metodi: bilanciamento per tentativi, metodo LCR, metodo RPW.

7.3 Bilanciamento per tentativi

E' un metodo usato per bilanciamenti che hanno un massimo di c.a. 30 attività, se le attività sono troppe diventa complesso arrivare ad una soluzione accettabile. Avendo a disposizione il tempo ciclo da rispettare ed il numero minimo di stazioni si aggregano per tentativi i task in modo che la somma del tempo di esecuzione di ogni stazione non superi il tempo ciclo. I vincoli da rispettare, oltre al tempo ciclo, sono le precedenze tecnologiche tra le attività: è possibile assegnare un'attività ad una stazione solamente se tutti i suoi predecessori sono già stati assegnati ad una stazione. Per questo motivo, ad ogni iterazione, si stila la lista di task disponibili all'assegnazione. Il bilanciamento si pone come obiettivo principale quello di non superare il tempo ciclo in ogni stazione, come obiettivo secondario quello di minimizzare i tempi di ozio (minimizzare il massimo tempo di ozio delle stazioni).

Nel momento dell'assegnazione i vincoli inerenti la cabina di verniciatura e alla postazione di lavaggio devono essere rispettati: non potendo integrare queste attività nella linea si è deciso di dedicare una stazione alle attività di lavaggio e di verniciatura. Il tempo considerato per l'attività è considerato comprendente il tempo di trasporto dalla stazione 2 alla cabina di lavaggio (stazione 3), il tempo di esecuzione dell'attività di lavaggio, il tempo di esecuzione dell'attività di

verniciatura e il tempo di trasporto dalla cabina di verniciatura (stazione 3) alla stazione 4.

STAZIONE	TASK DISPONIBILI	TASK ASSEGNATI	TEMPO TASK	TEMPO RIMANENTE	TEMPO DI OZIO	TEMPO STAZIONE
1	CAS	CAS	172	2474		
	PRL,TL,BAN,CAT,SBRUL,SBROT,PRED	BAN,CAT	286	2188		
	PRL,TL,SBRUL,SBROT,PRED	TL	267	1921		
	PRL,SBRUL,SBROT,PRED	SBROT	199	1722		
	PRL,SBRUL,ROT,PRED	ROT	263	1459		
	PRL,SBRUL,PRED	SBRUL	98	1361		
	PRL,RUL,PRED	RUL	211	1150		
	PRL,CAP,PRED	CAP	68	1082		
	PRL,SCIN,COF,PRED	SCIN	483	599	599	2047
2	PRL,COF,PRED	PRED	586	2060		
	PRL,COF,TIM	TIM	288	1772		
	PRL,COF	COF	225	1547		
	PRL,SLI,TRASM	TRASM	605	942		
	PRL,SLI,CART	SLI	245	697		
	PRL,RA*,CART	RA*	160	537		
	PRL,CART	CART	103	434		
	PRL	PRL	61	373		
	SCI	SCI	186	187	187	2459
3	LAV	LAV	256	2390		
	VER	VER	1938	452	452	2194
4	CAV	CAV	321	2325		
	GOM,RUOP,SP*	GOM	399	1926		
	RUOP,SP*	RUOP	263	1663		
	RAST,SP*	RAST	277	1386		
	SP*	SP*	207	1179		
	CUF	CUF	126	1053		
	PART	PART	213	840		
	ET	ET	521	319		
	SCF	SCF	73	246	246	2400

Tabella 7.4 Bilanciamento per tentativi

Il bilanciamento per tentativi (Tabella 7.4) prevede l'apertura di 4 stazioni, la prima con 9 attività ed un carico di lavoro di 2047 secondi, la seconda con 9 attività e 2459 secondi, la terza con l'attività di lavaggio e verniciatura che prevede 2194 secondi (comprensivi del trasporto), la quarta con 9 attività e 2400 secondi. La stazione più carica risulta essere la seconda, mentre la meno carica la prima. Di seguito (Tabella 7.5) sono riportati i dettagli sui tempi di ozio del VAM e sull'efficienza rispetto al tempo ciclo di 2646 secondi.

Stazione	Tempo ozio	Tempo stazione	Saturazione
1	599	2047	77,36%
2	187	2459	92,93%
3	452	2194	82,92%
4	246	2400	90,70%

Tabella 7.5 Tempi e saturazione bilanciamento per tentativi

7.4 Metodo LCR

In inglese The Largest Candidate Rule, il metodo prevede come regola di inserimento quella del task con durata maggiore. In particolare le attività vanno classificate in ordine decrescente di durata (Tabella 7.6) e tra i task disponibili si assegna quello con durata maggiore. Come per il bilanciamento per tentativi la procedura va iterata fino alla saturazione della stazione corrente (riferimento per il 100% il tempo ciclo pari a 2646 secondi), e se un task che dovrebbe essere assegnato ha una durata maggiore del tempo rimasto alla stazione corrente è necessario aprire una nuova stazione.

I vincoli tecnici della cabina di verniciatura, anche in questo caso, hanno costretto l'assegnazione alla stazione 3 delle sole attività di lavaggio e verniciatura.

	SEC
VER	1938
TRASM	605
PRED	586
ET	521
SCIN	483
GOM	399
CAV	321
TIM	288
BAN/CAT	286
RAST	277
TL	267
ROT	263
RUOP	263
LAV	256
SLI	245
COF	225
PART	213
RUL	211
SP*	207
SBROT	199
SCI	186
CAS	172
RA*	160
CUF	126
CART	103
SBRUL	98
SCF	73
CAP	68
PRL	61

Tabella 7.6 Durata attività in ordine decrescente

STAZIONE	TASK DISPONIBILI	TASK ASSEGNATI	TEMPO TASK	TEMPO RIMANENTE	TEMPO DI OZIO	TEMPO STAZIONE
1	CAS	CAS	172	2474		
	PRL,TL,BAN/CAT,SBRUL,SBROT,PRED	PRED	586	1888		
	PRL,TL,BAN/CAT,SBRUL,SBROT	BAN/CAT	286	1602		
	PRL,TL,SBRUL,SBROT	TL	267	1335		
	PRL,SBRUL,SBROT	SBROT	199	1136		
	PRL,SBRUL,ROT	ROT	263	873		
	PRL,SBRUL	SBRUL	98	775		
	PRL,RUL	RUL	211	564		
	PRL,CAP	CAP	68	496		
	PRL,SCIN,COF	SCIN	483	13	8	2633
	2	PRL,COF,TIM	TIM	288	2358	
PRL,COF		COF	225	2133		
PRL,SLI,TRASM		TRASM	605	1528		
PRL,SLI,CART		SLI	245	1283		
PRL,RA*,CART		RA*	160	1123		
PRL,CART		CART	103	1020		
PRL		PRL	61	959		
SCI		SCI	186	773	773	1873
3	LAV	LAV	256	517		
	VER	VER	1938	708	452	2194
4	CAV	CAV	321	2325		
	GOM,RUOP,SP*	GOM	399	1926		
	RUOP,SP*	RUOP	263	1663		
	RAST,SP*	RAST	277	1386		
	SP*	SP*	207	1179		
	CUF	CUF	126	1053		
	PART	PART	213	840		
	ET	ET	521	319		
	SCF	SCF	73	246	246	2400

Tabella 7.7 Bilanciamento metodo LCR

Il metodo LCR (Tabella 7.7) prevede l'apertura di 4 stazioni, la prima con 10 attività ed un carico di lavoro di 2633 secondi, la seconda con attività e 1873 secondi, la terza con le attività di lavaggio e verniciatura (2194 secondi), la quarta con 9 attività e 2400 secondi. Di seguito (Tabella 7.8) sono riportati i dettagli sui tempi di ozio del VAM e sull'efficienza rispetto al tempo ciclo di 2646 secondi.

Stazione	Tempo ozio	Tempo stazione	Saturazione
1	8	2633	99,51%
2	773	1873	70,79%
3	452	2194	82,92%
4	246	2400	90,70%

Tabella 7.8 Tempi e saturazione bilanciamento metodo LCR

7.5 Metodo RPW

RPW deriva dall'inglese Ranked Positional Weights e questo metodo assegna ad ogni attività un punteggio (Tabella 7.9). Questo è dato per ogni attività dalla somma della rispettiva durata e della durata dei task che sono suoi successori.

$$RPW_j = T_j + \sum_{h \in F_j} T_h$$

F_j = successori dell'attività j

Tra i task disponibili va assegnata l'attività con punteggio RPW maggiore, fino alla saturazione della stazione.

	RPW
CAS	9100
SBROT	7419
SBRUL	7266
BAN/CATN	7243
ROT	7220
RUL	7168
CAP	6957
SCIN	6259
COF	6118
TL	5755
PRED	5654
TRASM	5488
SLI	5185
TIM	5068
RA*	4940
CART	4883
PRL	4841
SCI	4780
LAV	4594
VER	4338
CAV	2400
GOM	1270
SP*	1140
RUOP	1134
CUF	933
RAST	871
PART	807
ET	594
SCF	73

Tabella 7.9 Punteggio RPW

STAZIONE	TASK DISPONIBILI	TASK ASSEGNATI	TEMPO TASK	TEMPO RIMANENTE	TEMPO DI OZIO	TEMPO STAZIONE	
1	CAS	CAS	172	2474			
	PRL,TL,PRED,BAN/CAT,SBRUL,SBROT	SBROT	199	2275			
	PRL,TL,PRED,BAN/CAT,SBRUL,ROT	SBRUL	98	2177			
	PRL,TL,PRED,BAN/CAT,RUL,ROT	BAN/CAT	286	1891			
	PRL,TL,PRED,RUL,ROT	ROT	263	1628			
	PRL,TL,PRED,RUL	RUL	211	1417			
	PRL,TL,PRED,CAP	CAP	68	1349			
	PRL,TL,PRED,SCIN,COF	SCIN	483	866			
	PRL,TL,PRED,COF	COF	225	641			
	PRL,TL,PRED,SLI	TL	267	374			
	PRL,PRED,SLI,TRASM	SLI	245	129			
	PRL,PRED,RA*,TRASM	PRL	61	68	68	2578	
	2	PRED,RA*,TRASM,	PRED	586	2060		
		TIM,RA*,TRASM	TRASM	605	1455		
TIM,RA*,CART		TIM	288	1167			
RA*,CART		RA*	160	1007			
CART		CART	103	904			
SCI	SCI	186	718	718	1928		
3	LAV	LAV	256	462			
	VER	VER	1938	708	452	2194	
4	CAV	CAV	321	2325			
	GOM,RUOP,SP*	GOM	399	1926			
	RUOP,SP*	SP	207	1719			
	RUOP,CUF	RUOP	263	1456			
	RAST,CUF	CUF	277	1179			
	CUF	CUF	126	1053			
	PART	PART	213	840			
	ET	ET	521	319			
SCF	SCF	73	246	246	2400		

Tabella 7.10 Bilanciamento metodo RPW

Il metodo RPW (Tabella 7.10) prevede l'apertura di 4 stazioni, la prima con 12 attività ed un carico di lavoro di 2578 secondi, la seconda con 6 attività e 1928 secondi, la terza con le attività di lavaggio e verniciatura (2194 secondi), la quarta con 9 attività e 2400 secondi. Di seguito (Tabella 7.11) sono riportati i dettagli sui tempi di ozio del VAM e sull'efficienza rispetto al tempo ciclo di 2646 secondi.

Stazione	Tempo ozio	Tempo stazione	Saturazione
1	68	2578	97,43%
2	718	1928	72,86%
3	452	2194	82,92%
4	246	2400	90,70%

Tabella 7.11 Tempi e saturazione bilanciamento metodo RPW

7.6 Valutazione bilanciamenti

Trattandosi di una linea mixed model che prevede la produzione di sequenze mixate di 3 modelli, i bilanciamenti vanno valutati in base al carico di lavoro che ogni stazione si trova ad affrontare quando deve lavorare un modello o un altro. Questa valutazione, oltre ai dati sui tempi di esecuzione delle attività per ogni modello, prende in considerazione anche la domanda oraria richiesta per ogni modello, i carichi medi di lavoro delle stazioni e il tempo medio di fermata del modello per ogni stazione.

- τ_{mk} corrisponde al carico di lavoro che ogni stazione k si trova a svolgere quando lavora tale modello m;
- τ'_{mk} è lo stesso carico di lavoro moltiplicato per la domanda oraria D_m del modello;
- τ_m è il tempo medio di fermata del modello m per ogni stazione;
- τ_k è il carico di lavoro medio della stazione pesato rispetto alla domanda oraria, ovvero il tempo di assemblaggio del VAM per ogni stazione;
- τ'_k è la somma dei carichi di lavoro totali della stazione.

$$\tau'_{mk} = \tau_{mk} * Dm;$$

$$\tau_m = \frac{\sum k \tau_{mk}}{Nop};$$

$$\tau_k = \frac{\sum m (\tau_{mk} * Dm)}{\sum m Dm};$$

$$\tau'_k = \sum m \tau'_{mk};$$

Il valore massimo dei τ_k è il tempo ciclo realizzato dalla linea (Tcr). Dopo una spiegazione degli indici di performance verranno presentate le valutazioni dei tre metodi di bilanciamento, con relativi indici di performance.

7.6.1 Indici di performance

Gli indici di performance (Figura 7.1) sono indicatori che permettono di valutare i diversi bilanciamenti attraverso l'ozio delle stazioni, il tempo di work overload, l'efficienza globale e gli smoothness index. Lo *slack time* (Δ_{mk}^-) rappresenta il tempo di ozio del modello m nella stazione k rispetto al Tcr. Il tempo di *work overload* (Δ_{mk}^+) rappresenta il tempo che l'operatore lavora in più rispetto al Tcr.

- L'*ozio totale* (φ_1) del sistema è dato dalla somma totale (per ogni modello e per ogni stazione) degli slack time;
- L'*ozio massimo* (φ_2) è il massimo valore tra gli slack time;
- L'*indice work overload totale* (φ_3) è la somma totale dei tempi di work overload;
- il *work overload massimo* (φ_4) è dato dal massimo valore tra i tempi di work overload;
- l'*efficienza globale* del sistema (φ_5) è il rapporto tra la somma dei carichi di lavoro totali delle stazioni e il tempo totale disponibile agli operatori delle stazioni;
- lo *smoothness index between station* (SIBS) (φ_6) rappresenta lo scostamento tra il carico di lavoro di ogni modello e il carico di lavoro medio dello stesso;

- l'indicatore *smoothness index between station pesato* (φ_7) è lo stesso indice ma pesato sulla domanda D_m ;
- lo *smoothness index within station* (SIWS) (φ_8) rappresenta lo scostamento tra il carico di lavoro di ogni stazione rispetto ai carichi di lavoro riferiti al VAM;
- l'indicatore *smoothness index within station pesato* (φ_9) è lo stesso indice ma pesato sulla domanda.

$$\varphi_1 = \text{ozio totale di sistema} = \sum_k \sum_m \Delta_{mk}^- \text{ con } \Delta_{mk}^- = \max\{0; T_{cr} - \tau_{mk}\}$$

$$\varphi_2 = \text{ozio massimo} = \max\{\Delta_{mk}^-\}$$

$$\varphi_3 = \text{work overload totale di sistema} = \sum_k \sum_m \Delta_{mk}^+ \text{ con } \Delta_{mk}^+ = \max\{0; \tau_{mk} - T_{cr}\}$$

$$\varphi_4 = \text{work overload massimo} = \max\{\Delta_{mk}^+\}$$

$$\varphi_5 = \text{efficienza} = \frac{\sum_k \tau'_k}{\max\{\tau'_k\} N}$$

$$\varphi_6 = \text{smoothness between stations} = \sum_m \sum_k |\tau_{mk} - \bar{\tau}_m|$$

$$\varphi_7 = \text{weighted smoothness between stations} = \sum_m \left(\frac{\sum_k |\tau_{mk} - \bar{\tau}_m| * d_m}{\sum_m d_m} \right)$$

$$\varphi_8 = \text{smoothness within station} = \sum_k \sum_m |\tau_{mk} - \tau_k|$$

$$\varphi_9 = \text{weighted smoothness within station} = \sum_k \left(\frac{\sum_m (|\tau_{mk} - \tau_k| * d_m)}{\sum_m d_m} \right)$$

Figura 7.1 Indici di performance - Mixed model assembly line balancing problem: indici di performance e confronto

7.6.1.1 Bilanciamento per tentativi

Nella tabella τ_{mk} corrisponde alla colonna sinistra di ogni stazione e τ'_{mk} alla colonna a destra.

	1		2		3		4		Dm	τm
Y	1967	11802	1863	11178	2238	13428	2096	12576	6	2041
C	2227	6681	2235	6705	2145	6435	2189	6567	3	2199
R	1677	1677	2273	2273	2076	2076	2482	2482	1	2127
$\tau_k \tau'k$	2016	20160	2016	20156	2194	21939	2163	21625	10	

Tabella 7.12 Carichi di lavoro modello/stazione bilanciamento per tentativi

Da questa Tabella 7.12 si desume che la stazione più carica di lavoro è la terza (τ_k maggiore): il tempo ciclo realizzato dal bilanciamento per tentativi è quindi di 2194 secondi. Di seguito sono riportate le tabelle che riassumono gli indici di performance descritti in precedenza (Tabelle 7.13, 7.14, 7.15, 7.16).

OZIO	1	2	3	4	TOT
Y	226,9	330,9	0,0	97,9	655,7
C	0,0	0,0	48,9	4,9	53,8
R	516,9	0,0	117,9	0,0	634,8
OZIO TOTALE					1344,3
OZIO MASSIMO					516,9

Tabella 7.13 Tempi di ozio bilanciamento per tentativi

WRKOV	1	2	3	4	
Y	0,0	0,0	44,1	0,0	44,1
C	33,1	41,1	0,0	0,0	74,2
R	0,0	79,1	0,0	288,1	367,2
WORK OVERLOAD TOTALE					485,5
WORK OVERLOAD MASSIMO					288,1

Tabella 7.14 Work overload bilanciamento per tentativi

EFFICIENZA 95,58%

SIBS	1	2	3	4		
Y	74	178	197	55	504	302,4
C	28	36	54	10	128	38,4
R	450	146	51	355	1002	100,2
				TOT	1634	PESATO 441

Tabella 7.15 Smoothness index between station bilanciamento per tentativi

SIWS	1	2	3	4		
Y	49	152,6	44	66,5		
C	211	219,4	49	26,5		
R	339	257,4	118	319,5		
	599	629,4	211	412,5	1851,8	TOT
	126,6	183,1	52,9	79,8	442,44	PESATO

Tabella 7.16 Smoothness index within station bilanciamento per tentativi

7.6.1.2 Metodo LCR

	1		2		3		4		Dm	τ_m
Y	1967	11802	1863	11178	2238	13428	2096	12576	6	2041
C	2818	8454	1644	4932	2145	6435	2189	6567	3	2199
R	2233	2233	1717	1717	2076	2076	2482	2482	1	2127
$\tau_k \tau'_k$	2249	22489	1783	17827	2194	21939	2163	21625	10	

Tabella 7.17 Carichi di lavoro modello/stazione bilanciamento metodo LCR

Da questa Tabella 7.17 si desume che la stazione più carica di lavoro è la prima (τ_k maggiore): il tempo ciclo realizzato dal bilanciamento con il metodo LCR è quindi di 2249 secondi. Di seguito sono riportate le tabelle che riassumono gli indici di performance descritti in precedenza (Tabelle 7.18, 7.19, 7.20, 7.21).

OZIO	1	2	3	4	TOT
Y	281,9	385,9	10,9	152,9	831,6
C	0,0	604,9	103,9	59,9	768,7
R	15,9	531,9	172,9	0,0	720,7
OZIO TOTALE					2321
OZIO MASSIMO					604,9

Tabella 7.18 Tempi di ozio bilanciamento metodo LCR

WRKOV	1	2	3	4	TOT
Y	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C	569,1	0,0	0,0	0,0	569,1
R	0,0	0,0	0,0	233,1	233,1
WORK OVERLOAD TOTALE					802,2
WORK OVERLOAD MASSIMO					569,1

Tabella 7.19 Work overload bilanciamento metodo LCR

EFFICIENZA 93,25%

SIBS	1	2	3	4		
Y	74	178	197	55	504	302,4
C	619	555	54	10	1238	371,4
R	106	410	51	355	922	92,2
				TOT	2664	PESATO 766

Tabella 7.20 Smoothness index between station bilanciamento metodo LCR

SIWS	1	2	3	4		
Y	281,9	80,3	44	66,5		
C	569,1	138,7	49	26,5		
R	15,9	65,7	118	319,5		
	866,9	284,7	211	412,5	1775	TOT
	341,5	96,4	52,9	79,8	570,54	PESATO

Tabella 7.21 Smoothness index within station bilanciamento metodo LCR

7.6.1.3 Metodo RPW

	1		2		3		4		Dm	τ_m
Y	2501	15006	1329	7974	2238	13428	2096	12576	6	2041
C	2506	7518	1956	5868	2145	6435	2189	6567	3	2199
R	2212	2212	1738	1738	2076	2076	2482	2482	1	2127
$\tau_k \tau'_k$	2474	24736	1558	15580	2194	21939	2163	21625	10	

Tabella 7.22 Carichi di lavoro modello/stazione bilanciamento metodo RPW

Da questa Tabella 7.22 si desume che la stazione più carica di lavoro è la prima (τ_k maggiore): il tempo ciclo realizzato del bilanciamento con il metodo RPW è quindi di 2474 secondi. Di seguito sono riportate le tabelle che riassumono gli indici di performance descritti in precedenza (Tabelle 7.23, 7.24, 7.25, 7.26).

OZIO	1	2	3	4	TOT
Y	0,0	1144,6	235,6	377,6	1757,8
C	0,0	517,6	328,6	284,6	1130,8
R	261,6	735,6	397,6	0,0	1394,8
OZIO TOTALE					4283,4
OZIO MASSIMO					1144,6

Tabella 7.23 Tempi di ozio bilanciamento metodo RPW

WRKOV	1	2	3	4	
Y	27,4	0,0	0,0	0,0	27,4
C	32,4	0,0	0,0	0,0	32,4
R	0,0	0,0	0,0	8,4	8,4
WORK OVERLOAD TOTALE					68,2
WORK OVERLOAD MASSIMO					32,4

Tabella 7.24 Work overload bilanciamento metodo RPW

EFFICIENZA 84,78%

SIBS	1	2	3	4			
Y	460	712	197	55	1424		854,4
C	307	243	54	10	614		184,2
R	85	389	51	355	880		88
				TOT	2918	PESATO	1126,6

Tabella 7.25 Smoothness index between station bilanciamento metodo RPW

SIWS	1	2	3	4		
Y	27,4	229	44	66,5		
C	32,4	398	49	26,5		
R	261,6	180	118	319,5		
	321,4	807	211	412,5	1751,8	TOT
	52,3	274,8	52,9	79,8	459,84	PESATO

Tabella 7.26 moothness index within station bilanciamento metodo RPW

7.6.2 Riepilogo indici e scelta

Sono di seguito riportati i dati riepilogativi degli indici di performance per quello che riguarda i tre bilanciamenti (Tabella 7.27). L'alternativa migliore per ogni indice è segnalata valutando che l'ozio migliore è quello minimo, il work overload migliore è quello minimo, l'efficienza migliore è quella massima, gli smoothness index migliori sono quelli minimi.

	TENT	LCR	RPW
T. CICLO REALIZZATO	2194	2249	2474
OZIO TOTALE	1344	2321	4283,4
OZIO MASSIMO	517	605	1145
WORK OVERLOAD TOTALE	486	802,2	68,2
WORK OVERLOAD MASSIMO	288	569,1	32,4
EFFICIENZA	95,58%	93,25%	84,78%
S. I. BETWEEN STATION	1634	2664	2918
S. I. BETWEEN STATION PES.	441	766	1126,6
S. I. WITHIN STATION	1852	1775	1752
S. I. WITHIN STATION PES.	442	571	460

Tabella 7.27 Indici di performance riepilogativi

L'ozio totale è minore nel bilanciamento per tentativi;
 L'ozio massimo è minore nel bilanciamento per tentativi;
 Il work overload totale è minore nel bilanciamento con metodo RPW;
 Il work overload massimo è minore nel bilanciamento con metodo RPW;
 L'efficienza è migliore nel bilanciamento per tentativi;
 Lo smoothness index between station è minore nel bilanciamento per tentativi;
 Lo smoothness index between station pesato è minore nel bilanciamento per tentativi;

Lo smoothness index within station è minore nel bilanciamento con metodo RPW;
 Lo smoothness index within station pesato è minore nel bilanciamento per tentativi.

Nella scelta del bilanciamento sono da considerare anche i tempi ciclo realizzati per ogni alternativa: essendo il tempo ciclo desiderato di 2646 secondi, nessun bilanciamento lo supera e quindi nessun bilanciamento va scartato a priori. Se uno

dei tempi ciclo realizzati fosse superiore al tempo ciclo desiderato (Tcd) quell'alternativa andrebbe scartata perché non si riuscirebbe a centrare la produttività richiesta dal sistema.

Alla luce dei risultati del confronto è stato deciso di utilizzare il bilanciamento per tentativi perché porta a migliori performance nella maggior parte degli indici considerati. Escludendo per primo il bilanciamento con metodo LCR perché non eccelle in nessuna voce rispetto agli altri, il confronto tra bilanciamento per tentativi e con metodo RPW vede la scelta del primo. L'ozio totale e massimo sono notevolmente migliori: l'ozio totale nel bilanciamento RPW è più di 3 volte rispetto a quello del bilanciamento per tentativi, e l'ozio massimo è più del doppio. I tempi di work overload totale e massimo sono gli unici indici che sono migliori nel bilanciamento con metodo RPW. Inoltre è stato deciso di bilanciare la linea con il metodo per tentativi perché gli indici riguardanti l'efficienza e la distribuzione dei carichi confermano risultati migliori.

Ulteriore fattore per la scelta è il tempo ciclo realizzato. Il tempo ciclo realizzato dal bilanciamento per tentativi (2194 secondi) rappresenta circa il 83% rispetto al tempo ciclo desiderato (2646 secondi), percentuale che soddisfa il fatto di non aver considerato le deviazioni standard dei tempi nello studio (fattore che nella realtà della produzione entra in gioco). Il tempo ciclo realizzato dal bilanciamento con metodo RPW (2474) rappresenta il 93,5% rispetto al tempo ciclo desiderato, percentuale ritenuta troppo alta in quanto, una volta entrate in gioco le deviazioni standard, si correrebbe il rischio di non centrare la produttività richiesta.

Tra gli obiettivi del miglioramento futuro della linea è stata posta la priorità nella riduzione dei tempi delle attività che comportano i tempi di work overload. Critica risulta la lavorazione del modello C alla stazione 2, ma soprattutto del modello R alla stazione 4: dovranno essere valutati i tempi di esecuzione delle attività per capire se ci sono margini di miglioramento per la riduzione dei tempi. Il task che per la sua natura più si presta alla riduzione del tempo di esecuzione è PRED (predisposizione ruote), il quale potrebbe essere svolto fuori linea oppure valutando l'acquisto di timoni già predisposti.

7.6.3 Produttività

Con un tempo ciclo di 2646 secondi la linea avrà come output una produzione giornaliera di 11 pezzi al giorno, ovvero una produzione di 3000 pezzi per anno, contando che un anno abbia 270 giorni lavorativi.

La produzione oraria ideale è basata sul tempo ciclo realizzato ottenuto tramite il bilanciamento per tentativi, che rappresenta il tempo della stazione più lenta, ovvero il collo di bottiglia della linea. Saturando quest'ultima al 100%, otterremmo una produzione giornaliera ideale di 13,4 pezzi e di 3618 pezzi/anno. Questa tuttavia è una previsione molto ottimistica, perché non prevede le deviazioni standard che entrano in gioco nella realtà, e non considerate in questo studio. Sarebbe una produttività reale nel caso in cui si utilizzassero dei robot al posto degli uomini: i tempi di esecuzione dei task sarebbero in quel caso deterministici e non stocastici.

È stato calcolato quindi il tempo ciclo obiettivo, aggiungendo al Tcr il 10% per cautelarsi dalle possibili variazioni e per non saturare al 100% la stazione più lenta. Imponendo questo tempo ciclo (Tcob) di 2413 si otterrebbe una produttività di 12,18 pezzi/giorno e quindi 3289 pezzi/anno.

	secondi	VAM/ORA	VAM/GIORNO	VAM/ANNO	Δ PRODUTTIVITA' ANNUALE
TEMPO CICLO	2646	1,36	11,11	3000	
TEMPO CICLO REALIZZATO	2194	1,64	13,40	3618	618
TEMPO CICLO OBIETTIVO (+10%)	2413	1,49	12,18	3289	289

Tabella 7.28 Tempi ciclo e produttività bilanciamento scelto

Nella Tabella 7.28 sono riportati il tempo ciclo, il tempo ciclo realizzato ed il tempo ciclo obiettivo (risultato dalla maggiorazione del Tcr del 10%) con le relative produttività orarie, giornaliere e annuali e infine lo scostamento tra le produttività annuali del Tcr e del Tcob rispetto a quella del tempo ciclo.

CAPITOLO 8

ANALISI DEL LAYOUT

8.1 Configurazione attuale

L'intera azienda ricopre una superficie di 20.000 mq e la produzione attuale, come è stato espresso in precedenza, si svolge in quattro diversi reparti.

8.1.1 Isola di assemblaggio

L'inizio del ciclo avviene nel reparto isola di assemblaggio, dove vengono svolte le attività da CAS a SCIN. La singola isola di lavoro che lavora lotti di 12 macchine è formata da 3 piani di supporto in metallo (Figura 8.1), ognuno con la capacità di ospitare 4 macchine. Questi piani sono disposti al centro dell'isola e sono distanziati in modo tale



Figura 8.1 Supporto metallico isola di assemblaggio

da permettere all'operatore un'agevole movimentazione anche quando tutte le macchine sono caricate. Nella parte posteriore dell'isola è presente un tavolo di lavoro e tutta una serie di attrezzi utili per lo svolgimento delle attività assegnate a questo reparto (avvitatore pneumatico, flessibile, fresatrice, fune di sollevamento, attrezzatura generale come martelli e chiavi inglesi).

A fianco dell'isola sono disposti due carrelli, il primo è dedicato alla bulloneria e contiene viti, bulloni, rondelle, copiglie, ingrassatori; il secondo contiene i componenti non ingombranti che vanno montati sulle macchine. Questo secondo carrello viene preparato dal magazziniere prima dell'inizio della lavorazione del lotto con il contenuto necessario di componenti per le 12 macchine che stanno per essere lavorate.

Ci sono tuttavia alcuni componenti come le catene di protezione anteriore o i

tendicinghia che necessitano di un recupero da parte dell'operatore dell'isola, con un notevole impiego di tempo a non valore aggiunto. Tutti i componenti ingombranti come i rotori, i rulli, i raschiatori, i timoni e le scatole ingranaggi vengono portati dal magazziniere a bordo linea con il carrello elevatore quando questi componenti stanno per essere montati dall'operatore.

La singola postazione (Figura 8.2) misura 13 metri di lunghezza e 10 di larghezza, per un'area totale di 130 mq. Essendo due le postazioni di questo tipo dedicate al montaggio delle trinciatrici, nel computo dell'area totale finale i parametri vanno moltiplicati per due.

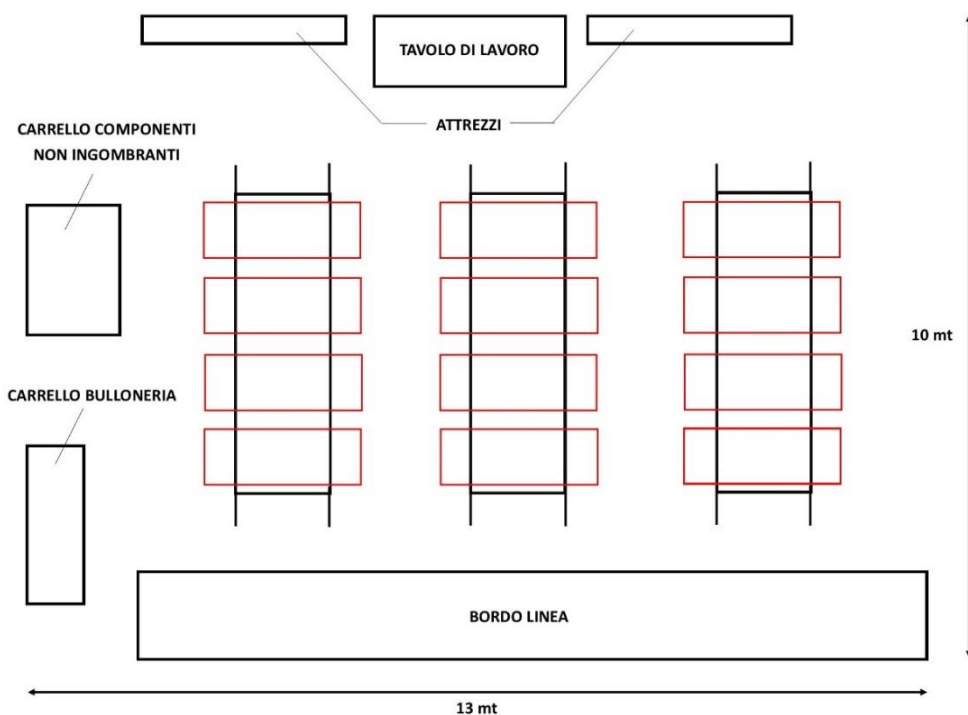


Figura 8.2 Isola di assemblaggio

8.1.2 Lavaggio e verniciatura

Il reparto lavaggio e il reparto verniciatura sono a sé stanti e relativamente svolgono l'attività di lavaggio (LAV) e di verniciatura e asciugatura (VER). Il reparto di lavaggio è costituito da una pompa ghibli per il lavaggio ad acqua pressurizzata e da una griglia per il recupero e lo scarico dei liquidi. La sua area totale è di 21 mq, escludendo le aree di attesa. La cabina di verniciatura è dotata di pistole per la verniciatura a liquido, è dotata dei dispositivi di sicurezza/salute descritti in precedenza (condotti di areazione, griglie per il recupero e il trattamento di vernice vaporizzata, tute e maschere di protezione). Inoltre è dotata di un macchinario (asciugatrice a lampade di essiccazione) per asciugare rapidamente le macchine prima di lasciarle al reparto montaggio finale. L'area occupata dalla cabina e dall'asciugatrice è di 35,7 mq, escluse le aree di attesa.

8.1.3 Montaggio finale

Le ultime attività sono quelle che vanno da CAV a SCF e vengono svolte nel reparto montaggio finale. Qui le macchine sono disposte a terra e singolarmente vengono sollevate e poste su cavalletti di sostegno per poter subire le attività richieste. La disposizione dei componenti necessari alle attività di questo reparto è a scaffali, e il recupero del materiale viene svolto dagli operatori. Gli attrezzi necessari allo svolgimento delle attività sono posizionati su un carrello.

8.1.4 Movimentazioni

Tutte le movimentazioni delle macchine tra i reparti avvengono singolarmente tramite carrello elevatore, mentre la movimentazione all'interno dei singoli reparti avviene mediante fune di sollevamento. La distanza tra il reparto isola di assemblaggio e lavaggio è di 100 metri (si tratta di una media, in quanto l'edificio ospitante le isole di lavoro ne contiene 7), la distanza tra lavaggio e verniciatura è di 130 metri. I reparti verniciatura e montaggio finale sono gli unici ad essere l'uno di fianco all'altro, tuttavia la configurazione prevede uno spostamento anche tra queste due: lo spazio che divide il punto in cui le macchine sono asciugate dal punto in cui le stesse vengono poste in attesa del montaggio finale è di 30 metri. Il totale

della distanza che ogni macchina deve percorrere è pertanto di 260 metri. Si tratta di una distanza che comprende la movimentazione del prodotto su carrello elevatore.

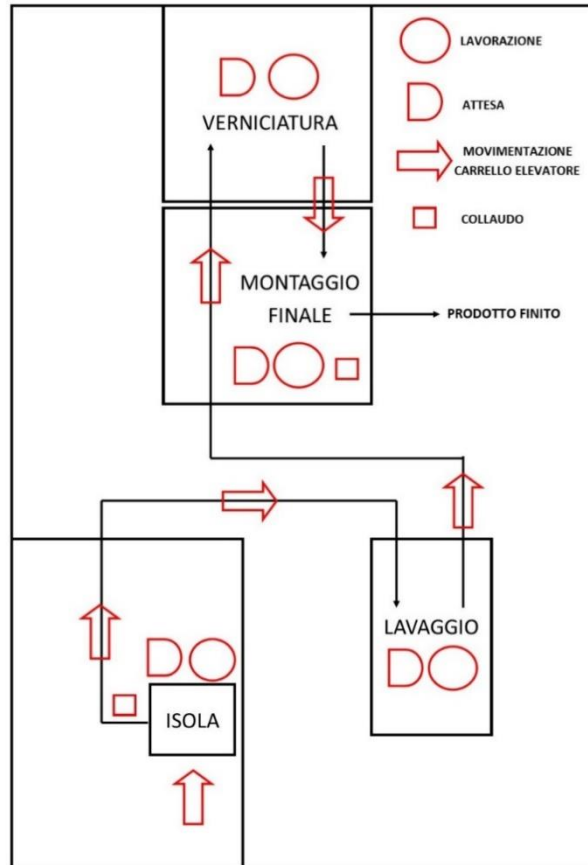


Figura 8.3 Movimentazioni tra reparti

8.2 Layout nuova linea

L'obiettivo nella progettazione del layout è quello di minimizzare gli spostamenti. Quando, come in questo caso, i volumi sono elevati e la varietà è bassa le risorse devono essere organizzate per gestire un flusso costante e regolare. È stato quindi implementato un layout in linea, che implica la collocazione delle risorse trasformanti (operatori, macchinari, attrezzatura) in funzione delle risorse trasformate (i prodotti). Il flusso è chiaro e prevedibile e perciò è facile da controllare.

Scegliere il giusto layout è importante per il costo e il disagio di modificarlo. Un layout inappropriato implica il ripetersi dei costi extra tutte le volte che un elemento viene processato.

La linea sviluppata prevede la presenza di 4 stazioni alle quali sono state assegnate le attività da svolgere sui tre modelli. In base alla suddivisione delle attività tra le stazioni derivata dal bilanciamento è stato studiato il layout di ogni singola postazione. È stata valutata, in particolare, la disposizione delle macchine in lavorazione nella singola stazione, gli attrezzi e i componenti necessari in base alle attività che vanno svolte.

La terza stazione prevede le attività di lavaggio e di verniciatura e viene svolta nella postazione di lavaggio e nella cabina di verniciatura. Lo spostamento tra la seconda stazione e la postazione di lavaggio e tra la cabina di verniciatura e la quarta stazione avviene tramite carrello elevatore.

Tutte le stazioni, ad eccezione della terza, prevedono al centro il piano di supporto in metallo (dello stesso tipo del layout precedente) capace di ospitare una macchina. È dimensionato per contenere tutte le misure di macchine che sulla linea vengono lavorate (lunghezza da 100 a 250 cm e larghezza c.a. 100 cm).

Come si vede nella parte inferiore delle immagini seguenti, tutte le stazioni hanno a disposizione dei contenitori per i componenti non ingombranti, dimensionati in base sia all'ingombro del componente che alla frequenza di utilizzo sulle macchine. Inoltre è presente un carrello contenente la bulloneria ed uno contenente gli attrezzi.

La parte superiore delle immagini rappresenta il bordo linea delle stazioni e vi vengono posti i componenti ingombranti. Ogni stazione è munita di fune di

sollevamento per la movimentazione di queste parti e del prodotto da una stazione all'altra.

8.2.1 Prima stazione

Alla prima stazione (Figura 8.4) la cassa entra da sinistra e viene caricata sul piano di supporto: questo rappresenta l'inizio del ciclo (CAS).

I contenitori di componenti non ingombranti mettono a disposizione le catene, le bandelle, i supporti rullo, i supporti rotore e i tubi di lubrificazione. A bordo linea sono presenti i rotori, i rulli e le scatole ingranaggi. Per quanto riguarda i rotori e i rulli sarà presentato successivamente un metodo per il part feeding, in quanto sono componenti la cui misura è funzione della dimensione della macchina.

Di seguito è presente la legenda per quello che riguarda i carrelli della bulloneria (CARRELLO n°X) e degli attrezzi (ATTREZZI n°X).

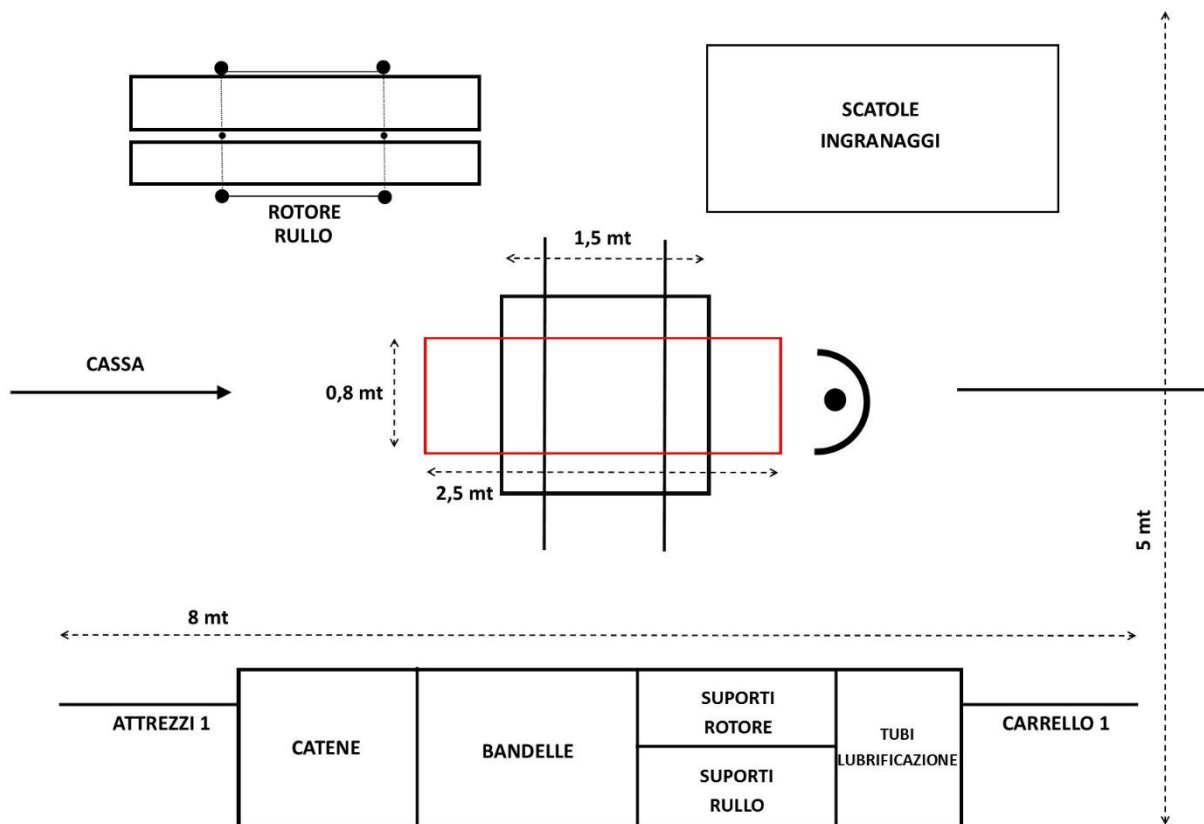


Figura 8.4 Prima stazione

ATTREZZI 1: metro, bolla, martello, fune di sollevamento, filettatrice, pennello, avvitatore pneumatico, saldatrice, chiave inglese, smerigliatrice;

CARRELLO 1: grasso, viti, dadi, rondelle, guarnizioni, piattini di chiusura, ingrassatori.

8.2.2 Seconda stazione

Il flusso del prodotto continua da sinistra verso destra entrando alla seconda stazione (Figura 8.5), la quale contiene a bordo linea i timoni, i raschiatori e le slitte. Nei contenitori le pulegge, le cinghie, i tendicinghia, i carter e le protezioni laterali.

ATTREZZI 2: avvitatore pneumatico, fune di sollevamento, flessibile, saldatrice, chiave inglese (varie misure), bolla;

CARRELLO 2: boccole, viti, rondelle, dadi, ingrassatori, grasso, numeri id.

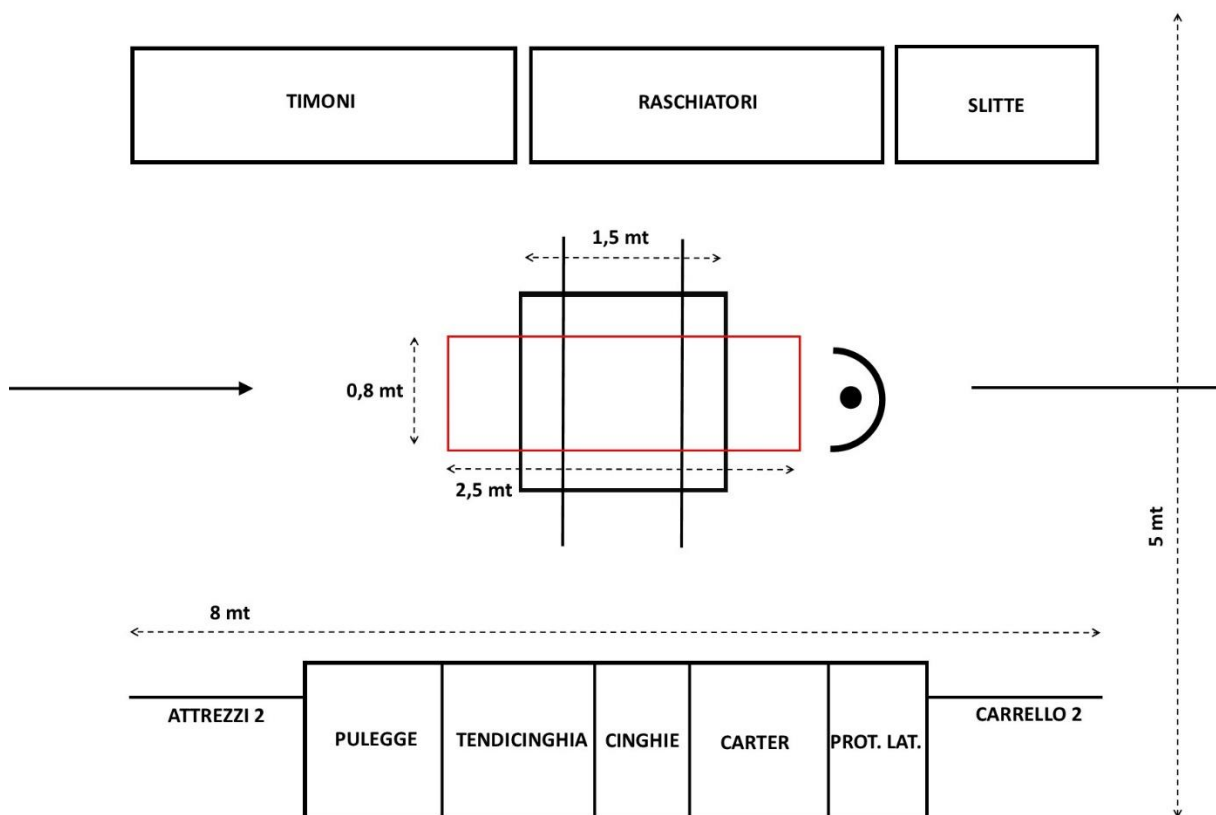


Figura 8.5 Seconda stazione

8.2.3 Terza stazione

La terza stazione (Figura 8.6) consiste nella postazione per il lavaggio e nella cabina di verniciatura e vi si svolgono i task LAV e VER. Il contenuto di lavoro comprende il trasporto dalla stazione 2 alla postazione di lavaggio, il lavaggio, la verniciatura, l'asciugatura finale e il trasporto alla stazione 4. Il trasporto alla stazione avviene tramite carrello elevatore ed è svolto dall'operatore logistico. Il lavaggio avviene tramite acqua pressurizzata. La verniciatura avviene mediante applicazione di vernice liquida (solitamente arancione) con una pistola ad aria compressa. La cabina prevede un impianto di aspirazione indipendente e sotto la stazione scorre un impianto idrico per la depurazione. La cabina è posta in vicinanza di porte che comunicano con l'esterno dell'edificio e gli operatori indossano tute e maschere apposite. L'asciugatura viene svolta ponendo il prodotto sotto un'asciugatrice formata da lampade di essiccazione, la quale viene movimentata mediante rotaie ed è dimensionata per asciugare tutte le misure delle macchine della linea.

La postazione per il lavaggio misura 6 x 3,5 metri e occupa un'area di 21 mq; la cabina di verniciatura misura 6 x 3,5 metri, per un'area di 21 mq. L'asciugatrice occupa un'area di 11,2 mq (3,2 x 3,5 metri). La distanza tra lavaggio e verniciatura e tra verniciatura e asciugatrice è di 1 metro. La lunghezza totale della stazione è di 17,2 metri e la larghezza totale è di 3,5 metri. La distanza che deve percorrere la macchina su carrello elevatore per raggiungere la terza stazione è di 14 m all'andata, per raggiungere la postazione di lavaggio, e di 15 m al ritorno, per andare dall'asciugatura alla stazione 4.

L'immagine riporta in rosso gli ingombri delle macchine in ogni postazione della stazione 3: essendo solamente uno l'operatore della stazione, in accordo con il

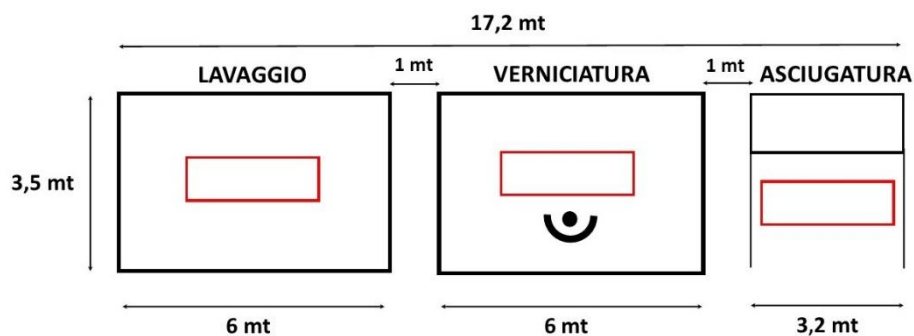


Figura 8.6 Terza stazione

bilanciamento scelto, la macchina in un dato istante occuperà solamente una delle tre posizioni visualizzate in figura.

8.2.4 Quarta stazione

La quarta ed ultima stazione (Figura 8.7) prevede la presenza nei contenitori dei rastrelli posteriori, dei martinetti idraulici, dei tubi per lo spostamento idraulico, delle lave per lo spostamento meccanico, delle cuffie, degli spinotti, dei ganci e delle etichette.

A bordo linea vengono disposti le gomme di protezione e le ruote posteriori. Le gomme, soggette a differenze di misura, sono catalogate in uno scaffale che le tiene divise in base alla lunghezza.

ATTREZZI 4: avvitatore pneumatico, fune di sollevamento, pennello, chiave inglese (varie misure), cacciavite (varie misure), martelli, metro, bolla;

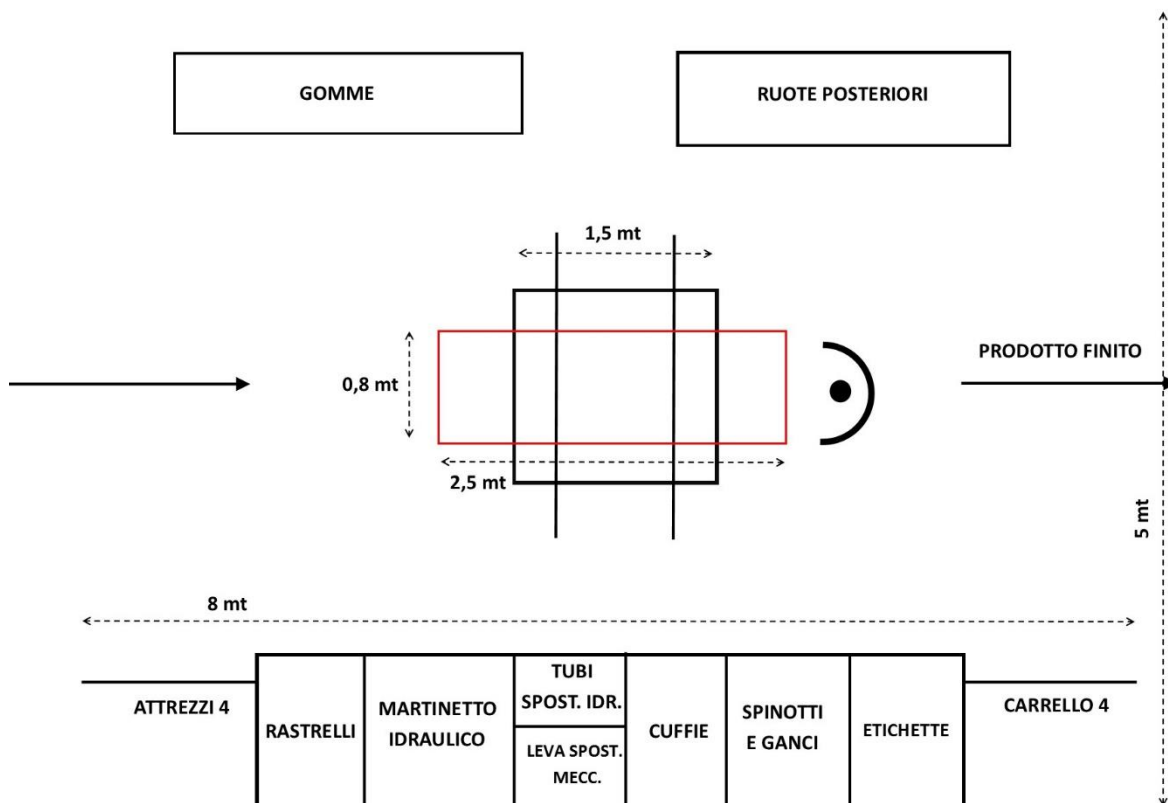


Figura 8.7 Quarta stazione

CARRELLO 4: grasso, spine, copiglie, supporti gomma, viti, bulloni, rondelle, dadi, ingrassatori.

8.2.5 Misure totali

Ogni stazione (esclusa la terza) misura una lunghezza di 8 metri ed una larghezza di 5 metri, per un'area totale di 40 mq . La stazione 3, che contiene la postazione per il lavaggio, l'asciugatrice e la cabina di verniciatura vera e propria, misura in totale 17,2 metri di lunghezza e 3,5 di larghezza, per un'area totale di 60,2 mq. La distanza tra la prima e la seconda stazione della linea è di 1 metro. Alla fine della seconda stazione un'area lunga 4 metri permette il carico delle macchine mediante carrello elevatore per il trasporto alla cabina di verniciatura. La cabina è dislocata vicina alle porte comunicanti con l'esterno, ovvero a 14 metri dalla seconda stazione. La distanza tra la cabina e la quarta stazione è di 15 metri e un'area di scarico della lunghezza di 4 metri permette lo scarico mediante carrello elevatore della macchina, pronta per entrare alla stazione 4. La lunghezza totale della linea comprendente le prime due e l'ultima stazione, comprese le aree di carico e scarico, è di 33 metri. La larghezza totale, comprendente sia le stazioni in linea sia la terza stazione, è di 25 metri. L'area totale

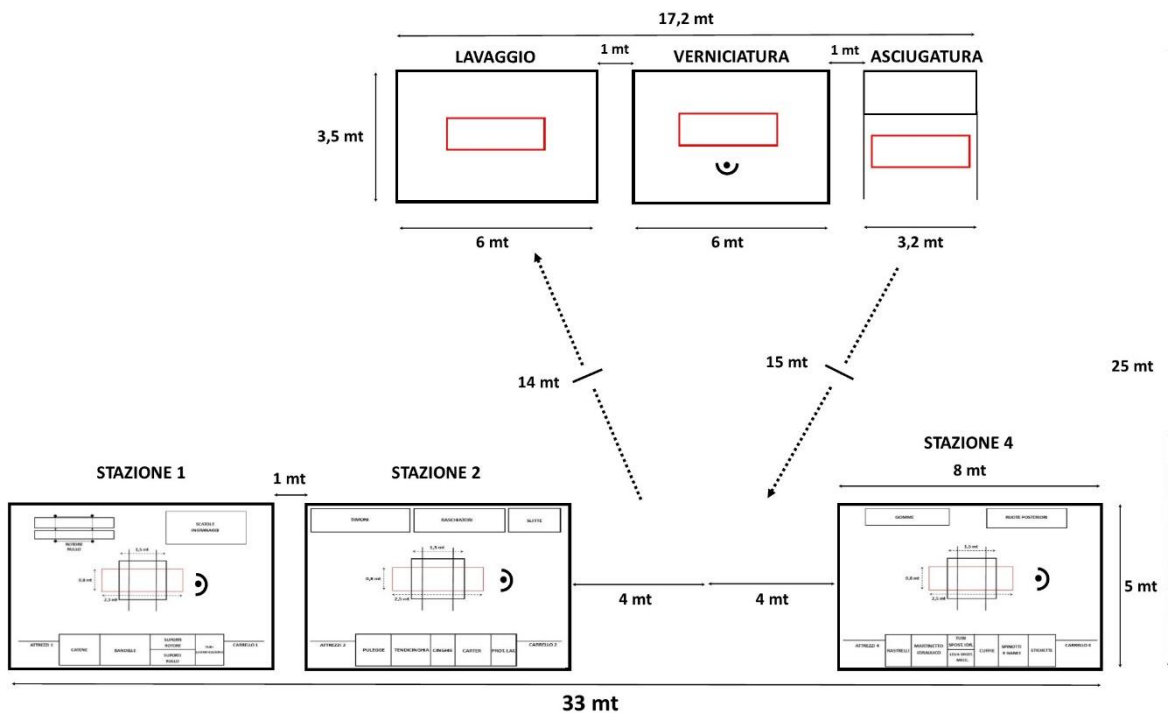


Figura 8.8 Layout nuova linea

della linea (Figura 8.8), escludendo i percorsi per le movimentazioni verso e dalla terza stazione, è di 225,2 mq.

8.3 Part feeding

Le immagini e le descrizioni indicano i componenti necessari per ogni stazione e la loro disposizione. Qualsiasi componente o sub-assemblato che viene fornito alla linea per l'assemblaggio è associato ad una disposizione: il rifornimento alla linea viene analizzato discriminando i componenti e associando ad ognuno un tipo di replenishment. Tutti i componenti sono stoccati in un magazzino centrale, da cui gli operatori della logistica attingono per rifornire la linea secondo i metodi di seguito descritti.

8.3.1 Parti comuni

Per quanto riguarda la stragrande maggioranza dei componenti si tratta di parti che si possono montare sui tre modelli (rispettando le attività che ne vanno svolte) indipendentemente dalla misura. Questi componenti vengono chiamati parti comuni. Alcuni di questi componenti vengono riforniti alla linea tramite punto di riordino, e sono: le slitte, la protezione laterale, i supporti rotore, i supporti rullo, il tubo di lubrificazione, il timone, il carter, la scatola ingranaggi, le pulegge, le cinghie, il tendicinghia, le ruote posteriori, il martinetto idraulico, i tubi idraulici, la leva dello spostamento meccanico, la cuffia. Queste parti vengono analizzate tramite tabelle (Tabelle 8.1, 8.2) che ne prevede il consumo settimanale sulla base della produttività e del mix.

Q giornaliera	12,18 [pz/gg]
Giorni settimanali	6 [gg/sett]
Q settimanale	73 [pz/sett]
Tempo ciclo	2415 [sec/pz]
Tempo disponibile	176488 [sec/sett]

Tabella 8.1 Dati preliminari produttività

			Y	C	R								
		Mix	0,6	0,3	0,1								
		Q sett	44	22	7								
STAZ	COMPONENTE	C.U.	Q sett per modello			Q sett totale	SS	Q sett da rifornire	Capacità contenitore	Rifornimenti settimanali	intervallo rifornimento	Q rifornimento	
			[pezzi]	[1/sett]	[h]	[pz/riforn]							
1	SUPPORTI ROTORE	2	88	44	14	146	4	142	90	1,58	31	86	
	SUPPORTI RULLO	2	88	44	-	132	4	128	70	1,83	27	66	
	TUBO LUBRIFICAZIONE	1	44	22	7	73	2	71	200	0,36	138	198	
	SCATOLA INGR.	1	44	22	7	73	2	71	20	3,55	14	18	
2	TIMONE	1	44	22	7	73	2	71	10	7,10	7	8	
	SLITTE	2	88	-	14	102	4	98	30	3,27	15	26	
	CARTER	1	44	22	7	73	2	71	20	3,55	14	18	
	PROTEZIONE LATERALE	1	44	22	7	73	2	71	150	0,47	103	148	
	PULEGGE	2	88	44	14	146	4	142	50	2,84	17	46	
	TENDICINGHIA	1	44	22	7	73	2	71	100	0,71	69	98	
	CINGHIE	4	176	88	28	292	8	284	500	0,57	86	492	
	SLITTE	2	88	-	14	102	4	98	50	1,96	25	46	
	RUOTE POSTERIORI	2	-	-	14	14	4	10	10	1,00	49	6	
	MARTINETTO IDR.	1	44	-	7	51	2	49	50	0,98	50	48	
	TUBI IDR.	2	88	-	14	102	4	98	60	1,63	30	56	
	LEVA SPOST. MECC.	1	-	22	-	22	2	20	50	0,40	122	48	
	CUFFIA	1	44	22	7	73	2	71	100	0,71	69	98	

Tabella 8.2 Studio consumi e rifornimenti parti comuni

Data la produttività settimanale di 73 pezzi di prodotto caratteristico è stato considerato il mix di produzione per ottenere la produttività settimanale per ogni modello. Per ogni componente è stato considerato il coefficiente di utilizzo, ovvero la quantità utilizzata su ogni macchina. La suddivisione dei 73 VAM nei singoli modelli ha permesso di discriminare quali componenti vanno montati sui singoli modelli in base alla matrice binaria delle attività. È stata quindi calcolata la quantità settimanale totale di utilizzo del componente. Per ognuno è stata valutata una scorta di sicurezza (SS) tale da permettere di completare 2 macchine. La quantità settimanale da rifornire è stata quindi calcolata tramite la differenza tra la quantità settimanale totale e la scorta di sicurezza. Dividendo la quantità da rifornire per la capacità del contenitore si è ottenuto il numero di rifornimenti settimanali per ogni componente. L'intervallo di rifornimento è stato calcolato sulla base del tempo ciclo e della produttività settimanale, mentre la quantità di componenti per ogni rifornimento è pari alla differenza tra la capacità del contenitore e le scorte di sicurezza. Da questi dati si ricava che il componente rifornito più spesso alla linea è il timone, quello rifornito meno frequentemente è il tubo di lubrificazione.

8.3.2 Componenti in funzione della misura

Per alcune parti esistono diverse varianti, dalle quali il cliente può sceglierne solo una. Una famiglia di parti è l'insieme di tutte le varianti possibili per quel componente, da cui il cliente ne seleziona una: due diverse varianti della stessa

famiglia non possono essere scelte in un prodotto finito. Nel caso oggetto di studio esistono dei componenti che in base alle scelte dei clienti possono variare. Nello specifico possono variare sia in base alla misura scelta sia in base alle scelte del cliente in termini di diametro (per quanto riguarda i componenti cilindrici). Le dimensioni in lunghezza del rotore, del rullo, del raschiatore e della gomma di protezione sono direttamente proporzionali alla misura della macchina. Inoltre il rullo può essere di diametro 159 mm e di diametro 194 mm; il raschiatore di conseguenza avrà la variante associata al rullo 159 mm e quella associata al rullo 194 mm. Il numero di bandelle, di catene e di rastrelli variano in funzione della misura della macchina.

8.3.2.1 Stationary kit

Per quanto riguarda il rotore ed il rullo, forniti entrambi alla prima stazione, si è deciso di implementare un sistema di part feeding chiamato stationary kit. Questo approccio prevede di fornire uno specifico set di componenti alla stazione in una quantità predeterminata [13]. Questo kit viene composto, trasportato e fornito in uno specifico contenitore/carrello. Esso provvede a fornire alla linea di assemblaggio i componenti necessari ad una o più attività riferite ad uno o più prodotti finiti. Lo stationary kit è portato a bordo linea della stazione e vi rimane fino a che non ne viene consumato il contenuto. I kit sono quindi forniti alla linea in sequenza e ognuno viene consumato ogni intervallo di tempo multiplo del tempo ciclo. L'intervallo tra la fornitura di un kit e il successivo è funzione del tempo ciclo e del numero di parti dedicate ad una singola macchina che il kit contiene, quindi la ricomposizione può avvenire in intervalli di tempo costanti.

Nel caso oggetto di studio lo stationary kit è composto dal rotore e dal rullo, i quali possono avere misure che variano dai c.a. 100 cm ai 250 cm.

Il contenitore per il trasporto e lo stoccaggio del set di componenti è un carrello aperto ai lati e superiormente in modo da permettere un prelievo dei componenti tramite fune di sollevamento (Figura 8.9). È suddiviso in due zone: la prima zona ospita il rullo e sarà dimensionata per contenere la variante con il diametro maggiore; la seconda zona ospita il rotore ed ha ingombro costante in quanto il

diametro del rotore non varia per i tre modelli e nemmeno in base alla misura della macchina.

Il dimensionamento del contenitore è avvenuto valutando le misure possibili dei componenti che deve contenere. La larghezza è stata posta pari a 90 cm in quanto i componenti più corti che devono portare misurano 100 cm. I due settori sono stati

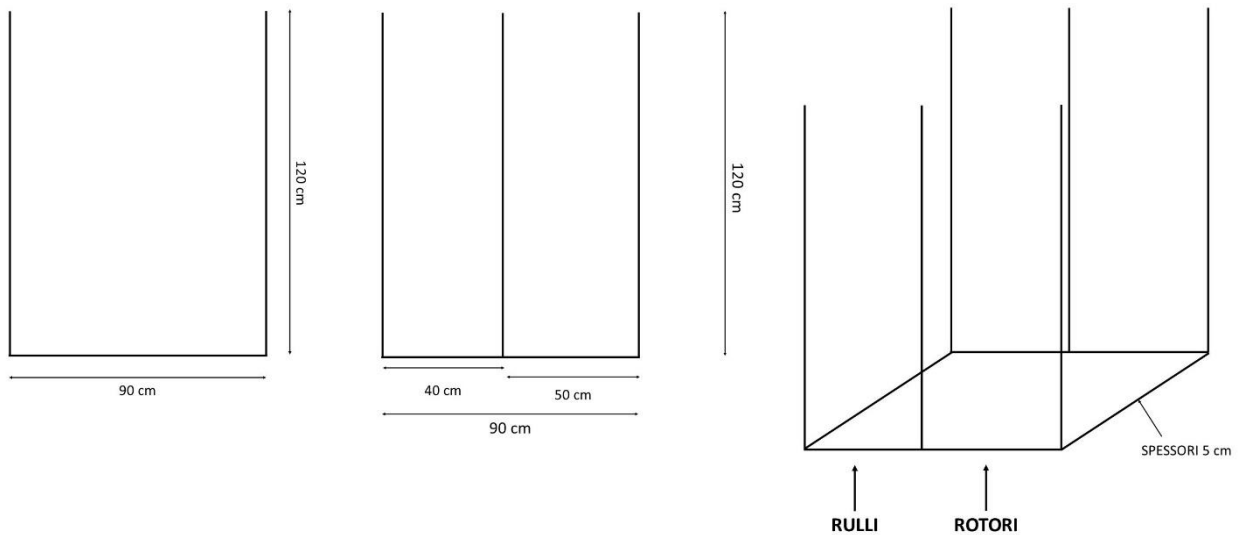


Figura 8.9 Contenitore part-feeding rulli e rotori

dimensionati in base all'ingombro massimo dei componenti, lasciando del margine per permettere che il caricamento ed il prelievo siano agevoli per gli operatori. Quindi la zona dedicata ai rulli è stata posta 40 cm (diametro massimo 194 mm), quella dedicata ai rotori 50 cm (ingombro massimo 290 mm). Il totale della lunghezza del carrello risulta essere 90 cm. L'altezza totale è stata decisa in base alla facilità con cui l'operatore può agganciare la fune di sollevamento. Inoltre, avendo il carrello una base quadrata di 90 cm di lato si è preferito non sviluppare troppo l'altezza per non incorrere in problemi di bilanciamento durante il trasporto. L'altezza è stata posta pari a 120 cm. Tutti gli spessori dei tubi che compongono il carrello sono di 5 cm.

In base a questo dato è stato dimensionato il numero N di componenti che può contenere: il componente con ingombro massimo in altezza i_{max} è il rotore, che nella situazione peggiore misura 29 cm.

$$N^* = h/i_{max}$$

$$N = \inf(N^*)$$

Dove h è l'altezza totale del carrello. In base alle formule la capacità del contenitore risulta di 4 componenti per ogni settore.

8.3.2.1.1 Just in sequence (JIS)

Lo spazio limitato a bordo linea e la necessità di garantire la continuità di produzione nonostante le diverse varianti di questi componenti ha portato alla scelta di una fornitura Just in sequence [14]: il materiale da rifornire è dettato dalla sequenza di produzione dei singoli prodotti. Lo scopo è quello di sincronizzare il momento della consegna dei componenti con il momento in cui questi servono, minimizzando lo spazio necessario tramite consegne frequenti di lotti minori di componenti. In base al dimensionamento ogni carrello ospita 4 kit: essendo ogni kit dedicato ad una macchina corrispondente ad un prodotto finito scelto da un cliente, questi devono arrivare alla linea con la sequenza corrispondente al flusso delle macchine. L'operatore della logistica che carica il carrello in magazzino sequenzia i 4 kit in base alla sequenza delle macchine che l'operatore della linea deve montare. Ovviamente la sequenza deve rispettare l'ordine di prelievo, quindi il caricamento dei kit avverrà in ordine inverso, in logica LIFO (Last In First Out): l'ultimo componente caricato dall'operatore della logistica sarà il primo componente che verrà prelevato dall'operatore della stazione. Inoltre nel caricamento bisogna verificare la compatibilità dei componenti appartenenti allo stesso kit.

8.3.2.1.2 Replenishment dello stationary kit

Per quanto riguarda il replenishment del kit è stato deciso di utilizzare il metodo two-bin. Questo metodo prevede l'impiego di due carrelli: il prelievo in linea dei componenti avviene dal primo carrello, il quale contiene 4 rotori e 4 rulli

sequenziati in base alla sequenza di arrivo delle macchine alla linea. Una volta terminate le scorte del primo carrello si prelevano i componenti dal secondo per lavorare la successiva sequenza, mentre il primo carrello è prelevato dall'operatore della logistica per poterlo munire con i componenti che andranno montati sulla sequenza ancora successiva. Si tratta quindi di un metodo di gestione con riordino a quantità fissa pari a 4 ed intervallo temporale fisso: il tempo di consumo dell'intero carrello è pari a 3 volte il tempo ciclo, più il tempo che intercorre tra l'inizio del quarto ciclo e l'istante in cui l'operatore della linea preleva l'ultimo componente del carrello.

8.3.2.2 Gomma di protezione e raschiatori

Un altro componente che varia in funzione della misura della macchina è la gomma di protezione posteriore, consumata nella quarta ed ultima stazione. Date però le sue ridotte dimensioni di ingombro è stato deciso di metterla a disposizione dell'operatore tramite un carrello a scaffali, il quale permette di catalogare il componente in base alla misura e ne consente un recupero agevole e rapido. L'operatore della logistica provvederà al rifornimento delle misure di gomma in esaurimento tramite controllo visivo, e rifornirà il carrello con le misure di gomma mancanti fino al riempimento del settore dedicato a tale misura.

Anche i raschiatori variano in funzione della misura della macchina, ma dato il loro ingombro ed il peso si è deciso di fornirli alla seconda stazione tramite uno scaffale che archivia il componente in ordine di misura. L'operatore della logistica provvederà al rifornimento delle misure di raschiatore in esaurimento tramite controllo visivo, e rifornirà lo scaffale con le misure di raschiatori mancanti fino al riempimento del settore dedicato a tale misura.

8.3.2.3 Catene di protezione

Le catene, essendo montate con la configurazione a spezzoni, dipendono dalla misura della macchina. In particolare la linea deve essere rifornita con tutte le

misure degli spezzoni (500 mm, 450 mm, 400 mm, 300 mm, 200 mm). Come già visto in precedenza la misura più usata è la 400 mm (85%), seguita dalla 200 mm (9%) e poi da tutte le altre (2,3% cad). Il rifornimento alla linea avviene tramite controllo visivo da parte degli operatori della logistica. Il livello minimo dello spezzone da 400 mm è pari a 5, il quale numero permette il rifornimento sufficiente per montare le catene alla macchina di misura massima (250 cm). Il livello minimo per le altre misure di spezzone è pari a 1 in quanto tutte le misure di macchina prevedono al massimo uno spezzone diverso da quello che misura 400 mm, come dimostrato dalla Tabella 8.3.

MIS	QTY				
	500	450	400	300	200
100			2		1
120			3		
140			3		1
160			4		
180			4		1
200			5		
220			5		1
230			5	1	
250	1		5		

Tabella 8.3 Consumo di sub-assemblati per misura

8.3.2.4 Bandelle di protezione e rastrelli

Il numero di bandelle e di rastrelli da montare varia in funzione della lunghezza della macchina, per cui è difficile prevederne un consumo settimanale: per quanto riguarda questi componenti è stato deciso un rifornimento alla linea basato sul controllo visivo da parte degli operatori della logistica. Il volume di questi componenti permette di mantenerne sotto controllo visivamente il consumo e il rifornimento avviene quando il livello delle parti nel contenitore scende sotto la linea di demarcazione. La linea è posta in modo che le bandelle e i rastrelli rimanenti sotto la linea (al momento quindi del rifornimento) siano in numero compreso tra 20 e 30. La quantità di rifornimento dovrà essere tale da riempire i rispettivi contenitori.

8.3.3 Ganci, spinotti ed etichette

Questi componenti sono utilizzati indifferentemente su tutte le macchine ma il loro volume contenuto permette un rifornimento di tipo visivo. L'operatore della logistica provvede al rifornimento quando i rispettivi contenitori risulteranno prossimi all'esaurimento. Per quanto riguarda i ganci e gli spinotti esiste una linea di demarcazione nel contenitore che avvisa della necessità di rifornimento. La linea è posta in modo da mantenere al minimo 5/10 ganci e 15/20 spinotti nel contenitore. La quantità di rifornimento dovrà essere tale da riempire i rispettivi contenitori.

CAPITOLO 9

IMPATTO ECONOMICO

L'impatto economico della linea vuole analizzare la fattibilità economica dell'impianto, valutando i costi marginali, i potenziali ricavi e risparmi marginali della nuova configurazione rispetto alla precedente.

I costi marginali sono rappresentati da tutti gli investimenti in nuove attrezzature e nuove postazioni che è necessario sostenere per arrivare a formare la nuova configurazione della produzione. Le stazioni numero uno, due e quattro non comportano investimenti marginali perché si tratta di una semplice riorganizzazione delle attrezzature e degli strumenti già esistenti. Il principale e sostanziale investimento deve essere sostenuto per dotare la nuova configurazione con la terza stazione. Questa è formata dalla postazione per il lavaggio, dalla cabina di verniciatura e dall'asciugatrice a lampade di essiccazione. Il nuovo investimento è da sostenere perché in precedenza queste risorse erano condivise con le altre famiglie di prodotto: nella nuova linea esse verranno dedicate solamente alla famiglia delle trinciatrici.

I ricavi marginali sono rappresentati dalla maggiore produttività che deriva dalla produzione in linea. Come esposto in precedenza (capitolo 7.6.3 Produttività) il nuovo tempo ciclo permette una produttività marginale annuale di 289 macchine. Valutando la percentuale di utile sul prezzo di una singola macchina e moltiplicandolo per il numero di macchine che annualmente si produrrebbero in più, è stato stimato il ricavo marginale derivante dalla maggiore produttività della linea.

I risparmi marginali derivano dal risparmio di un operatore nella produzione della famiglia delle trinciatrici. In precedenza gli operatori erano in totale 5: tre si dedicavano all'assemblaggio iniziale (isola di montaggio), uno al lavaggio e alla verniciatura e uno al montaggio finale. Con il bilanciamento della nuova linea gli operatori necessari sono 4.

Le seguenti tabelle riportano i flussi di cassa (Tabella 9.1) e i flussi attualizzati (Tabella 9.2) riguardanti gli investimenti, i ricavi ed i risparmi marginali.

L'investimento iniziale si compone delle tre voci che riguardano la postazione di lavaggio, la cabina di verniciatura e l'asciugatrice: la prima comporta un esborso di € 37.820, la seconda di € 51.850, la terza di € 71.980. Il totale dell'investimento iniziale ammonta quindi a € 161.650.

I ricavi marginali annuali ammontano a € 208.080. Il passaggio da cinque a quattro operatori comporta un risparmio annuale che ammonta a € 43.200.

FLUSSI DI CASSA					
	investimenti	risp HR	ricavi marg	flussi positivi	cum
0	-€ 161.650,00				-€ 161.650,00
1		€ 43.200,00	€ 208.080,00	€ 251.280,00	€ 89.630,00
2		€ 43.200,00	€ 208.080,00	€ 251.280,00	€ 340.910,00
3		€ 43.200,00	€ 208.080,00	€ 251.280,00	€ 592.190,00
4		€ 43.200,00	€ 208.080,00	€ 251.280,00	€ 843.470,00
5		€ 43.200,00	€ 208.080,00	€ 251.280,00	€ 1.094.750,00

Tabella 9.1 Flussi di cassa

I flussi di cassa sono stati attualizzati con le formule relative al VAN (valore attuale netto)

$$VAN_n = \sum_n \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0$$

Dove F_n sono i flussi di cassa positivi (ricavi e risparmi marginali) e F_0 è l'investimento iniziale. Il tasso di rendimento i è stato posto pari al 10%.

FLUSSI DI CASSA ATTUALIZZATI					
	invest att	risp HR att	ricavi marg att	flussi pos att	VAN
0	-€ 161.650,00				-€ 161.650,00
1		€ 39.272,73	€ 189.163,64	€ 228.436,36	€ 66.786,36
2		€ 35.702,48	€ 171.966,94	€ 207.669,42	€ 274.455,79
3		€ 32.456,80	€ 156.333,58	€ 188.790,38	€ 463.246,17
4		€ 29.506,18	€ 142.121,44	€ 171.627,62	€ 634.873,79
5		€ 26.823,80	€ 129.201,31	€ 156.025,11	€ 790.898,90

Tabella 9.2 Flussi di cassa attualizzati

Entrambe le tabelle mostrano che già dal primo anno si riscontrerebbero valori positivi, recuperando in breve termine l'investimento.

CAPITOLO 10

CONFRONTO ALTERNATIVE

La nuova linea di assemblaggio dedicata alla famiglia delle trinciatrici comporta effetti positivi che si possono esprimere analizzando varie voci (Tabella 10.1). Il riepilogo di alcuni effetti viene posto in evidenza nell'ambito della produttività, dell'impiego di risorse umane, di spazio occupato e degli investimenti.

	PRIMA	DOPO
Tempo di attraversamento	3/4 giorni	2 ore 27 min
WIP	20 (media)	4 (fisso)
Risorse umane	5	4
Lunghezza [m]	260	77
Area occupata [mq]	316,7	225,2
Investimenti	-	€ 161.650,00

Tabella 10.1 Confronto alternative

10.1 Tempo di attraversamento

La riduzione del tempo di attraversamento nasce dal fatto che la linea opera i prodotti one-piece-flow, dedicando al singolo prodotto il tempo necessario per svolgere le attività. In precedenza, con la produzione a lotti di 12 macchine nell'isola di assemblaggio i prodotti spendevano la maggior parte del tempo aspettando che le attività venissero svolte sulle 11 macchine rimanenti. Inoltre, dato il numero di prodotti in corso di lavorazione, le attese sono notevoli anche agli altri reparti. Nella nuova linea, il prodotto subisce in sequenza tutte le attività che esso prevede: gli unici tempi di attesa nascono dal bilanciamento della linea.

La riduzione dei tempi di esecuzione è avvenuta tramite l'implemento di una nuova configurazione per il montaggio delle protezioni anteriori in catena, che ha portato

una riduzione di tempo di circa 3 volte rispetto alla configurazione che prevedeva il montaggio delle catene singolarmente.

Un altro miglioramento è stato inserito per quanto riguarda il part feeding. Lo stationary kit che comprende rotore e rullo è una novità che permette agli operatori un facile e intuitivo prelievo di componenti. Il prelievo della configurazione precedente avveniva casualmente pescando all'interno di un grande carrello dove venivano posti in ordine sparso i rotori necessari per le 12 macchine del lotto (lo stesso per i rulli). Al momento del prelievo l'operatore doveva capire su quale delle 12 macchine posizionare il componente, cosa che richiedeva tempo. Lo stationary kit con i componenti sequenziati con lo stesso ordine in cui arrivano le macchine alla stazione permette una riduzione del tempo di prelievo e soprattutto un'intuitiva e immediata associazione tra componente e macchina.

10.2 Work in process (WIP)

Un notevole risultato è stato ottenuto per quanto riguarda il numero di prodotti in corso di lavorazione. L'abbattimento del numero di WIP svincola le risorse economiche ad esso solitamente dedicate che possono, così, essere utilizzate diversamente.

La configurazione attuale non ha WIP costante, in quanto dipende dalle priorità che i reparti danno ai vari modelli: può accadere che il reparto lavaggio o il reparto verniciatura siano impegnati in una macchina di grandi dimensioni (anche 6 metri) che richiede molto più tempo rispetto alle macchine coinvolte nella nuova linea. Questo comporta un aumento sostanziale del numero di trinciatrici in attesa di essere processate da quei reparti.

In linea generale, la stima delle macchine coinvolte nel processo in un determinato istante vede la presenza in media di 12 pezzi al reparto isola di assemblaggio, 2 al reparto lavaggio, 3 alla verniciatura e 3 al montaggio finale. Il totale stimato del numero di WIP risulta 20 macchine. Grazie al nuovo tipo di produzione le trinciatrici coinvolte in un determinato istante nel processo risultano essere 4, ovvero una per ogni stazione di lavoro. Il vantaggio della nuova configurazione è il fatto che questo numero è fisso e costante perché un pezzo entra nella linea solamente quando uno ne esce.

Altri vantaggi derivano dalla produzione di un pezzo alla volta. Il sovraffollamento delle linee produttive è una delle cause più comuni di incidenti sul lavoro. Passando al one-piece-flow si limita la movimentazione di oggetti, limitando le situazioni potenzialmente pericolose. Producendo e movimentando un solo pezzo alla volta i difetti vengono evidenziati immediatamente (solitamente alla stazione successiva), originando una conseguente azione correttiva. Migliore produttività in quanto molti degli sprechi individuati in produzione sono dovuti alla produzione a lotti e alle code di materiale in attesa di essere processato, movimentato e trasportato. L'approvvigionamento di nuovo materiale viene semplificato perché il flusso ed il conseguente rimpiazzo è ben prevedibile e gestibile.

10.3 Layout e movimentazioni

Come si è notato nell'analisi del layout, in conseguenza della riduzione dei volumi lavorati in produzione si libera anche lo spazio occupato dal materiale in attesa di essere processato. In aggiunta le work station devono essere necessariamente più vicine tra loro, e anche questo fattore collabora al risparmio di spazio.

La produzione attuale prevede grandi movimentazioni di materiale, il quale deve percorrere notevoli distanze per subire lavorazioni successive. Il totale della distanza che ogni macchina deve percorrere è di 260 metri. Inoltre le aree dedicate alla produzione delle trinciatrici ammontano a 316,7 mq.

Oltre a risultare improduttivo per il tempo di attraversamento e il numero di WIP, questo modo di operare prevede un notevole impiego di tempo da parte degli operatori della logistica che trasportano i prodotti da un punto all'altro. Con una migliore configurazione lo stesso tempo potrebbe essere impiegato in attività con un tasso maggiore di valore aggiunto. A rendere questo aspetto ancora più evidente sul piano dell'improduttività interviene il fatto che gli spostamenti tra un reparto e l'altro non sempre avvengono nell'istante in cui l'operatore termina le attività, ma spesso le macchine devono rimanere, per esempio, nell'isola di assemblaggio ad aspettare che un operatore della logistica si liberi per la movimentazione.

La nuova linea prevede una notevole riduzione degli spazi grazie alle stazioni poste in sequenza una dopo l'altra, ad eccezione della terza postazione. Tutte le attività che prima si svolgevano lungo grandi distanze ora avvengono in un'area ristretta, con un rapporto molto più alto di lavoro a valore aggiunto rispetto all'area ricoperta. La nuova modalità di produzione prevede una distanza totale tra prima e quarta stazione di 33 metri, mentre la distanza tra la linea principale e stazione per il lavaggio e la verniciatura è di 14 metri nel percorso di andata e di 15 metri in quello di ritorno. Il totale della lunghezza che le macchine percorrono è quindi la somma della lunghezza della linea principale, della lunghezza della terza stazione e delle movimentazioni verso e dalla terza stazione: il totale risulta 77 metri, 29 dei quali su carrello elevatore. Questa riduzione è possibile grazie alla produzione one-piece-flow e al nuovo layout.

Nella nuova linea le movimentazioni tra una stazione e l'altra avvengono tramite fune di sollevamento da parte degli stessi operatori della linea. Le uniche movimentazioni in cui è necessario il carrello elevatore sono quelle che portano le macchine dalla seconda stazione alla terza e dalla terza alla quarta. Gli operatori della logistica, in questo modo, hanno a disposizione più tempo per la preparazione dei kit per le stazioni e per il part feeding in generale.

La vicinanza delle stazioni facilita inoltre lo scambio di informazioni tra gli operatori, i quali possono più agevolmente comunicare la presenza di eventuali difetti sui prodotti. La comunicazione precedente non era efficiente in quanto, essendo i reparti distanti, doveva passare attraverso i responsabili che fisicamente si recavano a comunicare le informazioni.

La vicinanza crea un'atmosfera di team working che aumenta il grado di soddisfazione degli operatori, i quali hanno visibilità su un tratto più ampio della linea rispetto alla modalità di produzione precedente. Non essendoci più i cuscinetti rappresentati dai magazzini, tutti i difetti saltano all'occhio subito e devono essere tempestivamente risolti. Si lavora in un'ottica di miglioramento continuo e tutti gli operatori sono coinvolti in questo processo, in modo che ciascuno si senta coinvolto nella creazione del valore per l'azienda. La tensione al miglioramento incentiva le persone, che vedono la possibilità di uno sviluppo professionale.

CAPITOLO 11

CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa tesi prevedeva l'implemento di una linea di assemblaggio per i prodotti standard (trinciatrici) per aumentare l'efficienza dei costi. Si è cercato di abbassare i tempi di attraversamento tramite la riduzione dei tempi di esecuzione e di set-up, le distanze che il prodotto deve percorrere e le attese che deve subire. L'obiettivo era inoltre minimizzare il numero di WIP e garantire una maggiore affidabilità sulle date di consegna riuscendo a produrre quanto richiesto e quando richiesto.

La nuova linea di assemblaggio ha migliorato questi indici di performance dell'azienda adottando una produzione one-piece-flow. Questo approccio impatta favorevolmente su tutti gli aspetti ma soprattutto sul tempo di attraversamento e sul numero di prodotti in corso di lavorazione.

L'efficienza dei costi è stata incrementata grazie allo sviluppo della linea e ha permesso un riposizionamento dell'azienda in corrispondenza sia della diagonale naturale della matrice prodotto-processo, sia della frontiera efficiente nel grafico efficienza dei costi-varietà.

11.1 Miglioramenti futuri

Gli obiettivi più prossimi rimangono il monitoraggio della linea, sia per quanto riguarda le tempistiche di esecuzione delle attività che per quanto riguarda la presenza di difetti e rilavorazioni. Alcune delle attività critiche nel bilanciamento scelto sono state evidenziate durante la valutazione dei carichi di lavoro alle stazioni (esempio attività Predisposizione ruote della stazione 2). Obiettivo futuro sarà quello di tentare di ridurre i tempi delle attività critiche cercando soluzioni che prevedono l'acquisto dai fornitori di componenti predisposti al montaggio, senza subire lavorazioni in linea, o la lavorazione interna ma svolta dai reparti di supporto alla linea. Qualora sia possibile si potrebbe valutare la divisione delle attività critiche in diverse sotto-attività e decidere un diverso bilanciamento che ottimizzi gli indici di performance considerati in precedenza.

Bibliografia e sitografia

- [1] fabbisogni.isfol.it/dati/medio_termine/medioterminesettori_2016Italia/A01_agricoltura_2011-2016.pdf

- [2] www.agricolturanews.it/le-sostenibilita-delle-macchine-agricole-italiane

- [3] www.bertima.it/it/azienda.php

- [4] A model for measuring products assembly complexity - S.N. Samy and H. El Maraghy

- [5] Gestione delle operations e dei processi - Slack, Brandon-Jones, Johnston, Betts, Danese, Romano, Vinelli - Pearson Italia (2013) - Cap.4 Progettazione dei processi

- [6] Gestione delle operations e dei processi - Slack, Brandon-Jones, Johnston, Betts, Danese, Romano, Vinelli - Pearson Italia (2013) - Cap.2 Strategia delle operations

- [7] my.liuc.it/MatSup/2002/Y71015/parte2MIS.pdf

- [8] www.industriall-europe.eu/proj/ergonomics/ErgonomicsReport17-06-it.pdf

- [9] www.mirafiori-accordielotte.org/home2/tecniche-di-contrattazione-della-prestazione-di-lavoro/il-sistema-di-regole-vigente/le-metriche-esistenti-i-sistemi-cronometrici/
- [10] www.diegm.uniud.it/Sistemi_produttivi_job_shop
- [11] A multi-decision genetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems - ReaKook Hwang and Hiroshi Katayama
- [12] An evolutionary approach for product line adaptation - Songlin Chena, Shuli Wua, Xiaojin Zhanga and Hongyan Daib
- [13] Veronique Limère, Hendrik Van Landeghem, Marc Goetschalckx , ElHoussaine Aghezzaf & Leon F. McGinnis (2012) - Optimising part feeding in the automotive assembly industry: deciding between kitting and line stocking, International Journal of Production Research, 50:15, 4046-4060, DOI: 10.1080/00207543.2011.588625
- [14] Just in Sequence Delivery Improvement Based On Flexsim Simulation Experiment - Pawel Pawlewski, Karolina Rejmicz, Kamil Stasiak Michał Pieprz