



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

**Standardizzazione e Ottimizzazione di una linea di assemblaggio
Multimodel in ambito *Lean*: il caso Tecnica Group S.p.A.**

Relatore

Ch. Mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Nicola Carabellese 1183790

Correlatori

Ing. Piero Serena

Ing. Ivano Spadetto

Anno Accademico 2018/2019

*Alla mia famiglia, per avermi fatto arrivare fin qui,
senza mai farmi mancare nulla*

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori che mi hanno donato la possibilità di crescere e formarmi durante questo lungo percorso di studio, permettendomi di raggiungere questo ambito traguardo finale.

Un pensiero è anche per Beatrice, che è sempre stata al mio fianco durante questi anni universitari e che ha sempre trovato un modo per sostenermi.

Desidero ringraziare profondamente il Professore Roberto Panizzolo per avermi stimolato e fatto appassionare a tal punto da permettermi di realizzare questo percorso finale.

Ringrazio l'Ing. Piero Serena e l'Ing. Ivano Spadetto per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso all'interno di quella che per me è l'azienda dei sogni, e della disponibilità che mi hanno sempre dedicato in ogni momento.

Infine, sarò per sempre grato a Paolo e Liliana per avermi guidato nel corso di questo progetto e per la professionalità con cui mi hanno supportato.

Sommario

Questo scritto è rivolto all'esposizione del problema legato alla creazione e all'ottimizzazione di una linea di assemblaggio standard *multimodel* di scarponi da sci mediante i fondamenti del *Lean Thinking*, presso lo stabilimento ungherese di Tecnica Group S.p.A. di Giavera del Montello (Tv).

Il lavoro si apre con una panoramica generale sull'azienda e una presentazione teorica della letteratura e delle principali teorie coinvolte dall'argomento. In seguito, verranno illustrati il percorso svolto e le metodologie applicate per supportare quella che è la filosofia del *Continuous Improvement* sostenuta dall'azienda, nell'ottica di mantenere assiduamente un'elevata competitività nel mercato, a partire da un'ottimizzata gestione degli assets e delle risorse produttive.

L'obiettivo principale rincarso da questo progetto è la trasformazione di una linea di assemblaggio, passando da una logica di processo *push* a una di tipo *pull*, in prospettiva di aumentare l'*OEE* e il rendimento generale del reparto assemblaggio.

Il progetto è sostenuto da un ribilanciamento di una linea sperimentale, realizzato applicando le principali metodologie della produzione snella e confrontando diversi algoritmi. L'intervento è finalizzato alla creazione di una linea standard a più famiglie di prodotto e all'ottimizzazione dell'intera *Value Chain* coinvolta.

Il nuovo layout adottato in linea ha portato ad un significativo incremento degli indici di prestazione globali, nonché ad un impatto economico che, se esteso a tutto il reparto ed a eventuali nuove linee, risulta fondamentale per la crescita e il benessere dell'azienda.

Indice

Introduzione	1
1. Tecnica Group S.p.A.	3
1.1. La storia	3
1.2. Alcuni dati	5
1.3. Settore <i>Skiboot</i>	8
1.3.1. I reparti	11
1.3.2. L'assemblaggio	16
2. Linee di assemblaggio	19
2.1. Classificazione	19
2.2. Ergonomia del <i>workplace</i>	25
2.3. <i>Part Feeding</i>	29
3. <i>Lean Manufacturing</i>	35
3.1. I Principi applicativi	37
3.2. <i>House of Lean</i>	41
3.3. La <i>Lean</i> in Tecnica Group S.p.A.	45
3.3.1. Standardizzazione	46
3.3.2. <i>SMED</i>	47
4. OEE e Bilanciamento	51
4.1. OEE	51
4.2. Bilanciamento della linea	57
4.2.1. Operazioni preliminari	57
4.2.2. Classificazione del problema	59

4.2.3. Algoritmi di bilanciamento	63
4.2.3.1. <i>LCR-Largest Candidate Rule</i>	64
4.2.3.2. <i>RPW-Ranked Positional Weight</i>	65
4.2.3.3. <i>Patterson & Albracht</i>	65
4.2.3.4. Manuali	68
4.2.4. Indici di valutazione	68
4.3. Rendimento	70
5. Il caso aziendale	73
5.1. L'AS IS	73
5.2. Operazioni preliminari per la creazione di una linea standard	80
5.3. Presentazione algoritmi di bilanciamento	88
5.3.1. <i>LCR-Largest Candidate Rule</i>	90
5.3.2. <i>RPW-Ranked Positional Weight</i>	91
5.3.3. <i>Top-down</i>	93
5.3.4. <i>Bottom-up</i>	96
5.4. Layout	104
5.5. Soluzioni <i>SMED</i>	107
5.6. Soluzioni <i>Part Feeding</i>	111
6. Impatto economico	115
7. Conclusioni	121
8. Bibliografia e Sitografia	123
9. Allegati	127

Introduzione

Oggi, l'ottimizzazione e il continuo inseguimento del miglioramento sono tra le esigenze più forti a cui le aziende aspirano per mantenere e aumentare la competitività in un mercato globale, in cui l'enorme e sempre crescente complessità dei prodotti, l'offerta spietata della concorrenza e l'esigente domanda dei consumatori impongono alle aziende stesse l'obbligo di sviluppare e sostenere progetti volti allo sfruttamento ottimale di ogni risorsa coinvolta all'interno dell'intera *Value Chain*.

È proprio in tale contesto che si inserisce questo elaborato di tesi, che mi ha dato l'opportunità di applicare e sviluppare teorie legate al mondo manifatturiero apprese nel corso dei miei studi universitari. In particolare quelle legate al mondo della produzione e della sua gestione che, in una realtà già affermata nel mondo dello sport e in continua crescita come quella di Tecnica Group S.p.A., hanno trovato una reale applicazione all'interno della filosofia *Lean* che ormai da decenni sta guidando i principali contesti industriali mondiali.

Il progetto nasce dalla necessità dell'azienda di aggiornare l'attuale situazione del reparto di assemblaggio di scarponi da sci presso lo stabilimento ungherese di Nagykovács, con l'obiettivo ultimo di aumentare l'OEE e gli indici di prestazione delle linee (*multimodel*), nonché gli aspetti economici ad essi collegati. Per fare ciò è stata analizzata una linea preesistente e adottata come sperimentale, andando ad intervenire sul bilanciamento delle singole stazioni con lo scopo di generare un layout standard, in grado di ospitare l'assemblaggio di modelli appartenenti a più famiglie di prodotto, e valutare l'eventuale estendibilità a tutto il reparto. Sono stati utilizzati approcci e algoritmi sia accademici sia manuali, per

risolvere l'*Assembly Line Balacing Problem*, ed è stato affrontato anche un insieme di fattori come ergonomia, *material handling* e *part feeding*, il tutto coordinato dai principi fondamentali della *Lean Manufacturing*.

La struttura dell'elaborato è suddivisa in quattro macro-sezioni.

Nella prima è presentata l'azienda nella sua globalità: la storia aziendale, il *core business* e i prodotti realizzati, con un approfondimento sul mondo dello *skiboot* e con una veloce illustrazione dello stabilimento di produzione ungherese.

Nella seconda sezione è presente un'introduzione teorica alla letteratura degli argomenti affrontati nel corso del progetto e sono delineati gli strumenti utilizzati per sostenerlo.

Il terzo macro-capitolo è il cuore di tutto il progetto, dove vengono espone la situazione generale del reparto, le scelte operative utilizzate, le attività implementate e i confronti con la realtà attuale.

Infine, nella sezione conclusiva vengono esposti i principali risultati ottenuti, da un punto di vista sia tecnico-produttivo sia economico, andando ad evidenziare quelli che sono i vantaggi e i miglioramenti che un'analisi di questo tipo può apportare all'intero processo produttivo.

Un progetto di questo tipo mi ha permesso di analizzare e valutare concretamente quelli che sono i benefici e le potenzialità dell'ottimizzazione dei processi nel momento in cui vengono pienamente compresi e diffusi come cultura base all'interno dell'intera realtà aziendale.

1. Tecnica Group S.p.A.

Nel seguente capitolo viene riportata una breve presentazione dell'azienda TECNICA GROUP S.p.A. sede del progetto descritto.

Nella prima sezione viene descritta l'azienda, la storia e i principali prodotti realizzati.

Segue un approfondimento sul mondo *Skiboot* e sullo stabilimento ungherese, oggetto dell'analisi in questione.

1.1. La storia

Tecnica Group è un produttore leader di abbigliamento sportivo nel mercato delle calzature e delle attrezzature per gli sport invernali e possiede alcuni marchi storici e noti: *Tecnica* (scarponi da sci e calzature), *Nordica* (sci e scarponi), *Moon Boot*® (calzature), *Lowa* (scarponcini da trekking e abbigliamento da esterno), *Blizzard* (sci) e *Rollerblade*® (pattini in linea).



Fig. 1.1.1 Logo di Tecnica Group S.p.A.

Nel 1930 Oreste Zanatta fondò un piccolo negozio dedicato alla produzione di stivali da lavoro che, grazie al figlio Giancarlo Zanatta, divenne ufficialmente nel 1960 il *Calzaturificio Tecnica S.p.A.* Nel corso dei dieci anni successivi, *Tecnica* ha ampliato la propria attività, producendo

scarponi da sci e creando il primo Moon Boot®, diventato un'icona del XX secolo, con oltre 25 milioni di paia vendute. Nel 1970 *Tecnica* presenta *Tecnus* (Fig. 1.1.2), il primo skiboot realizzato con la tecnologia della bi-iniezione.



Fig. 1.1.2 Lo scarpone TECNUS

Nel 1985 *Tecnica* è entrata nel mercato delle calzature outdoor, diventando presto uno dei suoi principali attori, anche attraverso l'acquisto, nel 1993, di *Lowa*, marchio leader in Germania e in tutta Europa. Nel 2002, l'acquisizione di un'altra marca di attrezzatura sportiva invernale, *Nordica*, ha reso *Tecnica Group* il primo produttore mondiale di scarponi da sci. Nel 2003 la gamma di prodotti è stata ampliata con l'arrivo di *Rollerblade*, il primo produttore al mondo di pattini *inline* e il marchio leader del settore (abbastanza per dare il nome a un intero sport). L'ultimo arrivato nel 2006 è il marchio austriaco *Blizzard* - un marchio storico nel mondo dello sci - che ha rafforzato la leadership internazionale di *Tecnica Group* nel settore. Il presidente del gruppo è Alberto Zanatta, figlio del fondatore Giancarlo, che è ancora membro del consiglio di amministrazione.



Fig. 1.1.3 L'Headquarter di Tecnica Group di Gavereto del Montello (Tv)

1.2. Alcuni dati



Fig. 1.2.1 Il fatturato di Tecnica Group S.p.A. per l'anno 2018. La previsione è di crescita oltre i 400 milioni di euro



BLIZZARD

LOWA
simply more...

MOON BOOT
the Original

NORDICA

Rollerblade

TECNICA

Product categories

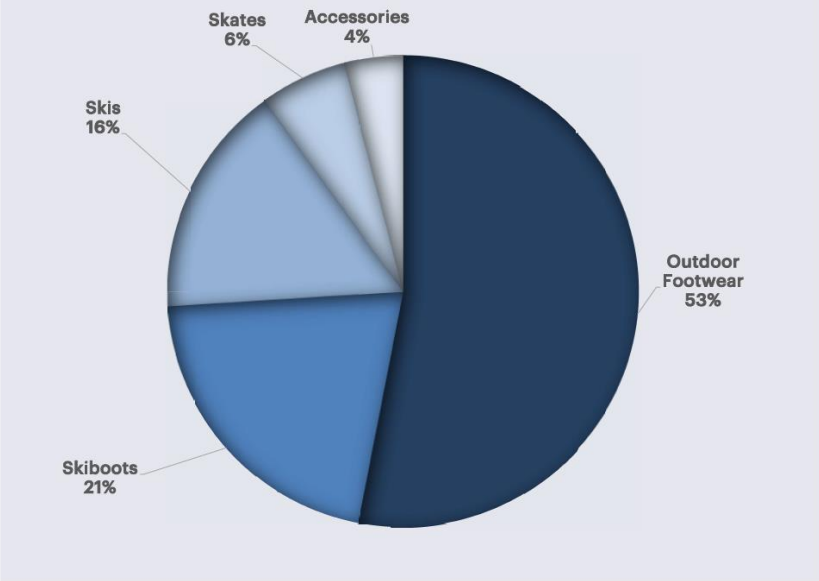


Fig. 1.2.2. Suddivisione del fatturato in base alle Product Categories



BLIZZARD

LOWA
simply more...

MOON BOOT
the Original

NORDICA

Rollerblade

TECNICA

Brands

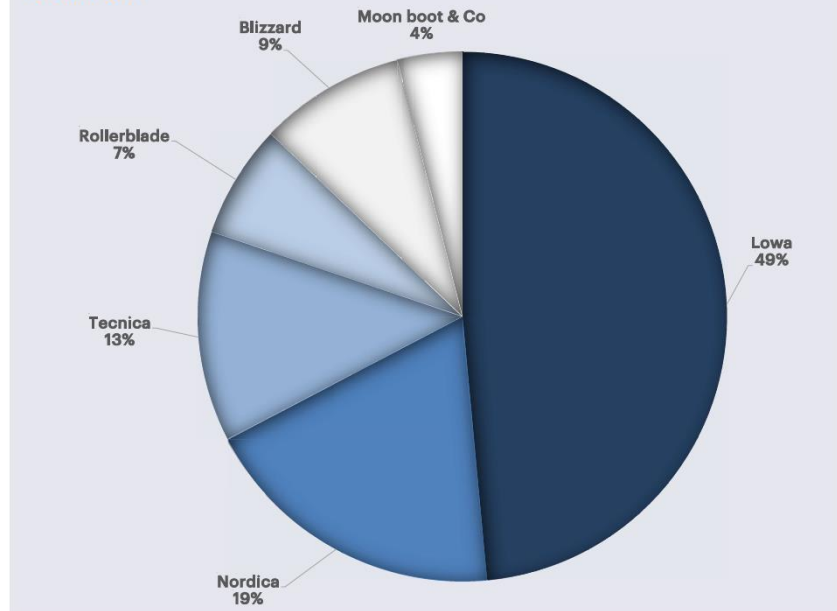


Fig. 1.2.3 Partecipazione percentuale di ogni brand



BLIZZARD

LOWA
simply more...

MOON BOOT
the Original

NORDICA

Rollerblade

TECNICA

Geographic areas

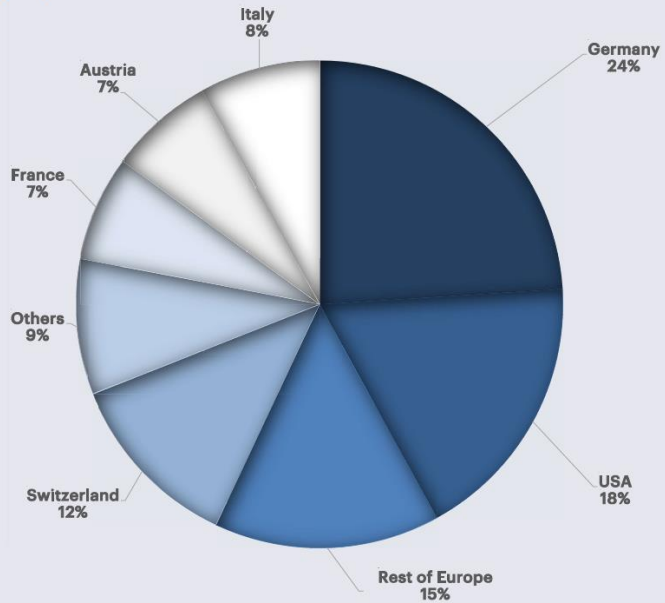


Fig. 1.2.4 Aree geografiche di interesse



BLIZZARD

LOWA
simply more...

MOON BOOT
the Original

NORDICA

Rollerblade

TECNICA

Sales & Production Network

Tecnica Group Production Sites

- Italy
- Austria
- Germany
- Hungary
- Ukraine
- Romania
- Slovakia
- China
- Vietnam
- Thailand

Tecnica Group Subsidiaries

- Canada
- China
- Japan
- France
- Switzerland
- USA

Tecnica Group Direct Agencies

- Austria
- Germany
- Italy

Fig. 1.2.5 La rete di produzione e vendita di Tecnica Group S.p.A.



Fig. 1.2.6 Descrizione della struttura aziendale

1.3. Settore *Skiboot*

Il mondo *Skiboot* costituisce per l'azienda un'area fondamentale che sviluppa il 21% del fatturato annuo, trainato dai brand *Tecnica*, *Nordica* e *Wedze* (Decathlon). Insieme rappresentano il primo produttore mondiale di scarponi da sci e proprio nel 2019 è stato raggiunto l'obiettivo di 800.000 paia di scarponi prodotte all'anno, con l'intenzione di estenderlo a 1.000.000 nel corso degli anni venturi.

In tabella Tab. 1.3.1 vengono riportate le famiglie di scarponi prodotti da Tecnica Group S.p.A. in modo da dare al lettore una panoramica sulla complessità operativa che coinvolge il settore. Si riportano inoltre due

modelli rappresentativi delle famiglie *Merak* e *Matar* che saranno oggetto di analisi durante questo progetto.

Famiglia	Brand
TNG Tecnica	T E C N I C A
Matar	
Mizar	
Mizar W	
Cochise	
Zero	
Bull Rider	
Merak	
Major	
Ray	
Mega	
Junior Tecnica	
Game Tecnica	
Wedze	WEDZE
TNG Com	N O R D I C A
GP Pro	
Kendo	
Keid (Streider)	
Keid	
Kuma	
Kajam	
Junior NT	
Game	
Kappa (Jr)	
Piave/Sile	
Kepler	



Tab. 1.3.1 Le famiglie di scarponi di Tecnica Group S.p.A. (a sinistra)

Fig. 1.3.1 Modello della famiglia Merak MACH1 120 HV (in alto a destra)

Fig. 1.3.2 Modello della famiglia Matar MACH SPORT 85 LV W (in basso a destra)

Le parti principali dello scarpone sono tre:

- *Scafo* e *gambetto* (Fig. 1.3.3), che vanno a costituire una volta assemblati lo *shell* dello scarpone stesso; entrambi sono realizzati con macchinari di stampaggio a iniezione, il materiale può essere poliuretano *PU* o *Mafran* a seconda del modello ed esiste la possibilità di produrli mono o bicolore



Fig. 1.3.3 Scafo e gambetto del modello Tecnica MACHI 130 LV

- *Scarpetta* (Fig. 1.3.4), è l'elemento responsabile del collegamento tra il piede o lo scarpone vero e proprio ed è costituito da un insieme di inserti (tomaie in PVC, fodere in velluti sintetici con aggiunta di imbottiture e altri componenti in polietilene espanso) realizzati tramite orlatura



Fig. 1.3.4 Scarpetta del modello Nordica DOBERMANN GP 130

Le sedi produttive sono situate, in parte, presso l'headquarter di Giavera del Montello (Tv) e in predominanza presso lo stabilimento ungherese di Nagyálló. Oltre a queste sedi, l'azienda si affida anche a laboratori esterni (per lo più all'estero) sia per produrre parte dei componenti principali dello scarpone (es. orlatura scarpette, realizzata quasi esclusivamente all'esterno) sia per le fasi di assemblaggio finale.

1.3.1. I reparti

La produzione di tutto il mondo Skiboot è realizzata tramite un'organizzazione a *job-shop* o reparti, in cui ogni tipo di particolare ha un ciclo di produzione diverso dagli altri e i reparti sono caratterizzati dalla presenza di un insieme di macchinari omogenei per tipo di lavorazione. Alla base di questa modalità operativa è presente la logica di produzione a lotti, connessa sia al contenimento dei costi fissi sia quelli di attrezzaggio; al termine di un'operazione, l'intero lotto viene movimentato verso il reparto successivo e l'intero sistema è perciò caratterizzato da una sostanziosa presenza di semilavorati (*WIP, work-in-progress*) in attesa di lavorazione (De Toni, Panizzolo, 2018)¹. La movimentazione è eseguita principalmente attraverso delle gabbie come quella riportata in Fig. 1.3.1.1.

¹ De Toni A., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di Gestione della Produzione*, De Agostini Scuola S.p.A., Novara



Fig. 1.3.1.1 WIP: scafi in attesa di essere movimentati verso il reparto successivo

Nel caso dello stabilimento ungherese di Tecnica Group S.p.A. i reparti principali sono 5 e possono essere individuati nel layout generale allegato (Allegato1):

- *Taglio*, in cui vengono realizzati i semilavorati destinati alle scarpette, a partire da rotoli di materiale sintetico e grazie a una serie di fustellatrici sia automatiche sia manuali come illustrato in Fig. 1.3.1.2. Nello stesso reparto è presente il magazzino dei materiali destinati al taglio e delle fustelle relative a ogni singolo modello prodotto. Inoltre, vengono utilizzati altri macchinari, come una pressa a tavola rotante, adibita alla produzione di piccoli componenti quali il *sottosuola* della scarpetta.



Fig. 1.3.1.2 Una fustellatrice automatica in azione

- *Stamperia*, dove nascono scafi e gambetti a partire da miscele di materiali plastici, attraverso l'utilizzo di macchinari di stampaggio a iniezione, 9 bicolore e 6 monocolori, come mostrato in Fig. 1.3.1.3 e Fig. 1.3.1.4. Insieme ai macchinari è predisposto il magazzino per stampi e plastici, oltre ad un'area destinata a officina stampi.



Fig. 1.3.1.3 Macchinario di stampaggio a iniezione monocolore con modello di riferimento (a sinistra)

Fig. 1.3.1.4 Operatore intento ad estrarre uno scafo da un macchinario bicolore (a destra)

- *Tampografia*, responsabile dell'applicazione sullo shell dello scarpone di tutte le grafiche che non siano realizzate tramite adesivi o decalcomanie in fase di assemblaggio. Il reparto è costituito da un totale di 4 linee in parallelo, dotate di macchine tampografiche che, attraverso una serie di tamponi specifici per ogni grafica vanno a imprimere uno strato di vernici opportunamente miscelate (Fig. 1.3.1.5). Una volta eseguita l'operazione il componente prosegue all'interno di forni dedicati, adibiti alla completa asciugatura delle grafiche.

- *Avvitatura*, è l'ultimo reparto inserito dall'azienda e grazie a due avvitatrici automatiche a tavola rotante (Fig. 1.3.1.6), permette l'applicazione dei *salvapunta* e *salvatacco* a quasi tutti gli scafi, fatta eccezione per alcuni modelli in cui l'operazione è eseguita manualmente durante l'assemblaggio.

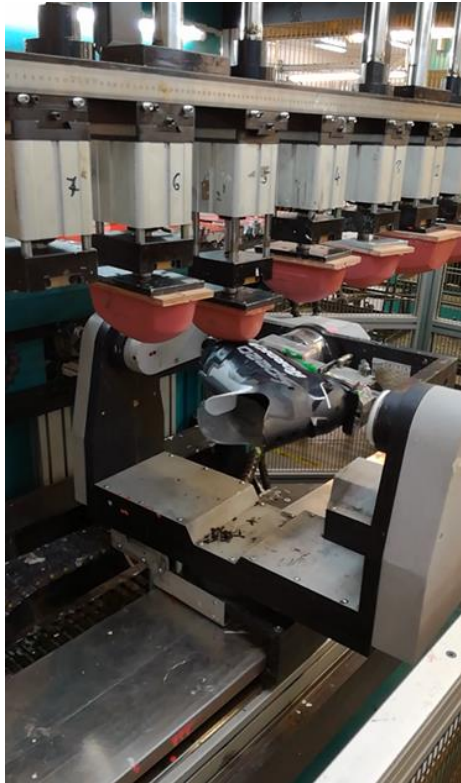


Fig. 1.3.1.5 Un tampone in azione su un modello Nordica (a sinistra)

Fig. 1.3.1.6 Applicazione dei salvapunta su un modello Nordica (a destra)

- *Assemblaggio*, reparto oggetto del progetto, sarà sviluppato in maggior dettaglio nel *paragrafo 1.3.2* che segue.

1.3.2. L'assemblaggio

Il reparto destinato all'assemblaggio finale degli scarponi è costituito da 4 linee *MULTIMODEL*, ciascuna dotata di un numero di postazioni che varia tra 15 e 18, visibili nel layout globale dell'impianto (Allegato 1). L'assemblaggio, per esigenze dettate dalla natura del prodotto, è completamente manuale e le linee presentano un layout a sviluppo rettilineo con due percorsi paralleli di andata e ritorno (come mostrato in Fig. 1.3.2.1) a cadenza imposta (*paced line*).

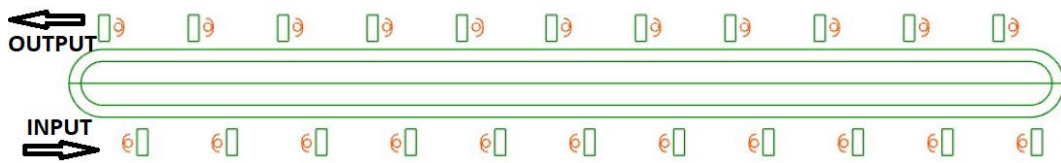


Fig. 1.3.2.1 Linea tipo presente nel reparto di assemblaggio dello stabilimento ungherese

La movimentazione dell'assemblato da una stazione all'altra è eseguita automaticamente dal sistema meccanico della manovia e l'alimentazione avviene tramite transpallet, sia per quanto riguarda le gabbie contenenti le parti più ingombranti sia per la minuteria (rivetti, viti, borchie, leve, rastrelliere, ecc.), direttamente dal magazzino principale adiacente al reparto.

Le principali operazioni previste dal ciclo di assemblaggio sono:

- *Fresatura* per rimuovere bave residue dalle fasi di stampaggio da scafi e gambetti (sono necessarie due frese, posizionate in due stazioni differenti)

- *Marcatura* e applicazione di *decalcomanie* e *adesivi* (necessità di applicare le decalcomanie in un'unica stazione a causa dei solventi utilizzati che devono essere aspirati da un'apposita cappa aspirante)
- Inserimento di *paracqua* (per prevenire la penetrazione dell'acqua) e *zeppa* sullo scafo
- *Foratura* degli scafi e *rivettatura* delle rastrelliere
- *Rivettatura/avvitatura* delle leve e rastrelliere al gambetto
- Applicazione di eventuali *meccanismi* su modelli specifici
- *Borchiatura* del gambetto allo scafo per la creazione dello shell esterno
- Inserimento della *scarpetta* all'interno dello shell e *chiusura* delle leve
- *Controllo-pulizia, packaging* e *carico* su pallet

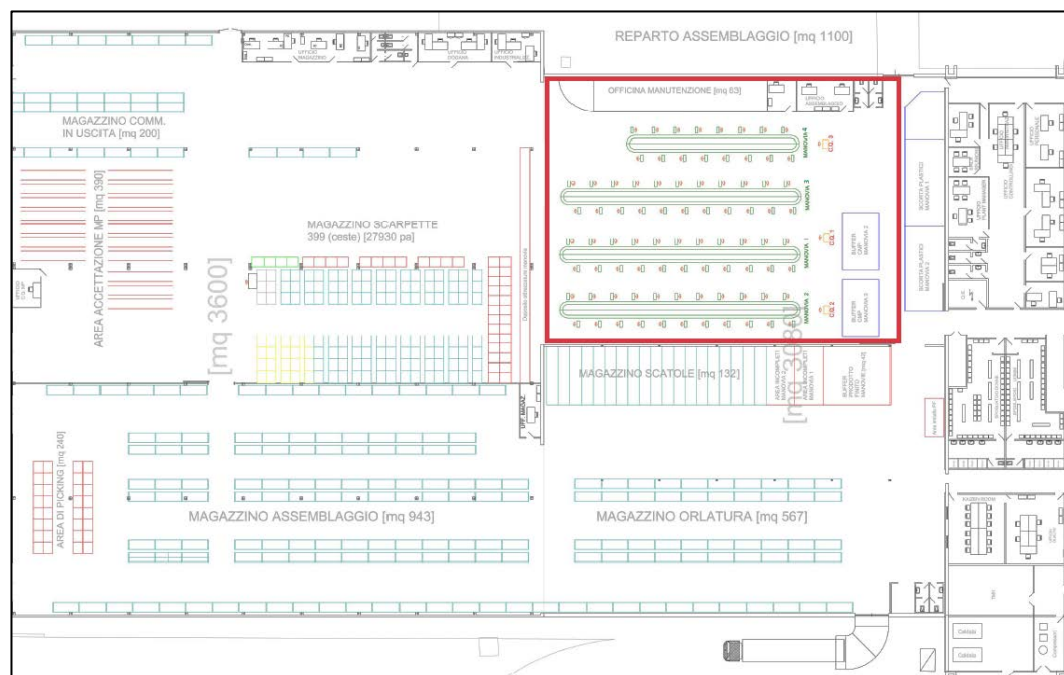


Fig. 1.3.2.2 Il reparto d'assemblaggio, evidenziate in rosso ci sono le 4 linee

Il progetto si inserisce in una realtà in cui la problematica principale è quella della mancata ottimizzazione della fase di assegnazione delle attività

che ha influenza, non tanto in termini di massimo output (paia/giorno) e quindi di Takt Time, bensì sullo sfruttamento delle risorse utilizzate in fase di produzione: operatori “oziosi” a causa di bilanciamenti non corretti, flussi di materiale e movimentazione completamente senza valore aggiunto, mancanza del concetto di *One Piece Flow* (Ōhno, 1978)², con conseguente riduzione del rendimento globale del reparto e notevole perdita economica per l’azienda. A cui si aggiunge una mancata filosofia industriale volta al miglioramento continuo (Liker, 2016)³ che vada ad intervenire su tematiche come l’attrezzaggio e il fermo linea in generale. Il tutto debilitato ulteriormente dalla questione dell’assenteismo (piaga importante della realtà industriale ungherese), che consente l’utilizzo a pieno ritmo di soltanto 2-3 linee con conseguenti problematiche di output, qualità del prodotto finito e training degli operatori.

² Ōhno T., 1978, *Lo Spirito Toyota*, Einaudi Editore

³ Liker J., Convis G., 2016, *Toyota Way per la Lean Leadership*, Hoepli

2. Linee di assemblaggio

Nel seguente capitolo viene esposta un'introduzione alle linee di assemblaggio e proposta una modalità di classificazione.

Segue una breve trattazione su tematiche annesse come l'*ergonomia* e il *part feeding*.

2.1. La classificazione

Una linea di assemblaggio è un insieme di stazioni di lavoro responsabile della fabbricazione di un prodotto finito *FAS* (Final Assembly Schedule) a partire dall'unione di diversi semilavorati, mentre si sposta in successione da una postazione alla successiva fino al completamento di tutte le operazioni (*task*) prescritte da un corrispettivo ciclo di assemblaggio o delle precedenze (Hamza, Al-Manaa, 2013)⁴. La gestione dei semilavorati e dei *task* è controllata a monte dalle distinte base e dall'archivio cicli di ogni singolo *codice* e, per questo, è necessario un loro continuo e corretto aggiornamento.

⁴ Hamza R. M. A., Al-Manaa J. Y., 2103, Selection of Balancing Method for Manual Assembly Line of Two Stages Gearbox, *Global Perspectives on Engineering Management*, vol. 2, n. 2, pp.70-81

Esistono molteplici modalità per classificare le linee di assemblaggio. Di seguito è proposta quella secondo il Prof. Sgarbossa F. (2018)⁵, in funzione di:

- Trasferimento Pezzi
- Cadenza
- Layout
- Grado di automazione

I componenti possono essere movimentati tra una stazione e l'altra per via manuale, grazie ad un operatore addetto al prelievo da un'area di *buffer* (polmone di disaccoppiamento), o automatica attraverso mezzi più o meno flessibili. È importante far notare che il *picking* (prelievo) e *material handling* (movimentazione) sono attività a *non valore aggiunto* per definizione ed è quindi necessario cercare di minimizzarle, già a partire da una corretta progettazione del layout, nonché con una corretta assegnazione dei task.

I sistemi possono essere a cadenza imposta (*paced*), con un avanzamento continuo o a scatto in funzione di un ritmo imposto dal Takt Time (che diventa il tempo massimo di lavorazione), oppure *unpaced*, in cui la linea lavora mediamente in un intorno del tempo ciclo ma con le singole postazioni che possono eccedere momentaneamente tale valore. Nella prima situazione (caso della linea sperimentale) è fondamentale la presenza di buffer che consentano un certo disaccoppiamento tra le stazioni.

A seconda di come vengono disposte le postazioni di lavoro, si possono distinguere:

⁵ Sgarbossa F., 2018, *Dispense del corso Impianti Industriali*, Università degli studi di Padova, A.A. 2017/2018,

- Layout a quadrilatero (Fig. 2.1.1)

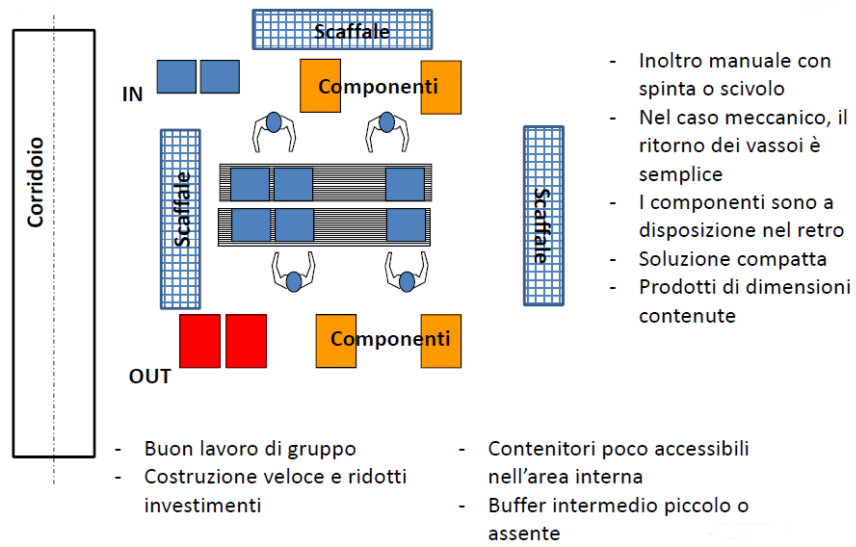


Fig. 2.1.1 Esempio di layout a quadrilatero

- Layout a "U" (Fig. 2.1.2)

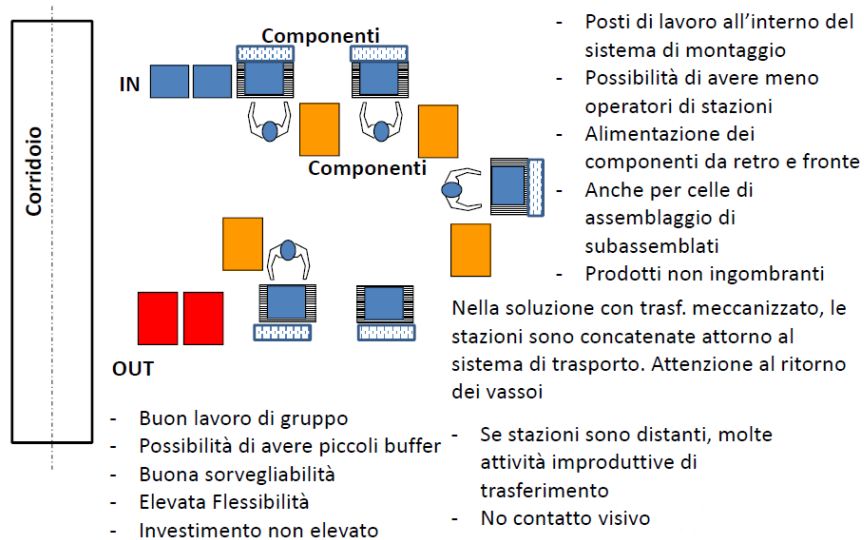
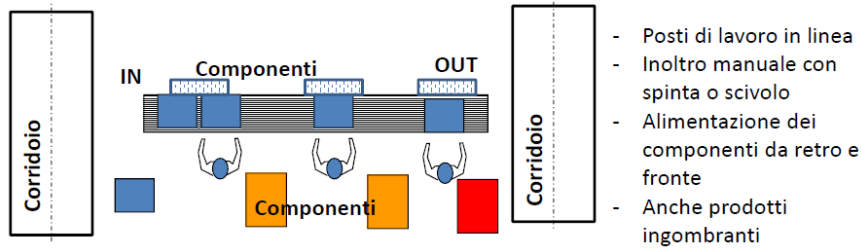


Fig. 2.1.2 Esempio di layout a "U", variante della linea sperimentale

- Layout lineare (Fig. 2.1.3)



Nella soluzione con trasf. meccanizzato, le stazioni sono concatenate attorno al sistema di trasporto. Attenzione al ritorno dei vassoi, sotto il sistema di trasporto principale o a fianco

Ci possono essere stazioni in parallelo o linee in parallelo.

- Funzionamento in tiro
- Evidenza delle inefficienze e colli di bottiglia
- Costi ridotti
- Ridotto lavoro di gruppo
- Poca comunicazione
- Poco scambio di posto

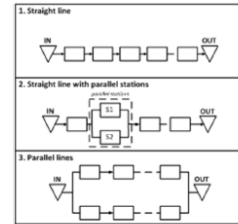


Fig. 2.1.3 Esempio di layout lineare

- Speciali (Fig. 2.1.4)

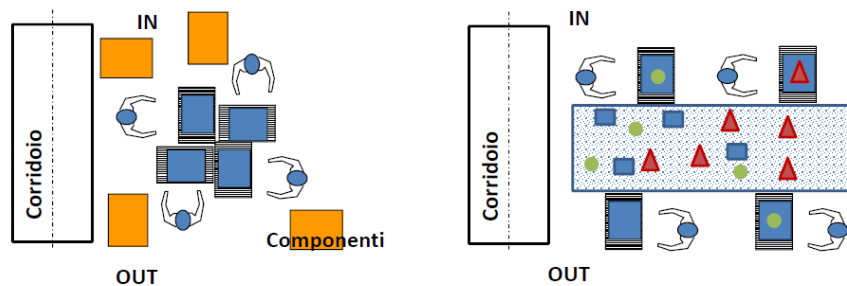


Fig. 2.1.4 Layout a "croce" (a sinistra) e con deposito tampone centrale (a destra), raramente utilizzati

L'ultima suddivisione è data dal grado di automazione che, come mostrato in Fig. 2.1.5, è funzione di una combinazione di fattori quali la dimensione del lotto di produzione, il numero di componenti e i volumi di produzione.

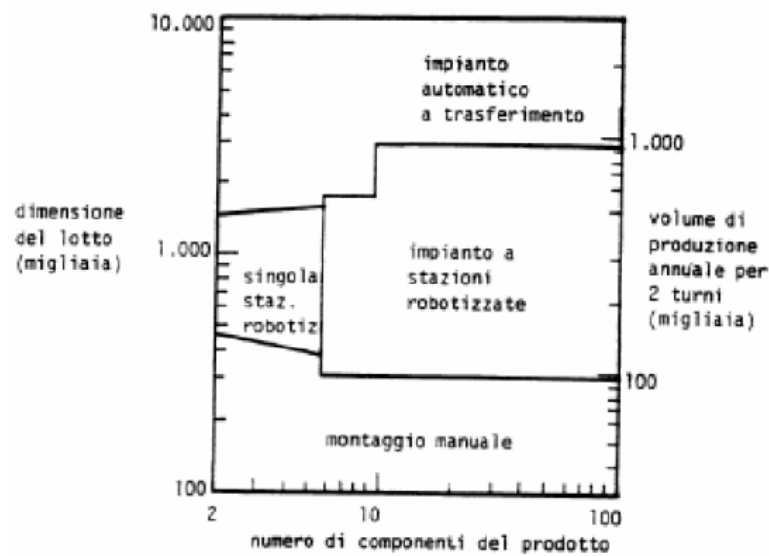


Fig. 2.1.5 Tratto da: Pareschi, Persona, Ferrari, Regattieri, 2009 - *Logistica Integrata e Flessibile* - Ed. Esculapio – cap.6

In generale, una linea d'assemblaggio è costituita dall'attrezzatura di sostegno del pezzo, dal sistema di movimentazione, da quello di alimentazione, dalle singole stazioni di lavoro e da quelle di collaudo che, nel caso di sistemi *FAS* (Flexible Assembly System), vengono gestite da elementi automatici o robotizzati.

Un'ulteriore suddivisione da un punto di vista pianificativo-produttivo è data dal *mix di assemblaggio*, introducendo il concetto di linee *monoprodotto*, *multi-model* e *mixed-model* (Fig. 2.1.6).

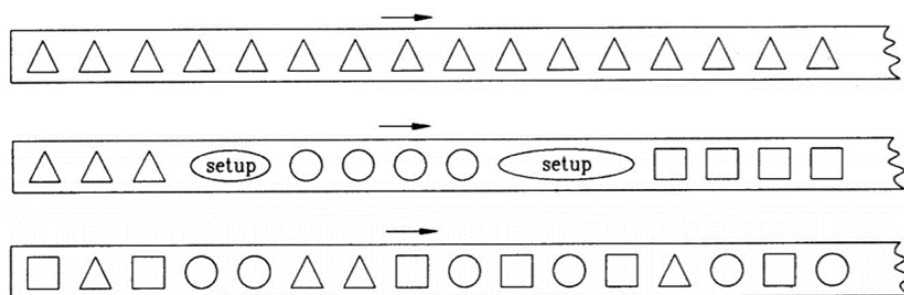


Fig. 2.1.6 Linea monoprodotto (in alto), multi-model (in centro), mixed-model (in basso)

Le linee *monoprodotto*, tipiche delle grandi industrie di *processo*, vanno a favorire quella che è l'efficienza legata alla ripetitività delle operazioni e garantiscono un'alta continuità del flusso produttivo, sia in termini di output sia nel corso del tempo.

Nel caso *multi-model*, come quello di Tecnica Group, la dimensione dei lotti rimane rilevante, così come il WIP (Little, 1961)⁶, ed è soprattutto legata alla problematica di contenimento dei costi di attrezzaggio (Fig. 2.1.7). Set-up che risulta fondamentale nel momento di cambio modello e che diventa fonte di analisi e intervento per ridurre i tempi di fermo linea e i costi associati, anche attraverso strumenti come lo *SMED*, *Single Minute Exchange of Die* (Shingō, 1985)⁷.

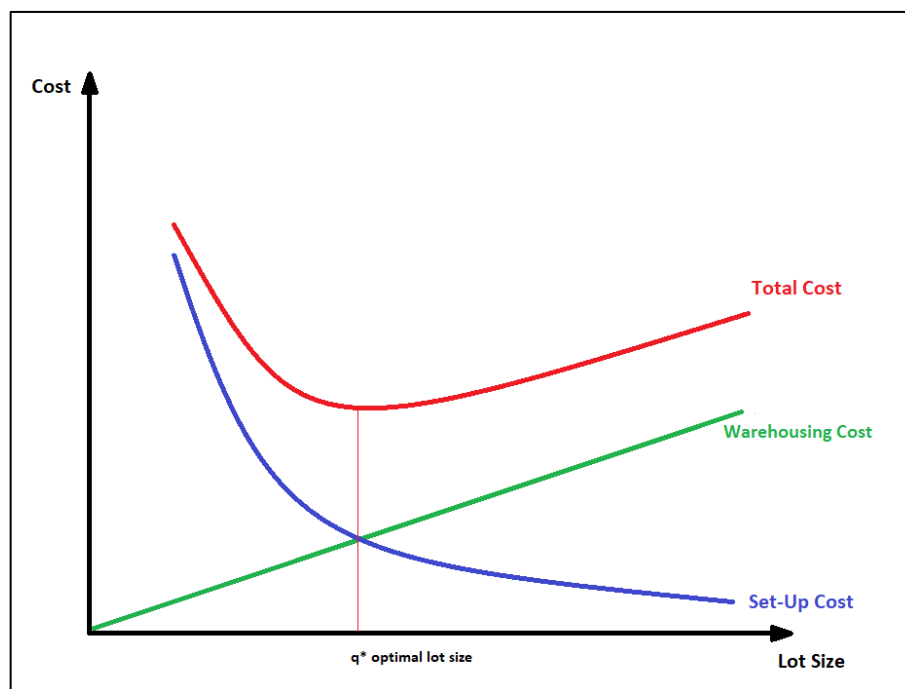


Fig. 2.1.7 Curva dei costi in riferimento all'attrezzaggio

⁶ Little J. D. C., 1961, A Proof of the Queueing Formula $L = \lambda W$, *Operations Research*, vol. 9, pp. 383-387

⁷ Shingō S., 1985, *Gli elementi all'origine del pensiero del Single Minute Exchange of Die: una rivoluzione nei tempi di cambio lavoro*, JMA, Tokyo

Alla base delle linee *mixed-model* è presente la logica del *lot-splitting* e del contenimento della dimensione del lotto produttivo con l'intento di implementare un sistema più flessibile e reattivo alle richieste del mercato, ma ancora più sensibile alla questione dell'attrezzaggio. Questo è il concetto fondante della Lean Manufacturing (che verrà trattata nel corso del cap. 3) e che consente di mettere in *pull* l'intero sistema, di ridurre il WIP e il *Lead Time* andando verso quella che è la pura produzione a flusso (Öhno, 2016)⁸.

2.2. Ergonomia del *workplace*

“L'ergonomia è la disciplina scientifica che si occupa della comprensione delle interazioni tra l'uomo e gli altri elementi di un sistema ed è la professione che applica teoria, principi, dati e metodi per progettare al fine di ottimizzare il benessere umano e le prestazioni complessive del sistema stesso” (IEA, International Ergonomics Association)⁹.



Fig. 2.2.1 I benefici dell'ergonomia, tratto da www.iea.cc

⁸ T. Öhno, 2016, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press

⁹ www.iea.cc

Nei moderni sistemi industriali, la progettazione, lo sviluppo e il bilanciamento di nuove linee hanno assunto una notevole complessità e l'esigenza dell'ottimizzazione delle risorse produttive, soprattutto se ad alto valore aggiunto come il caso dell'assemblaggio manuale, ha portato ad un radicale cambiamento nell'approccio adottato per implementare realtà che soddisfino tutti i requisiti richieste dalle aziende (Dolgui, Proth 2010)¹⁰.

Uno dei paradigmi sostenuti per affrontare il problema è l'uso mirato dello studio ergonomico legato al *workplace*. È ormai noto come l'utilizzo di un approccio ergonomico, soprattutto nello studio di casi con bassa presenza di strumenti automatizzati, alta ripetitività delle operazioni, stress fisico e presenza di posture scomode, può portare nel lungo periodo ad un incremento delle prestazioni globali delle realtà interessate (Battini, Persona, Sgarbossa 2014)¹¹. L'inclusione di valutazioni ergonomiche nelle operazioni manuali è un approccio vantaggioso sia per l'azienda (da un punto di vista economico) sia per gli operatori, grazie all'interazione tra produttività, efficienza del movimento e sicurezza operativa.

Di seguito è riportato un confronto tra l'approccio cosiddetto tradizionale e quello ergonomico (Fig. 2.2.2) e quella che è la procedura integrata da utilizzare per un corretto sviluppo di nuove ambienti di lavoro (Fig. 2.2.3)¹².

¹⁰ Dolgui A., Proth J. M., 2010. *Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques*, Springer, London

¹¹ Battini D., Persona A., Sgarbossa F., 2014, Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management, *Computers Industrial Engineering*, vol. 77, pp. 1–10

¹² Battini D., Faccio M., Persona A., Sgarbossa F., 2011, New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.41, n.1, pp. 30–42

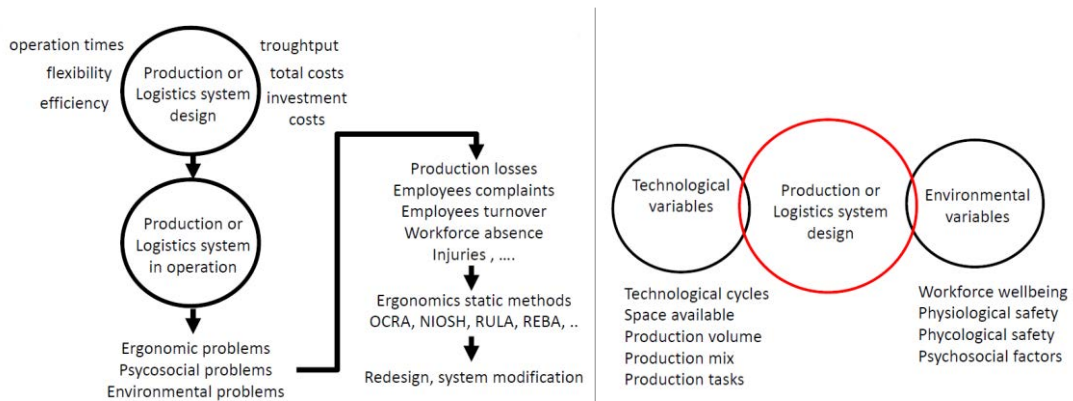


Fig. 2.2.2 L'approccio classico (a sinistra) e quello ergonomico (a destra)

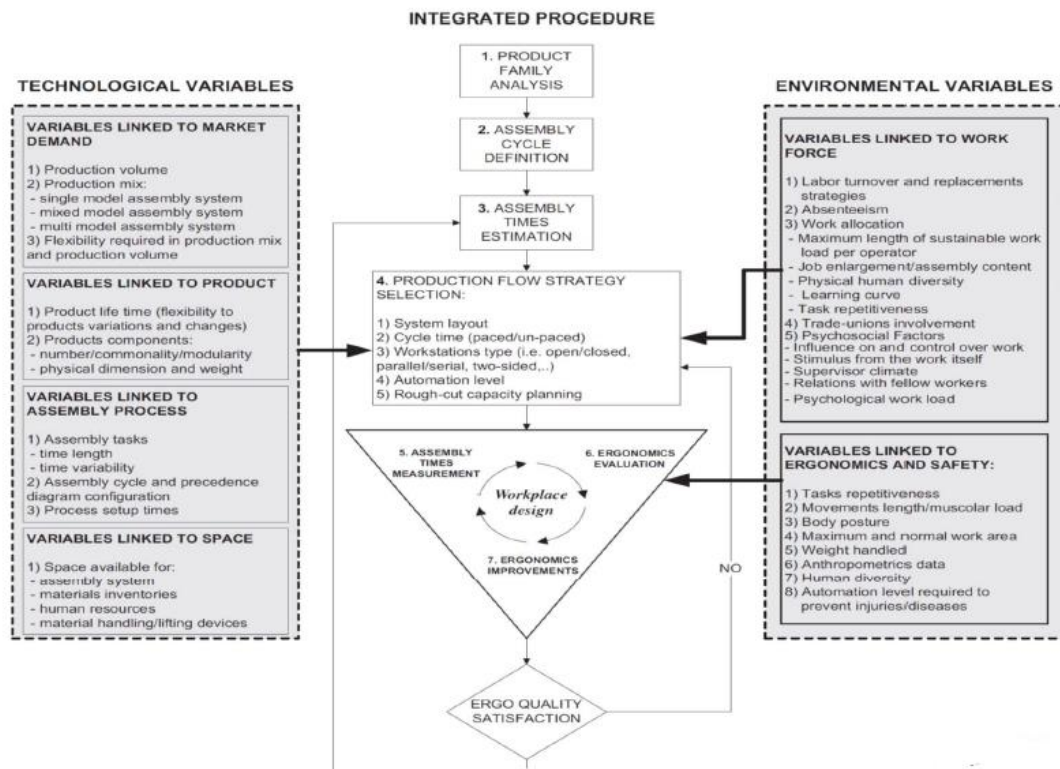


Fig. 2.2.3 La sezione ergonomica del workflow proposto da D.Battini, M. Faccio, A. Persona, F. Sgarbossa

In fase di analisi del *workplace* è importante tenere in considerazione alcuni principi base, ormai riconosciuti a livello globale e previsti anche dal

decreto legislativo D. Lgs. 81 9/04/2008¹³ e dalla norma UNI ISO11228-1/2/3¹⁴:

- Considerazione delle stature degli operatori (Allegato 2, *Body and working height*)
- Controllare la grandezza del campo di presa (Allegato 3, *Reach zone*)
- Ottimizzare la disposizione dei pezzi e il flusso del materiale (Allegato 4, *Parts presentation*)
- Evitare situazioni lavorative poste al di sopra dell'altezza del cuore (Allegato 5, *Working area*)
- Fare attenzione ai campi visivi (Allegato 6, *Range of vision*)
- Adattare l'intensità luminosa al task da eseguire (Allegato 7, *Illumination*)
- Permettere una corretta regolazione dei mezzi di lavoro (Allegato 8, *Adjustement of work equipment*)

A cui si aggiungono altre considerazioni fondamentali per il completo ottenimento dei risultati desiderati:

- Attenzione nel capitale umano
- Automazione
- Formazione e *training* degli operatori nell'utilizzo di soluzioni ergonomiche
- *Tool* di supporto agli operatori che permettano di adattare le caratteristiche delle macchine alle esigenze del corpo umano

¹³ D. Lgs. 9 aprile, 2008, n. 81, *Movimentazione Manuale dei Carichi*, Allegato XXXIII

¹⁴ UNI ISO 11228, 2009, *Ergonomia- movimentazione manuale*, parti 1-2-3

La letteratura offre inoltre degli strumenti pratici per la valutazione degli aspetti ergonomici degli ambienti lavorativi; i principali metodi sono suddivisi in *autovalutazionali* (Scale di Borg), *osservazionali* (OWASA, OCRA, RULA, REBA), *simulativi*, *diretti* (attraverso sensori elettromiografici EMG, PMES-Performance Monitoring and Evaluation System, valutazione del consumo di ossigeno) e *innovativi* (Motion Capture, telecamere 3D).

2.3. Part feeding

Un aspetto fondamentale per le linee di assemblaggio è la modalità con cui esse vengono alimentate e rifornite di componenti. Tale tematica è conosciuta con il termine di *part feeding*.

Il *part feeding system* si inserisce nel mondo della logistica interna di un'azienda, in particolare fa riferimento alla *In-house logistics* come rappresentato in Fig. 3.3.1¹⁵ ed è articolato in tre sottoinsiemi (Fig. 2.3.2)

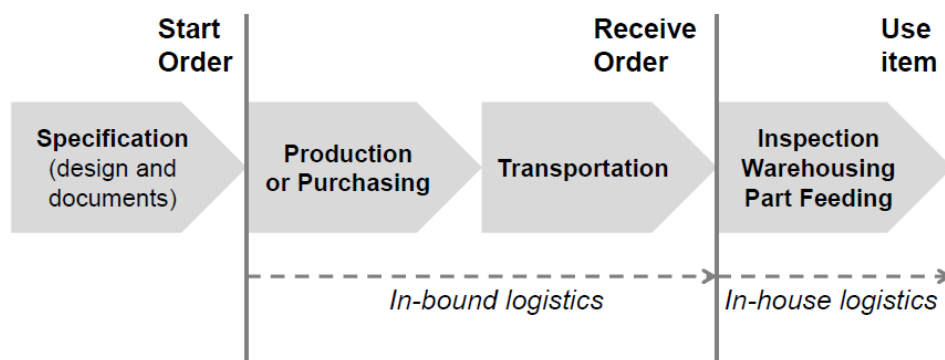


Fig. 2.3.1 Il ciclo In-bound/In-house logistics

¹⁵ Le immagini del seguente paragrafo sono tratte da: Battini D., 2018, *Dispense del corso Logistica Industriale*, Università degli Studi di Padova, A.A. 2018/2019

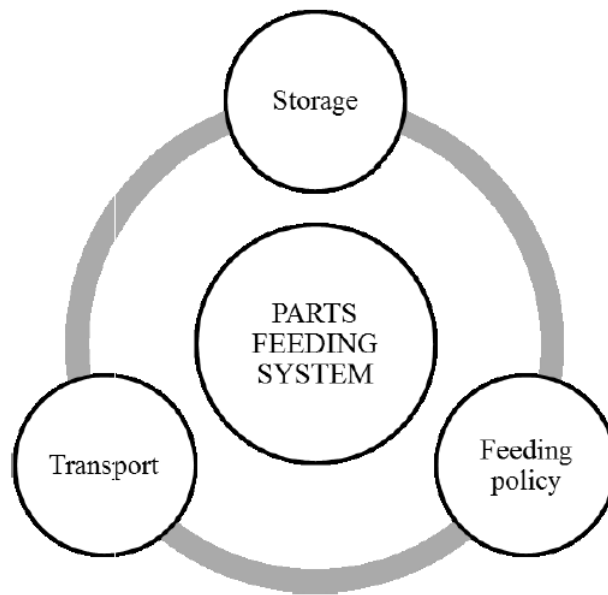


Fig. 2.3.2 La struttura del Part Feeding System

Una scelta fondamentale è il posizionamento del magazzino all'interno della filiera produttiva e le modalità con cui esso si relaziona alle linee, sedi delle effettive attività a valore aggiunto. In particolare, l'ubicazione dei *warehouse* influenza fattori come l'entità del capitale mediamente immobilizzato, il tempo di risposta (*lead time*) e si differenzia in base al tipo di risposta agli ordini dei clienti (es. PTO-Purchase to Order, MTO-Make to Order, ATO-Assembly to Order). Le principali configurazioni adottate in ambito industriale sono:

- *Magazzino centralizzato con Direct Supply*, caratterizzato da una quantità limitata di scorte di sicurezza ma con elevate distanze da percorrere per alimentare le linee attraverso grandi contenitori di parti omogenee (Fig. 2.3.3)

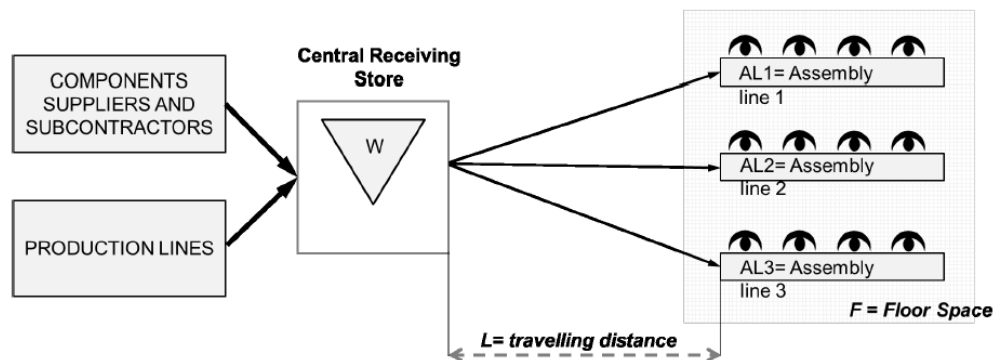


Fig. 2.3.3 Struttura di un magazzino centralizzato con Direct Supply

- *Depositi decentralizzati a bordo linea*, costituiti da piccole aree di stoccaggio realizzate *ad hoc* per ogni postazione di lavoro che permettono di ridurre notevolmente il *replenishment time* (tempo di rifornimento) e l'*handling* dei componenti, ma con l'inconveniente di occupare buona parte del *floor space* a disposizione (Fig. 2.3.4)

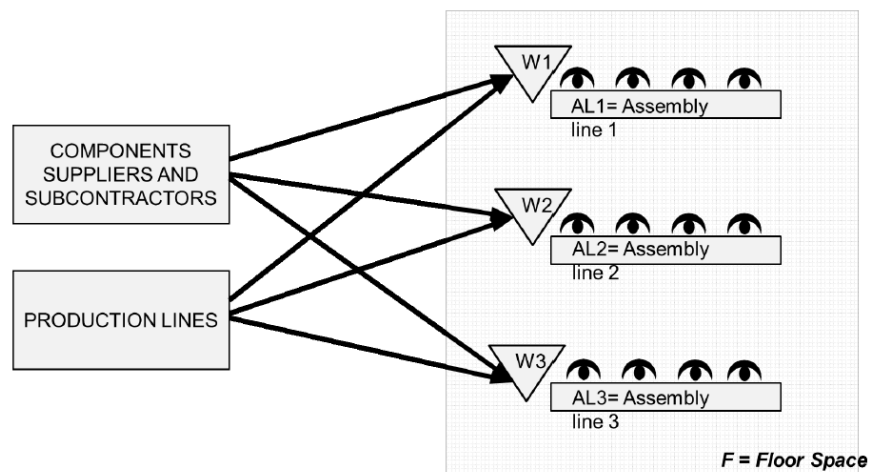


Fig. 2.3.4 Rappresentazione di un sistema con magazzini decentralizzati

- *Magazzino centralizzato con In-Direct Supply* (Fig. 2.3.5), dotato di un'area di stoccaggio centralizzata che va a rifornire un *SUMA* (supermarket) che permette di disaccoppiare (*decoupling point*) due logiche di funzionamento antitetiche (confronto in Fig. 2.3.6). Infatti,

dal supermarket parte una vera e propria *feeding route* che consente di minimizzare la giacenza a bordo linea e la condivisione dei materiali ed è sincronizzata con la velocità di funzionamento della linea. Molto spesso realtà di questo tipo sono servite da sistemi di movimentazione automatica (AGV-Automated Guided Vehicle, LGV-Laser Guided Vehicle, Tow-Train) e gestite da algoritmi di ottimizzazione lineare¹⁶.

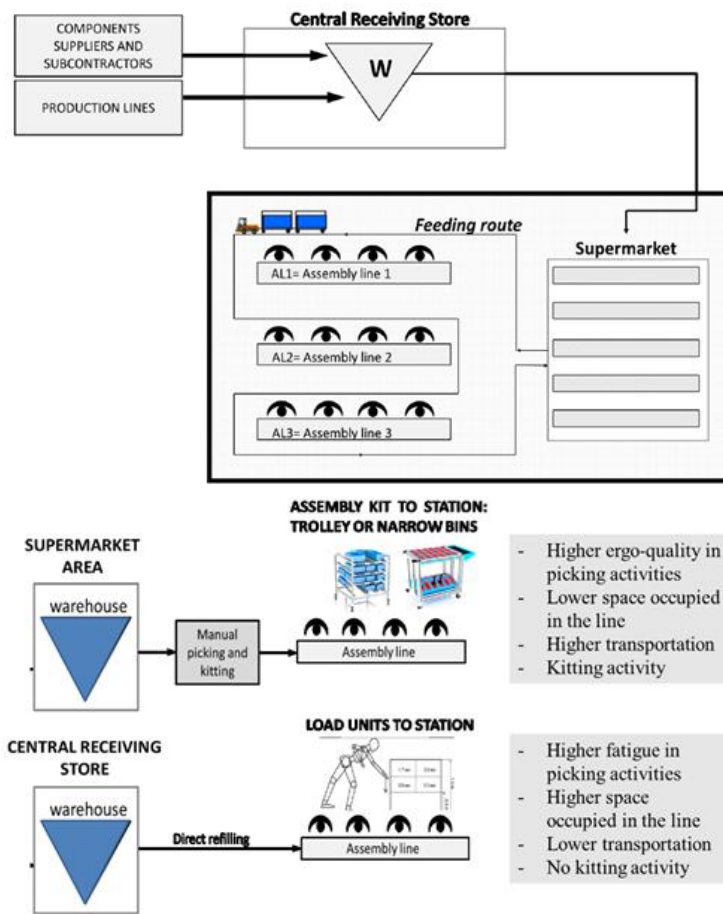


Fig. 2.3.5 Supermarket e feeding route tipiche di una logica JIT-Just in Time (sopra)
 Fig. 2.3.6 Confronto (sotto) tra In-Direct Supply (in alto) e Direct Supply (in basso)

¹⁶ **IRP-Inventory Routing Problem:** combinazione del ICP-Inventory Control Problem, che considera la quantità ottimale da consegnare alle stazioni per minimizzare i tempi di consegna e la quantità di materiale in stock nelle stazioni, e VRP-Vehicle Routing Problem, che analizza la consegna delle referenze (percorso) per minimizzare il *travelling time*. In generale l'IRP viene anche utilizzato in ottica VMI-Vendor Management Inventory dove il *supplier* gestisce la consegna e lo stock del *buyer* evitando in qualsiasi modo lo *stockout*.

La gestione delle *feeding policy* con cui si realizza l'effettiva movimentazione dei componenti è governata principalmente da tre strategie operative:

- *Load unit*, contenente un lotto di medie/piccole dimensioni di pezzi uguali e tipicamente posizionate dietro agli operatori su *scaffali a gravità* (Fig. 2.3.7). Molto spesso la loro gestione è regolata tramite *Kanban* (cap. 3)

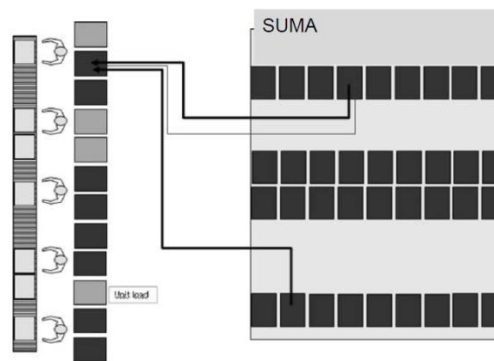


Fig. 2.3.7 Sistema gestito tramite Load Unit

- *Station kit* (Fig. 2.3.8), predisposto, da parte di operatori addetti all'interno del SUMA, con tutti i componenti necessari ad una stazione di lavoro per assemblare uno o più pezzi (kit multiprodotto). Spesso in ambito *lean* (cap. 3) vengono utilizzati dei *kit sequenziati* in cui anche il posizionamento delle parti segue quella che è l'effettiva sequenza di assemblaggio del prodotto finito

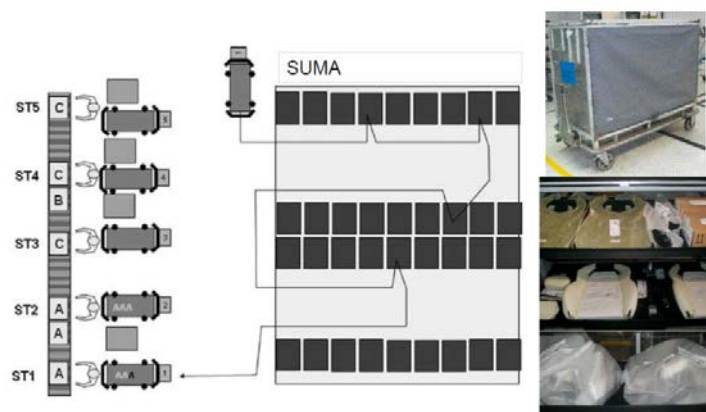


Fig. 2.3.8 Part feeding tramite Station Kit

- *Travelling kit* (Fig. 2.3.9), che segue la nascita del prodotto attraverso tutti i task previsti dal ciclo di assemblaggio fino al suo completo svuotamento (es. *automotive*)

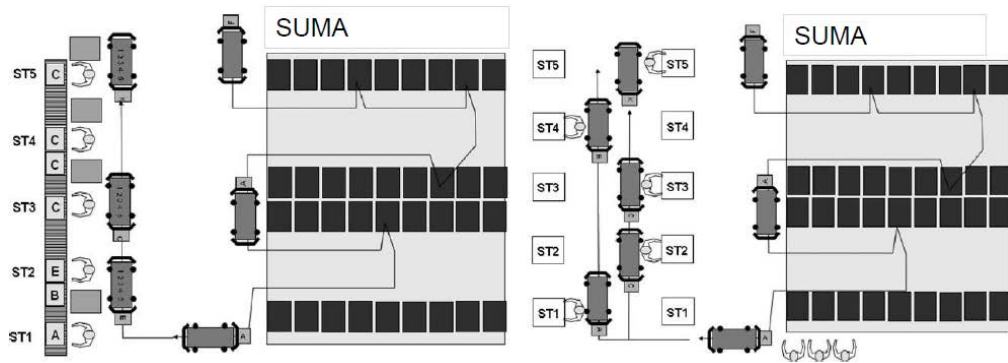


Fig. 2.3.9 La gestione per mezzo di Travelling Kit

Infine, in Fig. 2.3.10 si riporta uno schema sugli aspetti decisionali relativi alla progettazione di un sistema di part feeding con supermarket area.

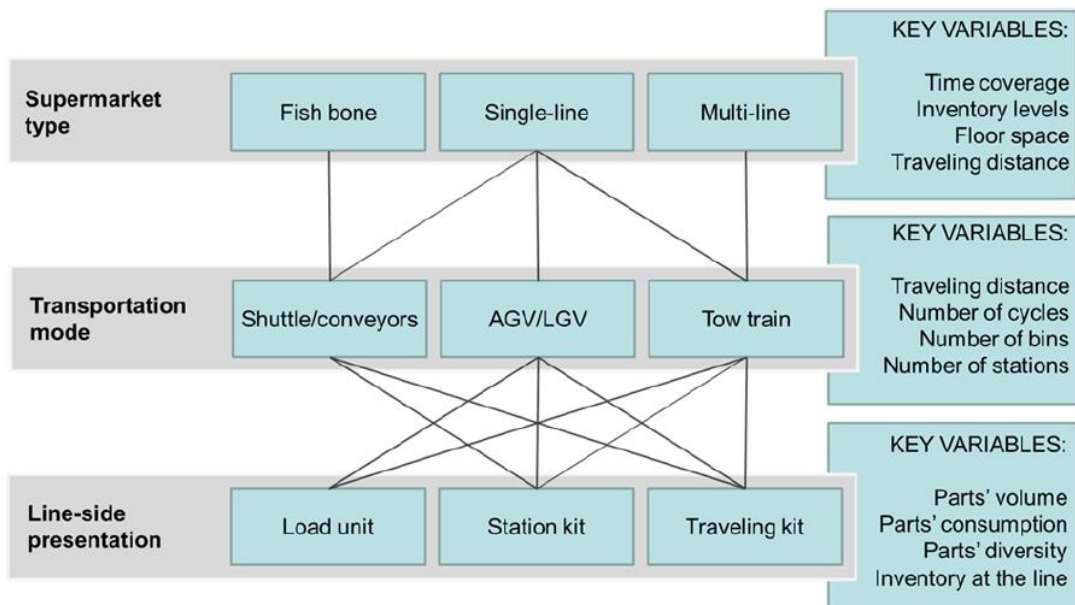


Fig. 2.3.10 Le variabili decisionali per la realizzazione di una strategia gestita tramite SUMA

3. *Lean Manufacturing*

Nel seguente capitolo è presentata un'introduzione al mondo della *Lean Manufacturing*; verranno illustrati la definizione, il background storico in cui è nata e i principi applicativi fondanti di questa filosofia operativa.

Segue una descrizione dei fondamenti della cosiddetta “casa *Lean*”.

Infine sono riportati i principali strumenti e i relativi benefici che questa mentalità può apportare, anche in riferimento al caso aziendale oggetto di studio.

La filosofia industriale della *Lean Manufacturing* o del pensiero snello può essere immediatamente identificata grazie alle parole di J. P. Wohmack (1985)¹⁷: “...*Lean Thinking is lean because it provides a way to do more and more with less and less -less human effort, less equipment, less time, and less space- while coming closer and closer to providing customers with exactly what they want... ”*”.

Una descrizione che arriva direttamente da Taiichi Ōhno, uno dei padri fondatori se non l'ideatore vero e proprio di tale pensiero, è: “*Tutto ciò che stiamo facendo è misurare l'intervallo di tempo tra il momento in cui un ordine ci arriva e il momento in cui raccogliamo i soldi per esso. E poi cerchiamo di ridurlo eliminando le attività a nessun valore aggiunto*”¹⁸.

¹⁷ Womack J. P., Jones D. T., 2006, *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*, Milano, Guerini e Associati

¹⁸ Ōhno T., 1978, *Lo Spirito Toyota*, Einaudi Editore

La teoria prende vita in Giappone, a partire dai primi anni Cinquanta, presso la *Toyota Motor Company* e per questo prese anche la denominazione di *TPS-Toyota Production System*. Il precursore fu Taiichi Ōhno, che per primo comprese l'esigenza di creare un nuovo sistema produttivo che si adattasse alla realtà giapponese del secondo conflitto mondiale, in alternativa alla produzione di massa tipica del modello fordista.

Realtà giapponese che richiedeva un'alta gamma di veicoli nonostante il mercato interno fosse limitato, che soffriva la mancanza di capitali a causa della guerra, della predominanza e della prepotenza dei mercati esteri già sviluppati e che doveva affrontare la questione dei lavoratori che non volevano essere trattati come costi variabili o frammenti intercambiabili di un sistema molto più grande di loro.

Grazie all'inventiva del TPS, l'industria giapponese riuscì in pochi decenni ad affermarsi grazie all'alta varietà offerta, alla qualità eccelsa dei suoi prodotti e ad un incredibile contenimento dei costi, andando a mettere in crisi le grandi realtà industriali che fino a quel momento controllavano i maggiori settori del mercato. Realtà che non riuscirono a comprendere le potenzialità di un pensiero che relegavano alla sola cultura giapponese (fattori *country specific*), rifiutando una concreta ed efficace applicazione anche nei contesti occidentali.

Concretamente, il sistema produttivo *lean* prevedeva e prevede tutt'oggi una radicale riduzione degli sprechi (*muda*), da realizzare tramite i concetti di *flusso continuo*, per ridurre attese e tempi di attraversamento, *produzione pull*, per eliminare la sovrapproduzione e *miglioramento continuo* (*kaizen*), a piccoli passi e con l'integrazione di tutte le realtà coinvolte (Schonberg, 1982)¹⁹.

¹⁹ Schonberg R. J., 1982, *Japanese manufacturing techniques*, Macmillan USA

3.1. I principi applicativi

La cultura *lean* è riconducibile a cinque principi base che devono essere analizzati e garantiti in ogni situazione, industriale e non, affinché la lotta ai *muda* possa essere efficace ed efficiente:

- Definizione del valore (*value*)
- Identificazione del flusso di valore (*value stream*)
- Scorrimento del flusso (*flow*)
- Implementazione di un sistema PULL (*pull*)
- Ricerca della perfezione (*perfection*)



Fig. 3.1.1 La struttura ricorsiva dell'approccio lean

Il riconoscimento del concetto di *value* è la fase critica di tutto il loop seguito dalla mentalità snella ma è ciò che permette di definire e quantificare tutto ciò che il cliente è disposto a pagare per la sua soddisfazione, in un certo tempo e per un certo prezzo, nonostante sia l'azienda stessa la reale matrice di valore. È fondamentale andare a

identificare tutti quelli che sono i fattori specifici a valore aggiunto, indipendentemente dal fatto che essi siano imputabili direttamente a prodotti, servizi o attività satelliti.

In particolare, il mondo dei muda è articolato in sprechi *eliminabili*, ossia attività che non conferiscono valore aggiunto e che devono essere rimosse, e *riducibili (muda nascosti)*, task non a valore aggiunto ma che in alcune circostanze è necessario svolgere, da minimizzare. È questa l'identificazione del *flusso di valore*, che può essere rincorsa attraverso strumenti come il VSM-Value Stream Mapping, in modo tale da focalizzare l'iter produttivo sulle sole attività riconosciute dall'utente finale.

Lo step successivo della mentalità snella è far scorrere (*flow*) la corrente identificata, in assenza di rallentamenti imputabili a inefficienze del sistema. È in questo momento che in ambito industriale nasce il concetto di *lot-splitting* (contenimento delle dimensioni dei lotti), in modo da permettere il continuo scorrere dei flussi di materiale, operatori e informazioni all'interno dell'intera filiera produttiva, supportando il tutto anche con strumenti come lo SMED (paragrafo 3.3.2) e il TQM-Total Quality Management. Con questo approccio è possibile ridurre il rischio di interruzioni imputabili ai 7 sprechi principali riconosciuti dal *Lean Thinking*:

- *Sovrapproduzione*, considerato il peggiore in quanto connesso direttamente o indirettamente agli altri e in totale disaccordo con il concetto di *pull production*. È indispensabile l'integrazione tra pianificazione della produzione, flessibilità, controllo e stabilità dei processi ed efficienza dell'organizzazione
- *Attese*, che soprattutto nel mondo delle linee di assemblaggio sono attribuibili anche ad una scarsa attenzione al bilanciamento (paragrafo 4.2) dei vari task e al training degli operatori

- *Trasporti*, spesso connessi a layout obsoleti, aree di stoccaggio di dimensioni eccessive o mal posizionate e attività di *picking* mal implementate
- *Movimentazioni*, soprattutto all'interno dei cicli di lavoro e connesse anche ad uno scarso approccio ergonomico-funzionale nella progettazione del *workplace*
- *Processo*, in cui le specifiche delle attrezzature non soddisfano i requisiti richiesti dal ritmo dettato dal sistema
- *Scorte*, in quanto capitale immobilizzato e non a valore aggiunto che comporta esclusivamente un'occupazione dello spazio a disposizione
- *Difetti*, che rappresentano unicamente un allungamento del *lead time*²⁰ e comportano rilavorazioni con relativi costi aggiuntivi

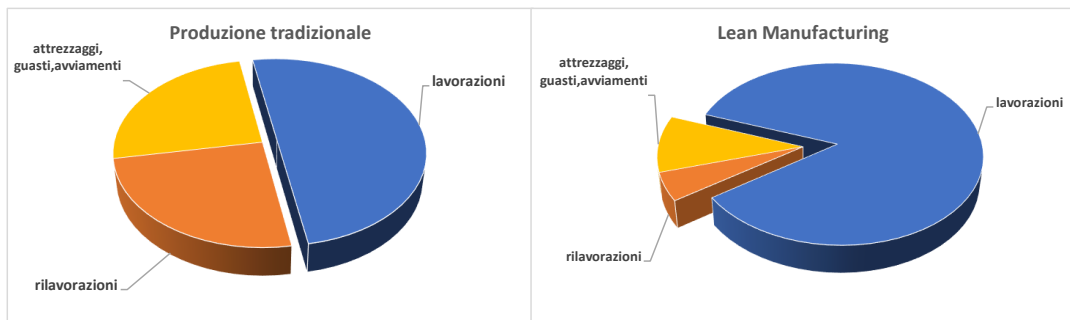


Fig. 3.1.2 Confronto tra una realtà tradizionale e una lean

L'implementazione di un sistema *pull*, che sia tirato da valle e che vada a minimizzare gli sforzi in termini di materiale, capacità produttive e risorse (*muri*)²¹ è la realtà operativa che deve stare alla base di qualsiasi struttura *lean*. Solo così è possibile costruire e mantenere delle situazioni industriali che siano in grado di rispondere esattamente con quanto richiesto, nei tempi

²⁰ **Lead Time**: tempo di attraversamento o "di risposta". Spesso si intende l'intervallo di tempo necessario ad un'azienda per soddisfare una richiesta del cliente

²¹ **Muri**: termine giapponese che indica il sovraccarico delle persone o delle risorse

richiesti e nelle modalità richieste dal mercato (*mura*)²², seguendo la tecnica imposta dal *Just in Time*. In particolare, è necessario estendere tale concetto a tutta la filiera andando ad intervenire anche sulla collaborazione con gli operatori e sull'integrazione dei fornitori all'interno del processo²³.

Un sistema che si oppone alla logica *push* (attualmente presente nel reparto di assemblaggio di Tecnica Group), che trova un confronto in Fig. 3.1.3, e che molto spesso è alimentato da una gestione dei materiali improntato sulla ormai affermata tecnica del *kanban* (cartellino).

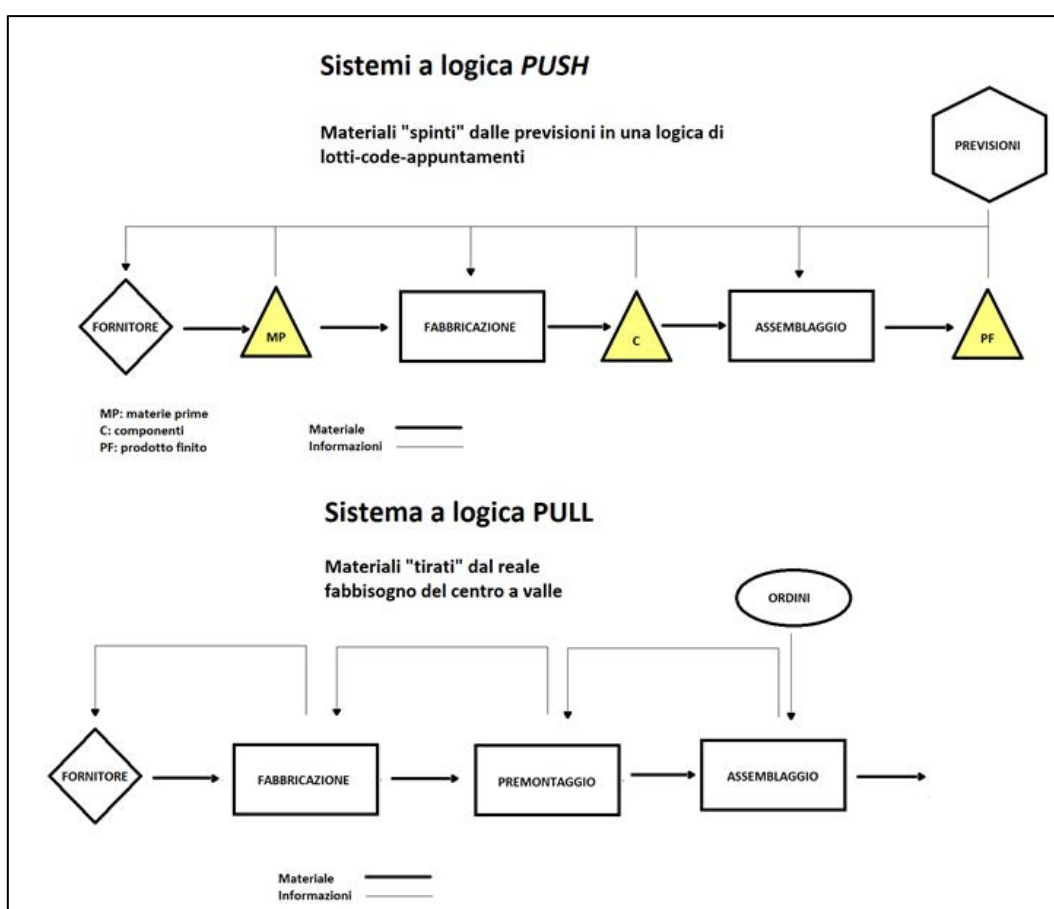


Fig. 3.1.3 Confronto tra logiche push e pull

²² **Mura**: termine giapponese che indica fluttuazioni, variazioni, irregolarità del carico di lavoro (domanda)

²³ Ōhno T., 2016, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press

Infine deve essere seguita la ricerca della perfezione (*perfection*) di ogni singola risorsa coinvolta, ma attraverso un processo di miglioramento continuo (*kaizen*) che si contrappone a quello “classico” del *kaikaku*, in cui l’idea di impegnarsi in sforzi drastici e investimenti importanti è ritenuta la soluzione per ottenere importanti risultati nell’immediato.

Il *Lean Thinking* presuppone un percorso composto da piccoli step di miglioramento che, se considerati nella loro globalità, sono in grado di portare ai reali obiettivi desiderati ma con un corretto rapporto tra risultati e dispendio di risorse impiegato, così come imposto da uno strumento adottato anche in Tecnica Group S.p.A., come il *KATA²⁴ Management System* (abitudine al miglioramento). Miglioramento e perfezione che vengono inseguiti all’infinito andando a riaffrontare in un percorso ciclico tutti i principi previsti dal pensiero snello, in cui ogni punto d’arrivo è l’inizio per la ricerca di una nuova perfezione, proprio come affermato da Shigeo Shingō:

“Improvement usually means doing something that we have never done before”.

3.2. House of Lean

Una completa raffigurazione della logica del TPS è individuabile in quella che viene denominata la “casa *Lean*”, in cui tutti i principi, i metodi e gli strumenti appartenenti a questa filosofia di processo vengono rappresentati (Fig. 3.2.1) in un modo schematico ma efficace, proprio come previsto dal pensiero snello stesso.

²⁴ **Kata:** termine impiegato nelle arti marziali giapponesi e traducibile con modello, esempio

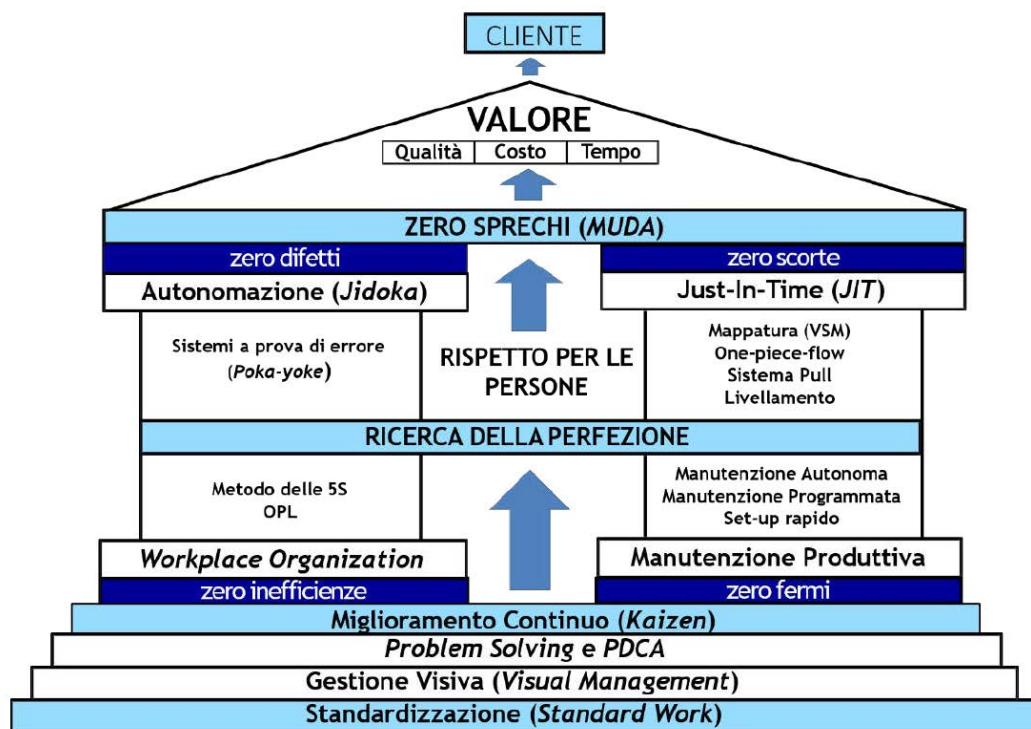


Fig. 3.2.1 La "House of Lean"

Alla base della struttura *Lean* sono presenti logiche volte alla stabilità operativa come il miglioramento continuo già descritto, il *problem solving* e strumenti come il PDCA (Plan, Do, Check, Act) per il controllo e il perfezionamento dei processi, il *visual management* e la standardizzazione dei task.

La struttura è sorretta da due pilastri portanti. Il primo è quello del *Just in Time*, tecnica logistico-produttiva alimentata da principi come la produzione *pull*, il sistema *One Piece Flow*, il *Takt Time* (ritmo della produzione) e livellamento del mix produttivo (*Heijunka*).

Il secondo è quello dell'*autonomazione (Jidoka)*, ossia la creazione di un sistema in cui l'operatore è autorizzato ad intervenire e a fermare la produzione nel caso di presenza di difettosità o inconvenienti tecnici. In questo modo è possibile rincorrere la filosofia del "zero difetti", sostenuta

da strumenti come *Poka-Yoke*²⁵, *Andon*²⁶, *5S* (*Seiri*-scegliere e separare, *Seiton*-sistemare e organizzare, *Seison*-ordine e pulizia, *Seiketsu*-standardizzare, *Shitsuke*-sostenere nel tempo), e OPL-One Point Lesson.

Per arrivare alla sommità della struttura che rappresenta l'obiettivo ultimo dell'azienda: soddisfare i propri clienti, perseguendo la miglior qualità, al minor costo e nel minor tempo possibile.

Ma è fondamentale ricordare come l'animo del pensiero è sempre volto all'attenzione nei confronti delle persone, che non devono essere viste come semplici strumenti da sfruttare ma come opportunità da formare e motivare, per permettere un continuo sviluppo e progresso.

Ed è proprio nel cuore della mentalità *lean* che risiedono e agiscono quelli che Liker (2004)²⁷ ha individuato definitivamente come i 14 principi fondanti del *Toyota Way*, ricordando però che "...*Lean is a way of thinking-not a list of things to do*" (S. Shingō):

- **Sezione 1- Filosofia a lungo termine**

1. Basare le decisioni di management su una filosofia a lungo termine, anche a scapito degli obiettivi economici di breve periodo

- **Sezione 2 – Il processo corretto restituirà i risultati desiderati**

2. Creare un flusso continuo di processo per far affiorare i problemi in superficie
3. Usare sistemi *pull* per evitare la sovrapproduzione
4. Livellare il carico di lavoro (*heijunka*)

²⁵ **Poka-Yoka**: dal giapponese "a prova di errore"

²⁶ **Andon**: termine giapponese usato in ambito manifatturiero per riferirsi ad un sistema per informare gli operatori che si occupano di gestione, manutenzione ed altro della presenza di un problema di qualità o processo

²⁷ Liker J., Convis G., 2014, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, Hoepli

5. Costruire una cultura che si ferma per risolvere i problemi, per ottenere la qualità giusta al primo tentativo
 6. Le mansioni standardizzate sono alla base del miglioramento continuo e dell'autonomia dei dipendenti
 7. Usare il *visual management* perché nessun problema resti nascosto
 8. Usare solo tecnologie affidabili e adeguatamente collaudate che vadano a vantaggio delle persone e dei processi
- **Sezione 3 – Dare valore all'organizzazione sviluppando le persone e i partner**
 9. Far crescere leader che comprendano appieno il lavoro, vivano la filosofia e la insegnino agli altri
 10. Sviluppare persone e team eccezionali che seguano la filosofia dell'azienda
 11. Rispettare la rete stessa dei partner e fornitori sfidandoli e aiutandoli a migliorare
 - **Sezione 4 – Continua risoluzione dei problemi alla radice, favorendo l'apprendimento organizzativo**
 12. Andare a vedere coi propri occhi per capire a fondo la situazione (*genchi genbutsu*)
 13. Prendere le decisioni lentamente e per consenso, considerando attentamente tutte le opzioni; implementare rapidamente le decisioni prese
 14. Diventare un'organizzazione che apprende, attraverso la riflessione incessante (*hansei*) e il miglioramento continuo (*kaizen*)

3.3. La *Lean* in Tecnica Group S.p.A.

Molti degli strumenti che la *Lean* Manufacturing fornisce alle aziende vengono implementati anche all'interno dei reparti di Tecnica Group S.p.A., in modo da rispondere alle esigenze del mercato attuale che richiede logiche sempre più stringenti dal punto di vista della qualità, dell'efficienza dei processi produttivi e dell'affidabilità del prodotto.

Tra le tecniche annoverate in precedenza è possibile riportare a titolo esemplificativo una gestione improntata sul *visual management*, la gestione del *part feeding* tramite *kanban* e la capacità di impostare il sistema produttivo con funzionalità tipo-*Andon* in tutti i reparti dell'azienda, come mostrato in Fig. 3.3.1.



CAUSALI DI PERDITA / VESZTESEG OKAI					
0	Produzione/Termelés	Produzione/Termelés	Produzione a TAKT/Termelés TakT szerint	☐	attivo
1	Produzione/Termelés	Produzione/Termelés	Campionario (TAKT 250 Pa.lag)	☐	attivo
2	Fermo linea/Szalag megállás	Cambio formato/Formátum csere	Cambio modelo/Modelváltás	☐	passivo
3	Fermo linea/Szalag megállás	Guasti/Meghibásodások	Fermo per guasto meccanico/Állás gépi meghibásodás miatt	☐	passivo
4	Fermo linea/Szalag megállás	Guasti/Meghibásodások	Mancanza EE AC-EE KL hiány	☐	passivo
5	Fermo linea/Szalag megállás	Approvvigionamento/Ellátások	Problemi di approvvigionamento/Ellátási problémák	☐	passivo
6	Fermo linea/Szalag megállás	Qualità/Minőség	Problemi di qualità/Minőség problémák	☐	passivo
7	Fermo linea/Szalag megállás	Varie/Egyéb	Pulizia macchina/reparto/Gépek/tervező takarítása	☐	passivo
8	Fermo linea/Szalag megállás	Varie/Egyéb	Training manovra/Szalag training	☐	passivo
9	Fermo linea/Szalag megállás	Varie/Egyéb	Assemblea/Ovülés	☐	passivo
10	Fermo linea/Szalag megállás	Varie/Egyéb	Varie/Egyéb	☐	passivo
11	Fermo linea/Szalag megállás	Varie/Egyéb	Ripresa dopo lunga fermata/rossz megállást követő újraindítás	☐	passivo
12	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Ripresa produzione incompleta/Hányos termékek helyegaztása	☐	attivo
13	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	TRTU	☐	attivo
14	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Fasi aggiuntive non ciclate/Pérsz nem ciklusú fázisok	☐	attivo
15	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Avanzamento modello nuovo/új modelváltás	☐	attivo
16	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Bilanci linea x mancanza pers./Műveléltetés emberhiány miatt	☐	attivo
17	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Addestramento operatore/Operátor betanítása	☐	attivo
18	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Visite mediche/Orvosi vizsgálatok	☐	attivo
19	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Rallentamento linea/Szalag lassulás	☐	passivo
20	Rallentamenti/Lassások	Produzione/Termelés	Bilanci linea x motivi tecnici/Szalag műveléltetés technikai okok miatt	☐	passivo

Fig. 3.3.1 Esempio di visual management (in alto a sinistra), cartellino kanban (in alto a destra), applicazione dell'Andon nei fermi linea del reparto di assemblaggio (in basso)

Inoltre, il seguente paragrafo offre la possibilità di approfondire due *tool* indispensabili per qualsiasi realtà industriale, volti all'efficacia, efficienza e flessibilità della risposta in relazione alle esigenze del consumatore, e che sono alla base del seguente progetto: la standardizzazione e lo SMED.

3.3.1. La Standardizzazione

Un ruolo di fondamentale importanza nel sistema di miglioramento continuo è detenuto dalla creazione degli standard (Fig. 3.3.1.1)

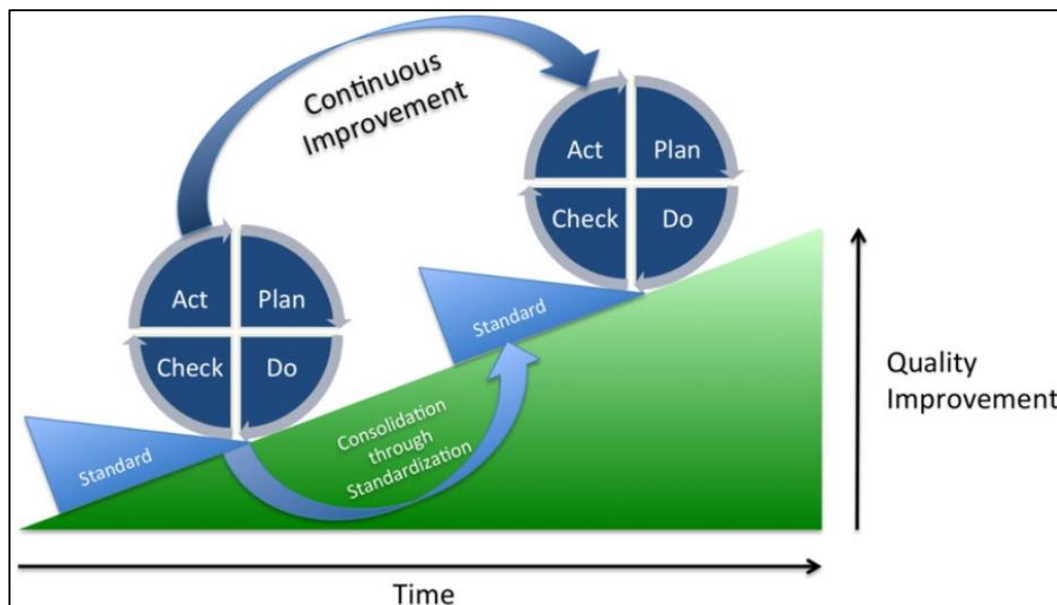


Fig. 3.3.3.1 Il cuneo degli standard come assicurazione per il mantenimento di un approccio kaizen nel tempo (immagine tratta da www.latestquality.com/standardized-work)

Gli elementi principali sui cui è necessario agire tramite standard operativi secondo Ōhno sono infatti:

- Il *ciclo operativo*, inteso come tempo richiesto per la produzione di un pezzo, formulato tramite la cadenza imposta dalla linea e quindi funzione diretta della domanda

- La *sequenza operativa*, che fa riferimento alla successione dei task che ogni operatore deve eseguire per garantire l'efficacia del proprio lavoro
- L'*inventario standard*, dimensionato secondo la quantità minima e ottimale di materiali che permette all'operatore di far scorrere il flusso in modo continuo

Uno strumento utilizzato per la verifica continua della presenza effettiva degli standard all'interno delle realtà operative è il cosiddetto *questionario degli standard*, che permette di stabilire la bontà dell'utilizzo di uno standard se e solo se tutte le risposte in esso contenute sono affermative.

3.3.2. SMED

In funzione di quanto prescritto dal *Lean Thinking* e per riuscire ad affrontare la domanda del mercato in modo rapido ed efficace, è richiesto alle aziende l'implementazione di sistemi flessibili che operino con un mix produttivo che sia il più ampio possibile in cui la dimensione dei lotti di produzione sia guidata dalla logica del *lot-sizing*. Una situazione di questo tipo si scontra però con le difficoltà tecniche di minimizzare il cosiddetto tempo di attrezzaggio/set-up necessario per switchare la produzione da un modello a un altro, e con quelle economiche (cap. 2) guidate dalla teoria del lotto economico:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * k * D}{v * i}} \text{ lotto ottimale di riordino (acquisito)} \quad (1)$$

Con:

- k , costo medio di emissione dell'ordine (15÷80€)
- D , domanda annua
- v , valore unitario del pezzo d'interesse
- i , costo del denaro

La formulazione è valida anche per i lotti di produzione (usata raramente a causa di difficoltà applicative) secondo:

$$q^* = \sqrt{\frac{2 * k * D}{v * i * \left(1 - \frac{D}{P}\right)}} \text{ lotto ottimale di produzione (2)}$$

Dove P indica il tasso di produzione o versamento.

Per far fronte a questa problematica è stato sviluppato un metodo di ottimizzazione a partire dai primi anni '70 ad opera di un giovane ingegnere della *Toyota Motor Company*, Shigeo Shingō: il metodo SMED-Single Minute Exchange of Die.

Approccio che offre gli strumenti per minimizzare il tempo di set-up, ossia l'intervallo di tempo “che intercorre tra l'ultimo pezzo buono del vecchio lotto e il primo pezzo buono del nuovo lotto”, comprendendo quindi tutti i tempi di regolazione, *start up*, *close out* e produzione non conforme per via del cambio di lavorazione.

La riconfigurazione dei macchinari avviene tramite due tipologie fondamentali di operazioni:

- *IED-Internal Exchange of DIE*, che devono essere effettuate a macchina ferma per ragioni di natura tecnico-organizzativa (es. installazione di un nuovo *tool* di lavoro)
- *OED-Outside Exchange of Die*, ossia tutti i *task* eseguibili a macchina funzionante (es. preparazione componenti, pulizia, ...)

L'ottimizzazione proposta dal metodo è incentrata su questa caratterizzazione ed insiste su una semplice ma efficace procedura²⁸:

²⁸ Shingō S., 1985, *Gli elementi all'origine del pensiero del Single Minute Exchange of Die: una rivoluzione nei tempi di cambio lavoro*, JMA, Tokyo

1. *Individuare e separare i set up esterni da quelli interni*: possibilmente con un filmato vengono registrate le attività IED e OED definendo se, dal punto di vista tecnico, sia realmente necessario effettuare alcune operazioni a macchina ferma
2. *Convertire le attività interne in attività esterne*: si cerca di convertire il maggior numero possibile di operazioni IED in operazioni di tipo OED al fine di ridurre gli intervalli di fermo macchina
3. *Migliorare/ridurre i set up interni*: limitare le attività interne solamente alle operazioni di montaggio, smontaggio, centraggio e regolazione cercando di ridurre la durata, semplificandole attraverso morsetti funzionali, standardizzazioni, battute, parallelismi, ecc.
4. *Migliorare/ridurre i set up esterni*: assicurarsi che quanto possibile sia fatto entro la fine della lavorazione preparando *check-list* operative, affinando attrezzature e sistemi di trasporto di materiali, migliorando i banchi di lavoro, selezionando l'utensileria realmente necessaria, ecc.
5. *Reiterare il procedimento, affinarlo e consolidarlo*: il processo viene reiterato alla ricerca di ulteriori miglioramenti, sviluppando al tempo stesso piani di adattamento del ciclo ad altri prodotti e di training del personale

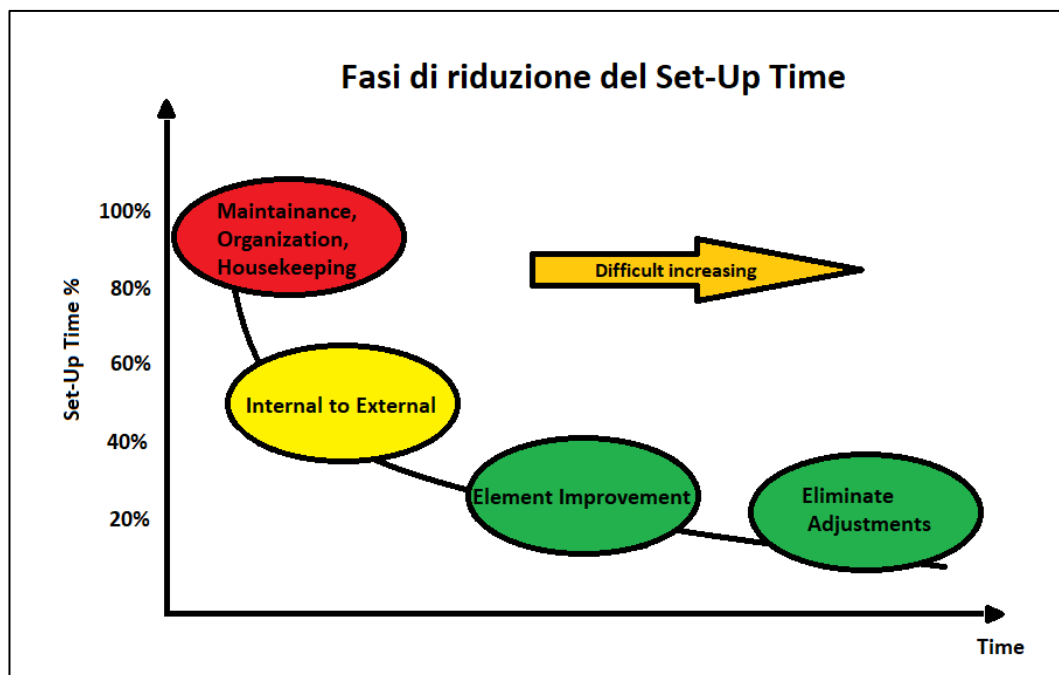


Fig. 3.3.2.1 Le fasi di riduzione del tempo di attrezzaggio

L'introduzione e l'implementazione delle tecniche SMED, così come in Tecnica Group S.p.A., è in grado di portare a benefici tecnico-economici quali diminuzione del tempo di attrezzaggio e fermo linea, incremento della capacità produttiva, aumento dell'OEE (cap.4), riduzione degli sprechi, miglioramento della qualità dell'output, incremento della flessibilità con una riduzione del *lead time*, contenimento del WIP e delle dimensioni dei lotti di produzione.

4. OEE e Bilanciamento

Nel seguente capitolo sono affrontati i temi legati alla valutazione della disponibilità effettiva delle risorse produttive, del bilanciamento dell'assegnazione dei task alle stazioni di lavoro e del rendimento globale delle linee di assemblaggio.

In un primo paragrafo è descritto l'OEE-Overall Equipment Efficiency con relative definizioni, applicazioni nel contesto industriale e alcuni riferimenti al caso aziendale.

Segue un approfondimento sulla questione dell'*Assembly Line Balancing Problem* attraverso definizioni, classificazione del problema e presentazione di alcuni algoritmi.

Infine è esposto il concetto di rendimento globale in riferimento alle linee di assemblaggio

4.1. OEE

Nella fase di pianificazione dei fabbisogni di capacità produttiva e individuazione dei centri di lavoro²⁹ all'interno del sistema produttivo è fondamentale rispettare la conciliazione tra capacità richiesta (fabbisogno) e capacità disponibile. Un indicatore in grado di sostenere tale elaborazione è l'OEE-Overall Equipment Efficiency, elaborato nel 1988 da Seiichi Nakajima, direttore tecnico di *Toyota*, e risultato del prodotto dei tre fattori *disponibilità, prestazione ed efficienza* di una linea o di un intero reparto. Può essere considerato come lo strumento più semplice e completo per

²⁹ **Centro di lavoro:** gruppo di risorse omogenee dal punto di vista del carico e della capacità produttiva

rappresentare le performance di un impianto, in quanto interviene a 360° investendo l'intero sistema produttivo, ed è basato sull'assioma: “*Non si può gestire ciò che non si può misurare*”.

In prima istanza è necessario individuare il numero e la durata dei turni di lavoro³⁰ e il *tempo disponibile lordo*³¹ al netto di ferie e festività (*unschedule time*). Parte del tempo disponibile lordo è generalmente occupato da fermate programmate (*planned shutdown*) durante le quali vengono eseguite operazioni di manutenzione preventiva, training degli operatori, assemblee sindacali ecc., ed è così possibile individuare il cosiddetto *tempo disponibile netto*.

Questo intervallo è ulteriormente soggetto a una nettificazione temporale a causa dei fermi linea dovuti ad attrezzaggi, eventuali guasti o mancanza di lavorazione (*downtime losses*), che va a caratterizzare il *tempo effettivo di lavorazione*.

Anche in questo caso, la presenza di rallentamenti rispetto ai tempi standard e di microfermate legate ad inefficienze varie (*speed losses*), porta ad una riduzione aggiuntiva che introduce il *tempo standard di output lordo*.

Tuttavia, le quantità ottenute in questo arco temporale possono comunque essere non conformi alle specifiche qualitative richieste, con conseguenti rilavorazioni o scarti (*quality losses*). La valorizzazione della quantità qualitativamente sufficiente permette di calcolare il *tempo standard di output netto*.

La combinazione delle classi temporali così individuate permette di valutare 5 indici adimensionali che devono essere considerati in fase di

³⁰ È previsto un unico turno di lavoro da 8 ore per il caso del reparto di assemblaggio ungherese

³¹ **Tempo disponibile lordo** = (n.° di turni) x (ore/giorno) x (gironi/settimana)

pianificazione della capacità produttiva disponibile e che vanno a misurare le perdite descritte in precedenza:

- *Utilizzo degli assets* = $\frac{\text{tempo disponibile lordo}}{\text{tempo solare}}$ (3), che misura la percentuale di inattività rispetto al tempo solare e di particolare interesse nelle imprese *capital intensive*
- *Fermata* = $\frac{\text{tempo disponibile netto}}{\text{tempo disponibile lordo}}$ (4), valore direttamente imputabile ai fermi linea programmati
- *Disponibilità* = $\frac{\text{tempo effettivo di lavorazione}}{\text{tempo disponibile netto}}$ (5), parametro legato al *downtime loss* e che nelle migliori realtà industriali è considerata ottima per valori superiori al 90%
- *Prestazione (efficienza)* = $\frac{\text{tempo standard di output lordo}}{\text{tempo effettivo di lavorazione}}$ (6), che misura l'output effettivo dell'impianto rispetto a quello teorico standard. Nel settore manifatturiero un'efficienza superiore al 95% è considerata ottimale
- *Qualità* = $\frac{\text{tempo standard di output netto}}{\text{tempo standard di output lordo}}$ (7), dettato dal rapporto tra il tempo di produzione del numero di prodotti "buoni" e quello del numero di prodotti totali realizzati. In un'ottica *lean*, incentrata su una produzione "zero difetti" tale valore deve essere almeno pari al 99%

L'intera struttura appena descritta è rappresentata in Fig. 4.1.1, che mette in risalto la schematizzazione temporale, la suddivisione delle attività, le causali di perdita e gli indici prestazionali, attraverso quello che è il modello operativo utilizzato in Tecnica Group S.p.A.

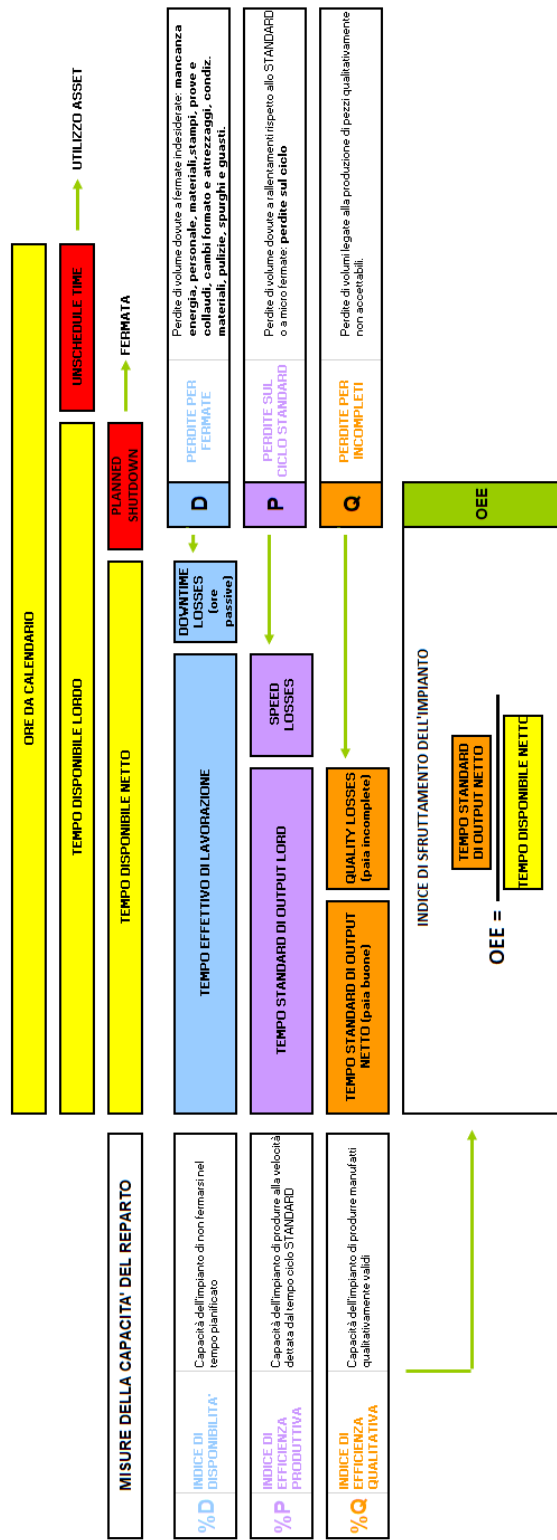


Fig. 4.1.1 La definizione di OEE adottata in Tecnica Group S.p.A.

La conoscenza di tali valori permette infine il calcolo di alcuni KPI³² di particolare rilevanza nella gestione della produzione:

- *Produttività*, misura delle perdite legate al *downtime* e ai rallentamenti della linea/reparto
- *Fattore di carico*, in riferimento ad un dato centro di lavoro, che permette la determinazione dell'effettiva capacità produttiva disponibile grazie all'utilizzo di tecniche CRP³³
- *OEE*
- *TEEP-Total Effective Equipment Performance*, valutazione complessiva di tutte le perdite legate all'impianto

In particolare, l'*Overall Equipment Efficiency* è l'indicatore tipicamente più usato nei progetti di miglioramento ispirati alla *Lean Manufacturing* e va a misurare in percentuale l'efficienza complessiva di una linea o un impianto. Nelle migliori realtà, tuttavia, tale indicatore raggiunge valori inferiori al 90% e va confrontato con situazioni dell'industria manifatturiera in cui la media si aggira intorno al 60%. È importante sottolineare però come l'OEE non sia l'obiettivo ultimo a cui le aziende devono tendere in maniera rigida e indiscriminata, come dimostrato dall'esempio sotto riportato.

	A	B
Disponibilità	90,0%	92,5%
Efficienza	94,0%	96,5%
Qualità	99,0%	95,5%
OEE	83,8%	85,2%

Fig. 4.1.2 Nel caso B si ha un incremento dell'OEE a discapito di una diminuzione del 3,5% della qualità dell'output prodotto

³² La formulazione è omessa. Qual ora il lettore fosse interessato è consigliata la consultazione di De Toni A., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di Gestione della Produzione*, De Agostini Scuola S.p.A., Novara/cap. 13

³³ **CRP**: Capacity Requirement Planning

L'attuale situazione presente nel reparto di assemblaggio dello stabilimento ungherese di Tecnica Group S.p.A., e che tiene conto della globalità dettata da tutte e 4 le linee, è quella illustrata in Fig. 4.1.3

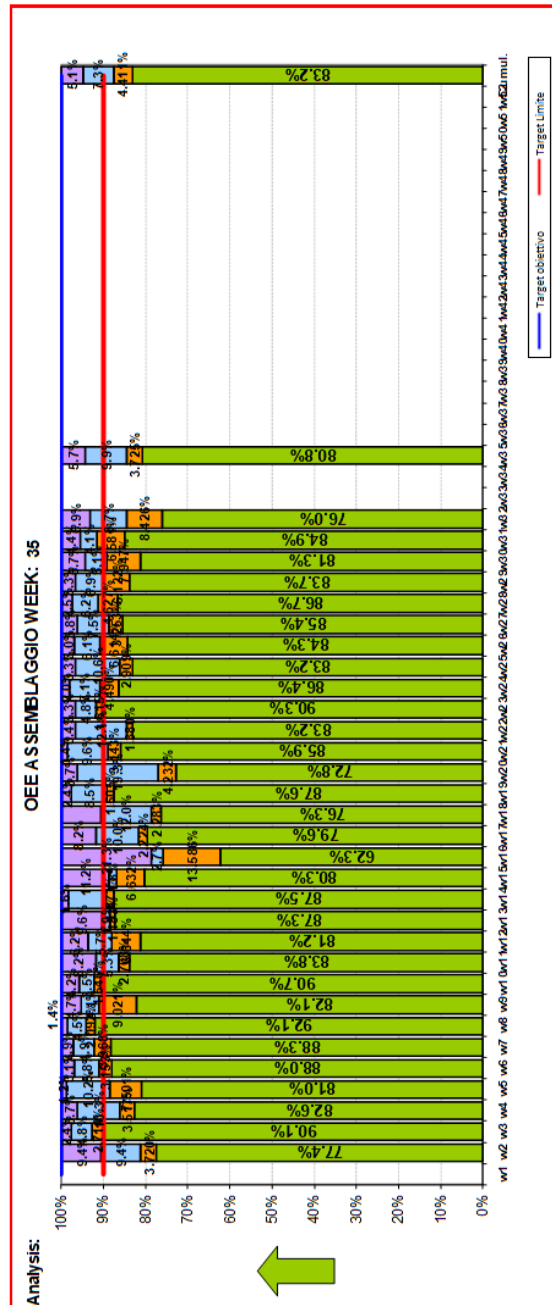


Fig. 4.1.3. Overall Equipment Efficiency, con relativi fattori di perdita (nell'ordine di cui sopra), del reparto di assemblaggio dello stabilimento di Nagyálló

4.2. Bilanciamento della linea

La progettazione di una linea di assemblaggio è articolata nelle fasi di dimensionamento, in cui vengono calcolati cadenza, numero di operatori e di centri di lavoro in funzione della produttività (domanda) richiesta all'impianto, e bilanciamento, ossia l'effettiva assegnazione dei task operativi alle singole postazioni di lavoro con conseguente generazione del layout funzionale, nel rispetto di vincoli e condizioni al contorno.

4.2.1. Operazioni preliminari

Il primo passo da compiere in fase di avviamento di una nuova linea *multi-mixed model* in un'ottica di standardizzazione, è l'analisi delle famiglie di prodotto tramite operazioni di *clusterizzazione*³⁴, in relazione alle attività contenute nell'archivio cicli (da aggiornare e mantenere in manutenzione costantemente). Una volta individuati i cluster che alimenteranno la linea si passa allo sviluppo di un *VAM-Virtual Average Model*, ovvero un modello unificato fittizio che rappresenti tutti i prodotti contenuti nel raggruppamento, in funzione del peso generato dal mix produttivo dettato dalla domanda del mercato.

La fase successiva si occupa di determinare quella che sarà la cadenza imposta alla linea in funzione della produttività richiesta. Il prerequisito fondamentale è il calcolo del Takt Time che la linea dovrà sostenere secondo:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ di\ lavoro\ giornaliero^{35}}{Quantità\ giornaliera\ richiesta} \quad (8)$$

³⁴ Tra le tecniche di clusterizzazione più note, si annoverano la PFA-Product Flow Analysis con applicazione dell'algoritmo ROC-Rank Order Cluster (King, 1979) e la Cluster Analysis (metodo del *Nearest Neighbour Method*)

³⁵ Nel caso aziendale il turno di lavoro è della durata di 465 minuti, pause e bisogni fisiologici esclusi, secondo quanto previsto dalla normativa ungherese

Dove la quantità giornaliera richiesta è data dal rapporto tra le previsioni (*forecast*) dei volumi di produzione e il numero annuale di giorni lavorativi.

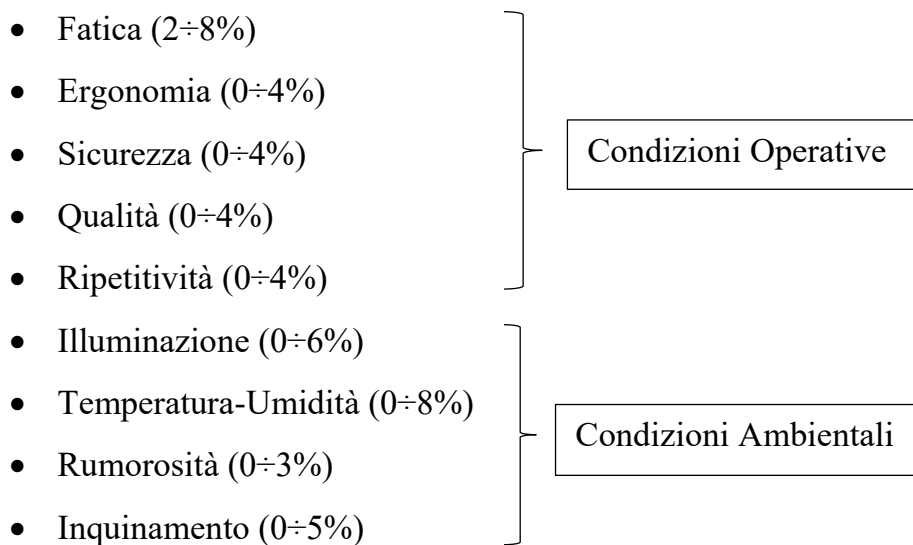
In una realtà che si ispira alla mentalità *pull* e *One Piece Flow*, il numero ideale di prodotti in lavorazione (WIP) è esattamente pari al numero delle stazioni di lavoro e, una volta noto il *Takt Time*, è esprimibile come:

$$N.^\circ \text{ Stazioni}_{teorico} = \frac{\text{Tempo Ciclo ponderato}}{\text{Takt Time}} \quad (9)$$

Dove con tempo ciclo ponderato si intende esattamente il tempo di riferimento individuato dal VAM secondo:

$$\text{Tempo Ciclo ponderato} = \frac{\sum_i t_i * \text{Previsione}_i}{\text{Previsione totale}} \quad (10)$$

È necessario sottolineare come alla base di una corretta analisi preliminare, è presente una campionatura³⁶ realistica della durata dei task da parte dell'UTM-Ufficio Tempi e Metodi, con attenzione alle maggiorazioni da considerare in relazione al *work environment* e al rendimento degli operatori:



³⁶ Attraverso tecniche di *Work Sampling* (distribuzione di probabilità binomiale), rilevazione cronometrica (Metodo *Bedaux*), tempi predeterminati (MTM1-Method Time Measurement, MOST)

4.2.2. Classificazione del problema

In generale l'Assembly Line Balancing Problem (ALBP) si occupa della distribuzione ottimale dei carichi di lavoro tra le stazioni della linea di assemblaggio, con l'interesse di ottimizzare alcune funzioni obiettivo da definire caso per caso.

In letteratura è possibile riscontrare diverse modalità di classificazione del problema e di seguito vengono riportate due tra le più comuni.

La prima, secondo Ghosh e Gagnon (1989)³⁷, affronta il tema individuando 4 classi principali come raffigurato in Fig. 4.2.2.1.

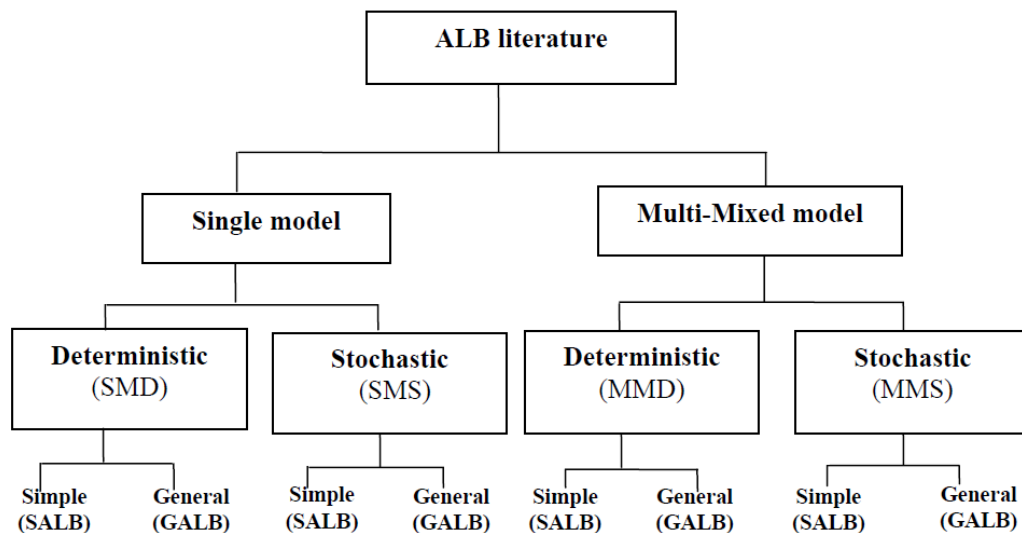


Fig. 4.2.2.1 L'interpretazione dell'ALBP secondo Ghosh&Gagnong

La versione *SMD-Single Model Deterministic*, prevede l'analisi di una linea monoprodotto dedicata, con tempi e task deterministici, che preveda l'ottimizzazione dell'efficienza del sistema. Storicamente è stata la prima

³⁷ Ghosh S. and R. J. Gagnon., 1989, A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, n. 4, pp. 637-670

affrontata e se trattata opportunamente può essere estesa anche a realtà di carattere generale (es. linee parallele).

La categoria *SMS-Single Model Stochastic* introduce il concetto di variabilità temporale dei task e più si avvicina alla realtà delle linee di assemblaggio manuale, dove raramente la durata delle singole operazioni può ritenersi una costante. Con la formulazione attraverso tempi stocastici diventano rilevanti questioni come il mancato rispetto del tempo ciclo (produzione di componenti difettosi o incompleti), il dimensionamento delle singole stazioni e il posizionamento dei cosiddetti *inventory buffers*.

Affrontando la classe *MMD-Multi/Mixed Model Deterministic*, si estende la teoria affrontata con il caso SMD con quanto già riportato nel paragrafo 2.1 (Fig. 2.1.6, classificazione delle linee di assemblaggio in funzione del mix produttivo). In particolare si introducono le problematiche legate al dimensionamento dei lotti (già trattato) e ai lanci di produzione (*launching rates*).

Infine l'*MMS-Multi/Mixed Model Stochastic* aggiunge all'*MMD* fattori di criticità come il *learning effect* e il controllo-gestione delle abilità degli operatori (*skill level*) a causa dei frequenti ribilanciamenti previsti.

Inoltre vengono individuati due criteri di classificazione dei principali obiettivi utilizzati nella letteratura *ALBP*:

Tecnici , relativi all'efficienza operativa	Economici , in relazione ai costi operativi della linea o a misure di redditività
<ol style="list-style-type: none"> 1. Min. del numero di stazioni (per un dato tempo ciclo) 2. Min. del tempo ciclo (per un dato numero di stazioni) 3. Min. del <i>Total Idle Time</i> della linea 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Min. del costo di manodopera, workstation e incompletezza del prodotto 2. Min. del costo di manodopera/pezzo 3. Min. del costo imputabile a

<p>4. Min. del <i>Balance Delay</i></p> <p>5. Contenimento delle dimensioni della linea</p> <p>6. Min. del <i>Throughput Time</i></p> <p>7. Min. della probabilità di eccedere il tempo ciclo</p>	<p>inefficienze del sistema</p> <p>4. Min. dei costi di magazzino, set-up e idle time</p> <p>5. Min. del <i>total in-process inventory cost</i></p> <p>6. Max. dell'utile netto</p>
---	---

Tab. 4.2.2.1 Classificazione degli obiettivi ALBP secondo Ghosh & Gagnon

Oltre alla classificazione di Ghosh & Gangnon, viene inoltre proposta quella secondo Scholl e Becker (2006)³⁸, in funzione dei diversi vincoli e obiettivi del problema, illustrata in Fig. 4.2.2.2 e in Tab. 4.2.2.2

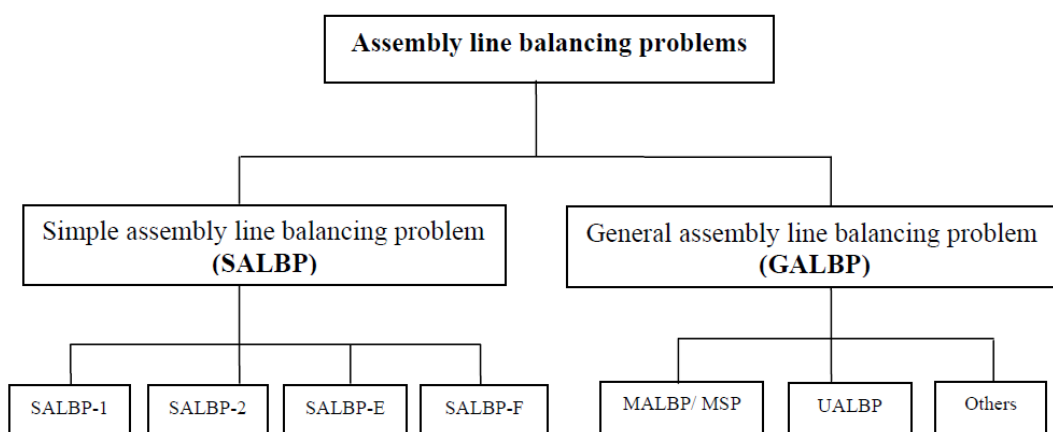


Fig. 4.2.2.2 La suddivisione secondo Scholl & Becker

La classificazione individua due classi generali.

SALBP, rilevante per linee con layout “in linea” in cui l’unico vincolo è il rispetto del ciclo delle precedenze e articolato secondo le sottocategorie:

- *Tipo-1*, dato un tempo ciclo fisso cerca di minimizzare il numero di stazioni k

³⁸ Becker C., Scholl A., 2006, A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, vol. 168, pp. 694–715

- *Tipo-2*, si occupa di minimizzare il tempo ciclo T_c (massimizzare la produttività Q) in funzione di un dato numero di postazioni
- *Tipo-E*, è la versione più generale del problema e si interessa della massimizzazione dell'efficienza E^{39} della linea, minimizzando contemporaneamente sia il numero di stazioni sia il tempo ciclo
- *Tipo-F*, analizza la fattibilità della linea per una data combinazione di k e T_c

GALBP, che generalizza la caratterizzazione del *Simple Assembly Line Balancing Problem* ed estende la trattazione considerando fattori come l'*equipment selection*, le alternative di processo e restrizioni nell'assegnazione dei task:

- *MALBP/MSP*, affronta il caso di linee *mixed model* individuando il numero di postazioni e relativo tempo ciclo (in funzione del mix e delle caratteristiche di assemblaggio dei vari modelli) che garantiscano un bilanciamento finalizzato all'ottimizzazione di obiettivi economico-produttivi. L'interesse è quello di sviluppare un cosiddetto *horizontal balancing* che minimizzi le inefficienze produttive come fermo linea, *work overload* e lavorazioni fuori linea, attraverso l'individuazione della corretta sequenza produttiva (*Mixed Model Sequencing Problem*)
- *UALBP*, relativo al bilanciamento di linee con configurazione a "U-shaped"⁴⁰ con particolare interesse all'influenza data dal diagramma delle precedenze

<i>Capacity oriented goals</i> , attraverso l'analisi dell'efficienza	<i>Cost oriented goals</i> , considerando sia i costi operazionali sia gli
---	--

³⁹ L'efficienza di una linea è comunemente calcolata come: $E = \frac{\sum_i t_i}{k * T_c}$ (31, pag. 69)

⁴⁰ Paragrafo 2.1, pag. 21

della linea (min. k , min. T_c , min. <i>balance delay time</i> e <i>balance delay</i> percentuale)	investimenti a lungo termine (es. macchinari e attrezzature, manodopera, materiale)
--	--

Tab. 4.2.2.2 Objective criteria secondo Scholl (2009)

4.2.3. Algoritmi di bilanciamento

La varietà e la complessità delle combinazioni dell'ALBP comporta enormi difficoltà al livello computazionale e per permettere il raggiungimento di soluzioni ottimali sono stati sviluppati una serie di algoritmi di bilanciamento dedicati alle varie situazioni.

Le principali metodologie disponibili in letteratura fanno riferimento a tre macro-categorie: esatte, euristiche e manuali o per tentativi. Nonostante i recenti progressi nella formulazione dei problemi e nell'efficienza delle procedure risolutive, le tecniche di ottimizzazione basate sulla programmazione *network-based* sono ancora limitate dal punto di vista computazionale e per questo in molte realtà operative vengono ancora adottati approcci *trial and error* o completamente manuali.

In ogni caso, indipendentemente dal metodo scelto per la risoluzione, le possibili soluzioni sono limitate dalla presenza di vincoli come rispetto del tempo ciclo, rispetto delle precedenze tecnologiche e mono-assegnabilità dei task, che vanno a restringere le possibili combinazioni di assegnazione delle operazioni.

Di seguito sono presentati gli algoritmi utilizzati per lo sviluppo del progetto aziendale.

4.2.3.1. *LCR-Largest Candidate Rule*

Il metodo rientra a far parte della categoria dei modelli euristici ed è applicato per risolvere principalmente problemi di tipo SALBP-1, con l'intento di ottimizzare il numero di stazioni della linea.

I dati input presi in considerazione dall'algoritmo sono il numero dei task, il diagramma delle precedenze, il tempo ciclo e la durata delle operazioni. La procedura si articola secondo:

1. Ordinamento temporale decrescente dei task
2. Assegnazione delle operazioni in riferimento alle precedenze tecnologiche a partire da quella di durata maggiore
3. Aggiunta dei task in riferimento all'ordinamento di cui sopra con l'accortezza che il tempo totale di assemblaggio della stazione *k-esima* non ecceda il tempo ciclo (saturazione del 100%)
4. Qualora non sia possibile rispettare il vincolo imposto dal tempo ciclo è necessario creare una nuova stazione
5. Iterazione del metodo fino all'esaurimento dei task

In riferimento al bilanciamento così ottenuto, è opportuno quantificarne l'efficienza come già indicato, e verificare che sia compresa in un intorno dell'85÷90%.

4.2.3.2. *RPW-Ranked Positional Weight*

L'algoritmo sviluppato da Helgeson e Birnie (1961) fa parte nuovamente della categoria degli euristici e condivide con il precedente il problema e i dati di input.

Il metodo prevede di calcolare un peso specifico per ogni task *i-esimo* secondo:

$$RPW_i = t_i + \sum_{h \in S_i} t_h \quad (11)$$

dove RPW_i indica l'*i-esimo* peso calcolato, facendo riferimento alla durata t_i e alla somma dei tempi t_h dei rispettivi successori.

Una volta calcolati i pesi di tutti i task e ordinati in ordine decrescente, si procede analogamente con quanto riportato al paragrafo 4.2.3.1 con l'attenzione di inserire le nuove operazioni prendendo come riferimento i relativi pesi e non la durata delle attività.

In completa analogia, il valore del bilanciamento deve aggirarsi attorno all'85÷90% per garantire un bilanciamento opportuno.

4.2.3.3. *Patterson & Albracht*

Il metodo fa parte della classe degli algoritmi “esatti” con risoluzione basata su criteri di PLI⁴¹ e nasce per l'ottimizzazione della produttività delle linee di assemblaggio, riguardanti problemi di tipo ALBP-F e adattabile anche a quelli di tipo ALBP-2.

⁴¹ **PLI**: Programmazione Lineare Intera; tratta il problema della massimizzazione (minimizzazione) di una funzione a più variabili, soggetta a vincoli di uguaglianza o disuguaglianza ed alle restrizioni che una o più variabili possano assumere soltanto valori interi

I dati di input sono i medesimi già riportati e alla base del procedimento è presente l'introduzione di una variabile binaria x_{ik} :

$$x_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{se task } i - \text{esimo è assegnato alla stazione } k - \text{esima} \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Al fine di limitarne il numero è necessario l'inserimento di due parametri che vanno a individuare l'intervallo di assegnazione del task i -esimo. In particolare, gli estremi di tale intervallo sono rispettivamente calcolabili come:

$$E_i = \left\lceil \frac{t_i + \sum_{h \in P_i} t_h}{T_c} \right\rceil \quad (12)$$

$$L_i = (k + 1) - \left\lfloor \frac{t_i + \sum_{h \in S_i} t_h}{T_c} \right\rfloor \quad (13)$$

Dove con P_i e S_i si individuano i predecessori e i successori dell'operazione i -esima.

Per far sì che l'algoritmo sia in grado di rispettare i vincoli imposti dal problema è necessario formularli come:

- Mono-assegnabilità (n.° di vincoli=n.° di attività)

$$\sum_{k \in [E_i; L_i]} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (14)$$

- Rispetto del tempo ciclo (n.° di vincoli=n.° di stazioni)

$$\sum_{i \in B_k} x_{ik} * t_i \leq 100\% T_c \quad (15)$$

Dove con B_k si individuano le attività assegnabili alla stazione k . Spesso è preferibile non imporre la saturazione totale della stazione ma limitarsi a raggiungere un 90÷95% per le questioni elencate nel paragrafo 4.2.1.

- Rispetto delle precedenze tecnologiche (n.° di vincoli=n.° archi nel grafo)

$$\sum_{k \in [E_h; L_h]} x_{hk} * k \leq \sum_{k \in [E_i; L_i]} x_{ik} * k \quad (16)$$

La scelta della soluzione (esatta) al problema dipende dalla funzione obiettivo FO che il metodo PLI deve ottimizzare:

1. Smoothness Index SX

$$SX = \sum_k \left| \sum_{i \in B_k} (x_{ik} * t_i) - \tau \right| \text{ da minimizzare} \quad (17)$$

$$\text{Con } \tau = \frac{\sum t_i}{k} \text{ tempo medio di carico della stazione } k \quad (18)$$

2. Massimizzazione delle produttività

Minimizzazione del collo di bottiglia=min. {max *ST-Station Time*}

$$\max ST = \max \{ \sum x_{ik} * t_i \mid \forall k \} \text{ da minimizzare} \quad (19)$$

Tuttavia, oltre alle difficoltà applicative imposte a livello computazionale, l'algoritmo è limitato dal fatto che pretende l'utilizzo di tempi deterministici (no dati stocastici o distribuzioni temporali) e la durata di tutti i task deve essere inferiore al tempo ciclo dettato dalla cadenza della linea.

4.2.3.4. Manuali

Fanno parte della categoria dei metodi *trial and error* e permettono di rispondere ai problemi più generali dell'ALBP qualora il numero dei task sia limitato, in modo da non aggravare i tempi computazionali e da individuare soluzioni accettabili.

Oltre a rispettare i principali vincoli del problema (4.2.3.1) permettono di affrontare altre questioni, difficilmente formulabili e implementabili all'interno di un algoritmo ricorsivo puramente matematico, soprattutto nel caso di linee *multi* o *mixedmodel*. In riferimento al caso aziendale, è possibile citare a titolo esemplificativo la minimizzazione del *material handling*, l'assegnazione di task simili all'intero della stessa stazione per limitare il fabbisogno macchine e la creazione di stazioni dedicate sviluppate *ad hoc* per trattare le operazioni *strangers* a bassa frequenza.

4.2.4. Indici di valutazione

Per il confronto e la scelta del miglior bilanciamento è opportuno affidarsi a degli indici di valutazione dal punto di vista temporale.

Come prima cosa è necessario definire alcuni parametri:

- Tempo dedicato al modello m nella stazione k

$$\tau_{mk} = \sum_{i \in B_k} t_{im} \quad (19)$$

- Tempo medio di carico delle stazioni durante l'assemblaggio del modello m -esimo

$$\tau_m = \frac{\sum_k \tau_{mk}}{k} \quad \forall k \quad (20)$$

- Violazione del tempo ciclo per il modello m nella stazione k

$$\Delta_{mk}^* = \max\{0; \tau_{mk} - T_c\} \quad (21)$$

- *Idle Time* della stazione k per il modello m

$$\Delta_{mk} = \max\{0; T_c - \tau_{mk}\} \quad (22)$$

Il bilanciamento di una linea viene definito come:

$$\text{Bilanciamento } \% = \frac{\tau_m}{\max\{ST\}} * 100\% = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M t_{mk}}{k * T_c} \quad \forall m, k \quad (23)$$

Nel caso in cui la linea d'interesse sia di tipo *multimodel* ci si affida a due indicatori:

1. Somma degli scarti

$$\psi_1 = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \%q_m |\tau_{mk} - \tau_m| \quad \text{con } \%q_m: \text{mix produttivo} \quad (24)$$

La soluzione migliore è individuata dal bilanciamento che minimizza tale valore, andando a limitare la perdita di efficienza del sistema.

2. Scarto massimo

$$\psi_2 = \max\{|\tau_{mk} - \tau_m|\} \quad \forall m, k \quad (25)$$

Da valutare esclusivamente a parità di sbilanciamento ψ_1

Qualora il caso di studio proponesse un sistema *mixedmodel*:

3. Somma delle violazioni del tempo ciclo (*Total Work Overload*)

$$\psi_3 = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \%q_m * \Delta_{mk}^* \quad (26)$$

4. Total Idle Time

$$\psi_4 = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \%q_m * \Delta_{mk} \quad (27)$$

5. Massima violazione del tempo ciclo (Max Work Overload)

$$\psi_5 = \max\{\Delta_{mk}^*\} \quad \forall m, k \quad (28)$$

6. Max Idle Time

$$\psi_5 = \max\{\Delta_{mk}\} \quad \forall m, k \quad (29)$$

La scelta deve preferire *in primis* la soluzione che minimizza gli indicatori ψ_3 e ψ_4 e solo successivamente i due rimanenti.

Altri KPI generali di cui è possibile usufruire per stabilire la bontà della soluzione trovata sono:

- SX-Smoothness Index (eq. 17)
- Saturazione percentuale della stazione *k-esima* per il modello *m-esimo*

$$Sat_{.mk} \% = \frac{t_{mk}}{\max ST} * 100\% \quad \text{con } t_{mk}: \text{station time} \quad (30)$$

- Balance Delay

$$BD = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \Delta_{mk}}{k * T_c} * 100\% \quad \forall m, k \quad (31)$$

4.3. Rendimento

La valutazione del rendimento generale di un impianto è fondamentale non solo per individuare le perdite di performance delle risorse impiegate ma anche in fase di *budgeting* e analisi dei costi.

In ambito industriale, in particolare in riferimento al contesto delle linee di assemblaggio, tale indicatore è sostanzialmente frutto di due fattori: l'efficienza e il bilanciamento della linea.

In altre parole, il rendimento generale può essere calcolato come:

$$RENDIMENTO = OEE * Bilanciamento \quad (33)$$

Per valutare quello che è l'impatto economico della prestazione globale del reparto, ai fini del progetto e secondo la modellazione adottata in Tecnica Group S.p.A., è sufficiente seguire la formulazione che segue.

L'analisi effettuata, descritta nel capitolo 5, da un punto di vista economico va ad intervenire esclusivamente sulla quota relativa al costo diretto di manodopera secondo:

$$Costo \ impianto = \frac{h_{funzionamento \ impianto} \times n.^{\circ} \ operatori \times C_{std,mdp}}{rendimento} \quad (34)$$

Dove con $C_{std,mdp}$ si intende il costo standard della manodopera, espresso come €/h o più tipicamente €/min.

La restante componente del costo diretto, ovvero il consumo di materiali previsto dalle distinte base, non viene influenzato dai fattori finora descritti. In Tecnica Group S.p.A. le quote relative a costo orario macchina, consumo energetico, ammortamenti, investimenti e spese generali, vengono espresse come *overhead* percentuale sul costo (industriale) del prodotto finito⁴², a sua volta definita in fase di *budgetting*. Anche in questo caso tale contributo non è soggetto a variazioni, ai fini della valutazione dell'impatto economico del progetto.

Da qui la necessità di andare ad intervenire sia sull'ottimizzazione delle logiche di assegnazione dei task ai vari centri di lavoro (come riportato nel

⁴² Il costo del prodotto finito è funzione dei costi diretti (materiale, manodopera), di trasporto e tiene conto anche dei materiali di consumo per cui vengono preventivati i fenomeni dell'obsolescenza o dell'extra-consumo

cap. 5 in riferimento al caso aziendale), sia sull'implementazione di sistemi che massimizzino in modo opportuno gli elementi condizionanti l'efficienza globale dell'impianto nella loro totalità, intervenendo sull'intera *Value Chain* coinvolta.

Di seguito è presentata la situazione generale in Tecnica group S.p.A. (Fig. 4.3.1.), in cui l'obiettivo è quello di incrementare i valori attuali, aumentando il rendimento dell'intero stabilimento e stabilizzandolo intorno all'77% complessivo⁴³.

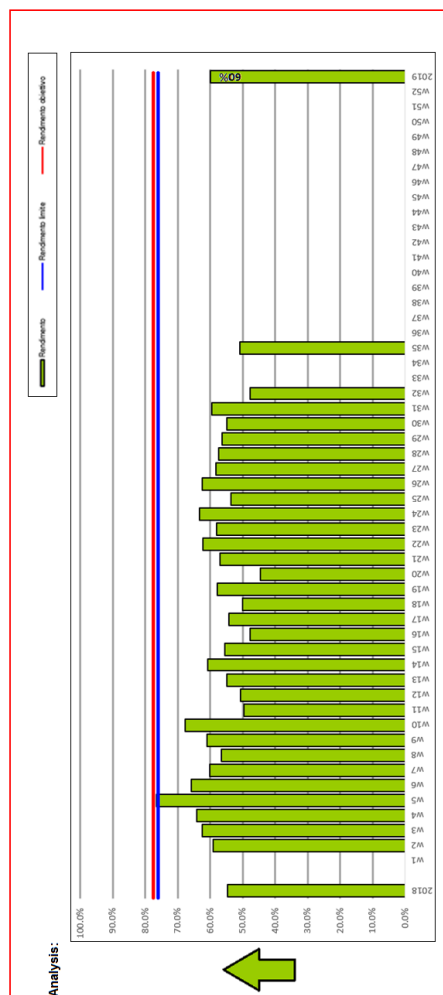


Fig. 4.3.1 Il rendimento complessivo del reparto di assemblaggio di Nagyálló

⁴³ L'obiettivo è fissato al 77%, valore del rendimento utilizzato per il calcolo dei costi standard del reparto assemblaggio; nel caso in cui si superasse tale limite l'azienda godrebbe di benefit economici, a differenza della realtà attuale in cui l'andamento è peggiorativo rispetto a quanto preventivato per via teorica

5. Il caso aziendale

Il capitolo relativo alla presentazione del caso aziendale si apre con l'introduzione alla realtà attualmente presente all'interno di Tecnica Group S.p.A., evidenziando le criticità principali e gli obiettivi prefissati dal progetto in questione.

Di seguito è illustrata la strategia d'intervento, attraverso una serie di operazioni preliminari necessarie all'avvio dell'attività e i diversi approcci sperimentali analizzati per l'effettivo ribilanciamento della linea di assemblaggio.

Infine sono riportate le soluzioni implementate per l'effettivo raggiungimento degli obiettivi proposti, con opportuni richiami e confronti con l'*AS IS*.

5.1. L'*AS IS*

L'analisi dell'odierna realtà del reparto di assemblaggio di Tecnica Group ha fatto emergere diverse criticità logistico-prestazionali riconducibili sia a fattori a monte della produzione, quali lo sviluppo di un *Production Plan* inadeguato in termini di mix produttivo (da un punto di vista tecnologico) e la mancanza di un responsabile della produzione in fase di sviluppo e *engineering* dei nuovi prodotti, sia ad una scarsa attenzione nell'impiego delle risorse produttive, che ad oggi restituiscono uno stato dello sfruttamento della *Value Chain* coinvolta piuttosto grezzo.

L'AS IS del reparto restituisce infatti i seguenti indici prestazionali (Tab. 5.1.1), non competitivi e nettamente inferiori rispetto a quanto preventivato in fase di definizione dei KPI descritti (cap. 4):

Indice disponibilità	92.8%
Indice efficienza produttiva	94.9%
Indice efficienza qualitativa	94.47%
OEE	83.2%
Bilanciamento	72.1%
Rendimento	60.0%

Tab. 5.1.1. L'AS IS del reparto (l'andamento di OEE e rendimento è riportato nel capitolo 4)

In particolare, risultano insoddisfacenti i dati relativi al bilanciamento medio presente nelle quattro linee di assemblaggio e al rendimento globale del reparto, che si dimostra essere notevolmente in contrasto con quanto imposto in fase di definizione dei costi standard (riferimento 43, pag. 71).

Le cause sono riconducibili ad una combinazione di elementi che verranno analizzati di seguito.

Uno dei problemi principali è lo sviluppo del tutto indipendente dei bilanciamenti relativi ai vari modelli, che trascura la filosofia della standardizzazione dei processi sia termini di sequenze operative, sia di cadenza della linea (Fig. 5.1.1); difficoltà aggravata dal fatto che il mix produttivo, dettato dalla pianificazione della produzione, impone l'assemblaggio di scarponi appartenenti a progetti completamente estranei tra di loro, con conseguenti difficoltà nella preparazione della linea (attrezzaggio, alimentazione delle stazioni, reperimento del personale) e

riduzione dell'efficienza produttiva dovuta al mancato ripetersi di eventuali operazioni standard.

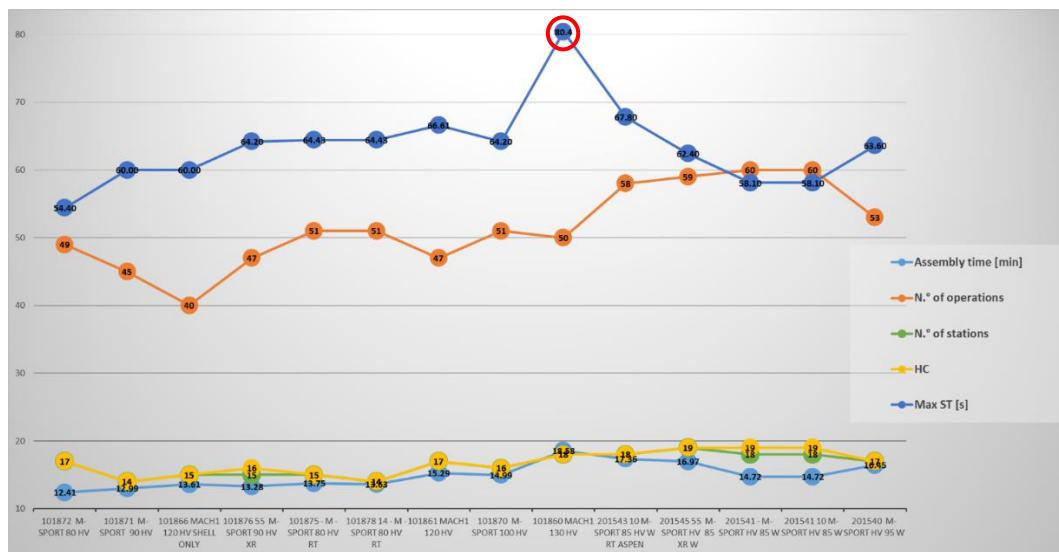


Fig. 5.1.1 Dimostrazione dell'assenza di standardizzazione in fase di bilanciamento nonostante i modelli facciano parte di uno stesso progetto (Merak); sono riportati esclusivamente i modelli assemblati internamente

Un sistema di questo tipo, con un processo spinto e a personale variabile, implica inoltre una riduzione della disponibilità effettiva della linea. Infatti un'analisi ABC (Fig. 5.1.2) condotta sui report delle stagioni produttive 2018 e 2019 ha mostrato che tra le cause principali di fermo linea è presente il cambio modello, sintomo che tale approccio va a peggiorare la prestazione del reparto non solo dal punto di vista del bilanciamento, ma anche da quello dell'OEE. Criticità aggravata dalla questione dell'assenteismo, dal continuo *turn over* del personale scarsamente preparato ai task da eseguire e dal fatto che in molti casi è stato riscontrato una completo mancato rispetto dei bilanciamenti proposti da parte dei responsabili delle manovie, sintomo di scarso coinvolgimento del personale (*employee involvement*).

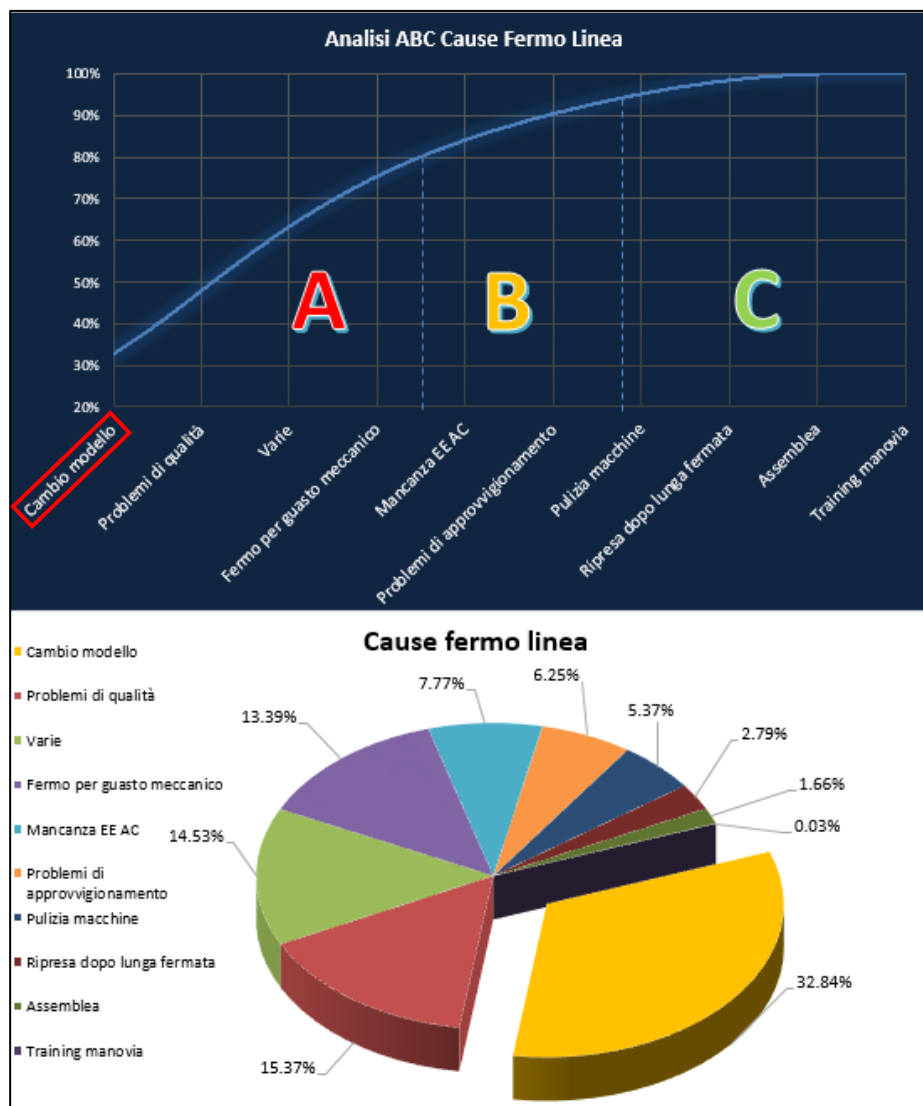


Fig. 5.1.2 Analisi ABC sulle cause di arresto linea

Un'altra fonte di perdita di efficienza è imputabile a un layout di linea non funzionale da un punto di vista logistico-produttivo, così come dimostrato da un'analisi condotta col metodo *Spaghetti Chart*⁴⁴ (Fig. 5.1.3).

⁴⁴ La mappatura Spaghetti Chart è utile per visualizzare i flussi fisici di materiale - e di persone e documenti - e può essere applicata sia in ambito manifatturiero che *office*. Permette di evidenziare tutte le movimentazioni (*muda*), tutti gli incroci effettuati frutto di un layout non ottimale, i metri - o a volte i chilometri - percorsi durante il ciclo produttivo e numerose altre informazioni utili

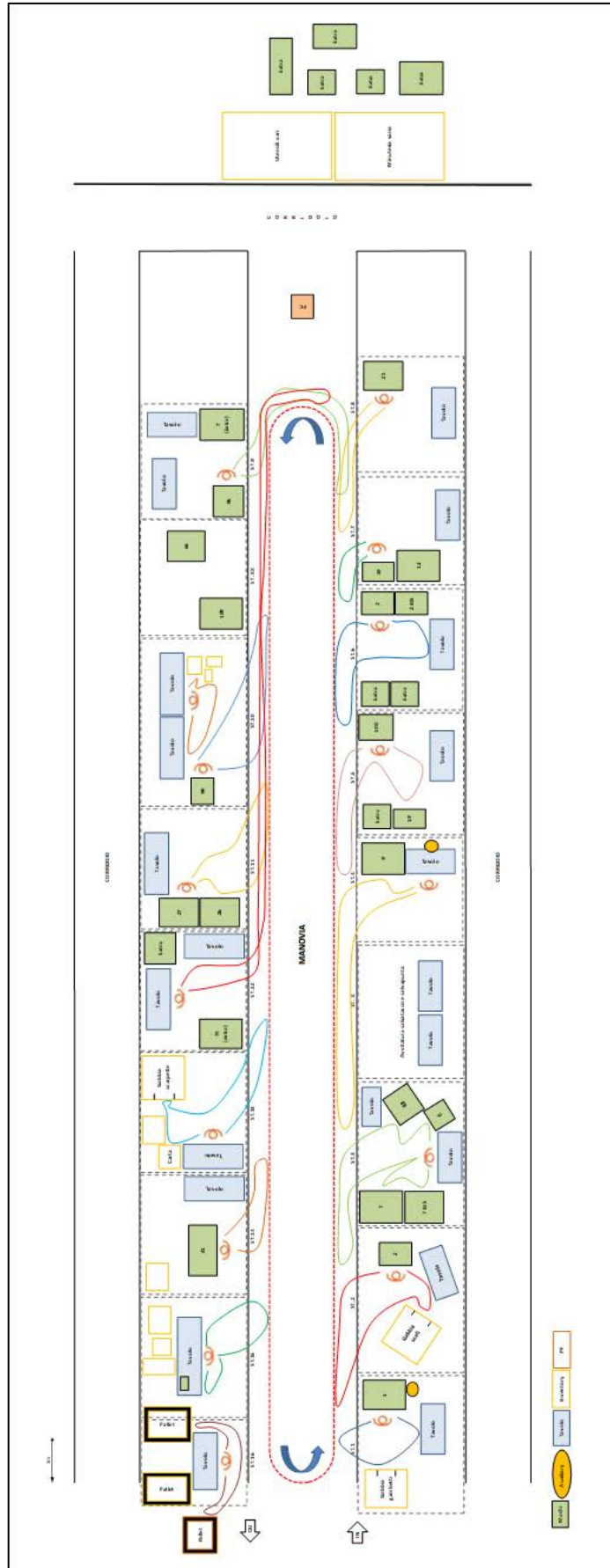


Fig. 5.1.3
Layout AS
IS e
analisi dei
flussi
tramite
Spaghetti
Chart

Emergono immediatamente problematiche legate alle movimentazioni a non valore aggiunto che gli operatori sono costretti ad eseguire, frutto anche di un bilanciamento delle attività non ottimizzato. Lampanti sono i casi delle stazioni 4, 9 e 12 che vedono gli addetti spostarsi nei tragitti di andata e ritorno per ben 10, 16 e 24 metri ad ogni ciclo operativo, ma più in generale ogni postazione comporta un notevole dispendio temporale nel solo *handling* dei pezzi.

Inoltre, anche a causa delle notevoli movimentazioni, il concetto di *One Piece Flow Production* è totalmente estraneo al sistema di assemblaggio di tutte le linee.

Allo stesso modo, anche la questione del cambio modello risulta scarsamente implementata e le principali cause sono individuabili in:

- Movimentazione manuale dei macchinari (con rischio di infortuni e di danneggiamento delle attrezzature), anche da aree distanti dalle singole postazioni
- Presenza all'interno delle stazioni di macchinari *extra*, non necessari alle operazioni previste dalle sequenze operative
- Perdita di tempo nella ricerca degli strumenti necessari al *set up* (disposti casualmente all'interno del *workplace*)
- Mancata divisione dei compiti, con operatori "oziosi" fino all'arrivo del responsabile dell'attrezzaggio
- Scarsa saturazione del *floor space*, come nel caso delle stazioni X e XX con frequenza di utilizzo estremamente limitata

Infine, la gestione del *part feeding* si è dimostrata progettata sommariamente soprattutto nel caso della minuteria, che risulta gestita in modo grossolano attraverso un rifornimento casuale direttamente dagli

imballaggi di fornitura (grossi scatoloni) con caduta di materiale e conseguente spreco.

A fronte delle problematiche riscontrate in linea, si è scelto di agire attraverso un ribilanciamento di una linea adottata come sperimentale, nell'ottica di implementare una realtà standard a più famiglie con l'introduzione di una modalità operativa *push* a Takt Time costante, con fornitura dei componenti a *kanban - Just in Sequence*. Inoltre il progetto è sostenuto da un'ottimizzazione globale grazie allo sviluppo di attività SMED e di un nuovo layout operativo, che vadano ad intervenire sia sulla tematica dell'attrezzaggio sia su quella dell'alimentazioni delle postazioni.

Concretamente, è stata sviluppata la seguente checklist d'intervento:

1. Analisi archivio cicli di assemblaggio con individuazione delle operazioni di tipo *runners* e *strangers* (alta e bassa occorrenza)
2. Mappature della precessione delle operazioni
3. Clusterizzazione dei modelli al fine di ottenere gruppi omogenei per tipologia di operazioni necessarie
4. Progettazione di una linea di assemblaggio standard *multimodel* per il cluster individuato, con riduzione del numero di operazioni
5. Individuazione del Takt ottimale con riduzione del tempo ciclo
6. Progettazione di postazioni standard, per singola operazione o per gruppo di task
7. Individuazione di soluzioni per gestire le operazioni *strangers* compatibilmente con il Takt e il bilanciamento ottimale della linea

Allo stesso modo è stato necessario quantificare gli obiettivi nel rispetto dei vincoli imposti dal sistema:

- Implementare una linea standard ma che lavori con il massimo bilanciamento possibile

- Incrementare l'effettiva disponibilità della linea fino a un OEE dell'85%
- Raggiungere un rendimento del 77%, in accordo con quello utilizzato per la valutazione dei costi standard di assemblaggio
- Sviluppare postazioni di lavoro che siano in grado di operare con un tempo ciclo $T_c \cong 60$ s. Due sono i motivi principali:
 - Pianificativo, per garantire un flusso sufficiente e in accordo con il Production Plan
 - Tecnico, per evitare criticità in fasi di cambio modello grazie ad una cadenza della linea pressoché costante (il tempo ciclo scelto è in grado di soddisfare i vincoli operativi imposti dai modelli che verranno poi selezionati)

5.2. Operazioni preliminari per la creazione di una linea standard

Al fine di condurre un'opportuna attività d'intervento per superare le criticità evidenziate, è stato necessario affrontare il problema sviluppando una serie di operazioni preliminari che potessero porre le basi e fornire i dati input per il piano d'azione precedentemente schematizzato.

In primis, è stata condotta un'analisi sull'archivio cicli del reparto e sulle previsioni di produzione dei vari progetti sviluppati da Tecnica Group, in modo da mettere in evidenza i task ad alta occorrenza e le potenziali famiglie di prodotto da inserire all'interno della linea sperimentale. Anche in questo caso si è ricorsi all'utilizzo dell'analisi ABC in funzione della frequenza operazioni e dei volumi di produzione dettati dai forecast, come riportato in Fig. 5.2.1.

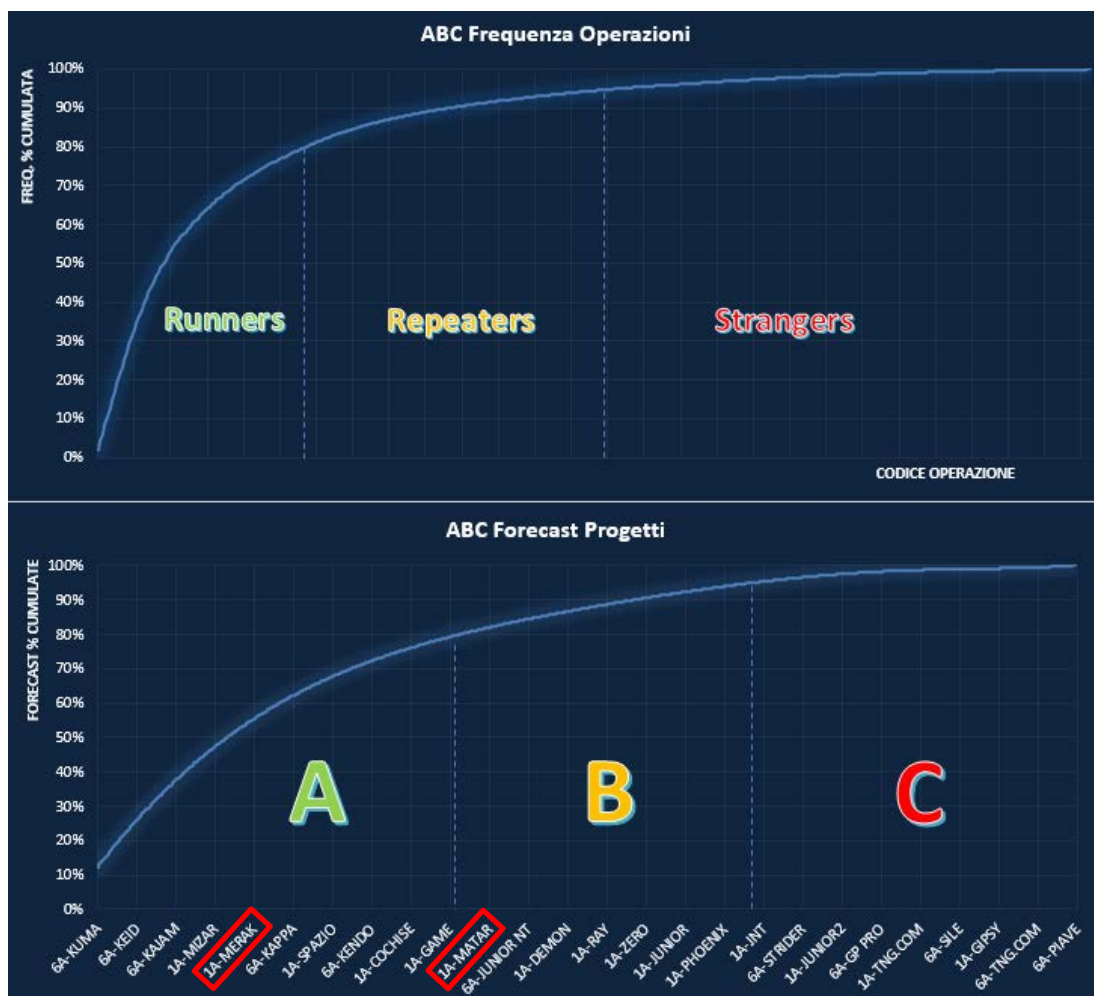


Fig. 5.2.1 Analisi ABC condotta sull'archivio cicli e sui forecast dei progetti di Tecnica Group S.p.A.; evidenziate in rosso le due famiglie che saranno poi destinate al progetto

L'elaborazione è stata condotta su oltre 400 task e l'integrazione con i risultati derivanti dalle previsioni di produzione e con le informazioni globali contenute all'interno dell'archivio cicli, ha permesso di combinare il tutto all'interno di un'unica mappa informativa (Fig. 5.2.2) di tipo PFEP- Product For Every Plan, contenente indicazioni relative agli aspetti tecnici (codici, tempi e attrezzature dei vari task), pianificativi (forecast) e produttivi (minuti totali previsti di assemblaggio per ogni modello) che si sviluppa secondo uno schema cromatico (*visual management*) in funzione della complessità operativa richiesta da ogni operazione, per ogni singolo modello.

Una volta stabilita una base introduttiva per il progetto, è stato eseguito un intervento di clusterizzazione dei modelli per andare a stabilire definitivamente quali dovessero essere le famiglie di prodotto affini, in grado di alimentare la produzione in una linea standard. In particolare è stato adottato il metodo PFA⁴⁵-Product Flow Analysis secondo i seguenti step:

1. Creazione di una matrice binaria d'incidenza (task-modelli) alimentata dalla variabile a_{ij}

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se attività } i - \text{esima e svola per il prodotto } j \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

2. Applicazione dell'algoritmo ROC riorganizzando le righe e successivamente le colonne per pesi decrescenti

$$P_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} * 2^{n-j} \quad (35)$$

$$P_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} * 2^{m-i} \quad (36)$$

3. Creazione effettiva dei cluster

Il caso aziendale, descritto brevemente in Fig. 5.2.4, ha permesso di individuare due famiglie di prodotto che soddisfacessero tutti i requisiti richiesti per sostenere la creazione di un linea standard: *Merak* e *Matar*, per un totale di 35 modelli, in grado di occupare la linea per un'intera stagione produttiva grazie ai forecast previsti. In particolare l'opera di clusterizzazione ha consentito di individuare dei sottogruppi di modelli, che saranno poi tenuti in considerazione in fase di bilanciamento delle operazioni *strangers*, come nel caso di due modelli con applicazione di leve e rastrelliere tramite avvitatura (*Screwed*) e quelli del mondo *Woman*.

⁴⁵ Metodo di King (1979) con applicazione dell'algoritmo ROC-Rank Order Clustering

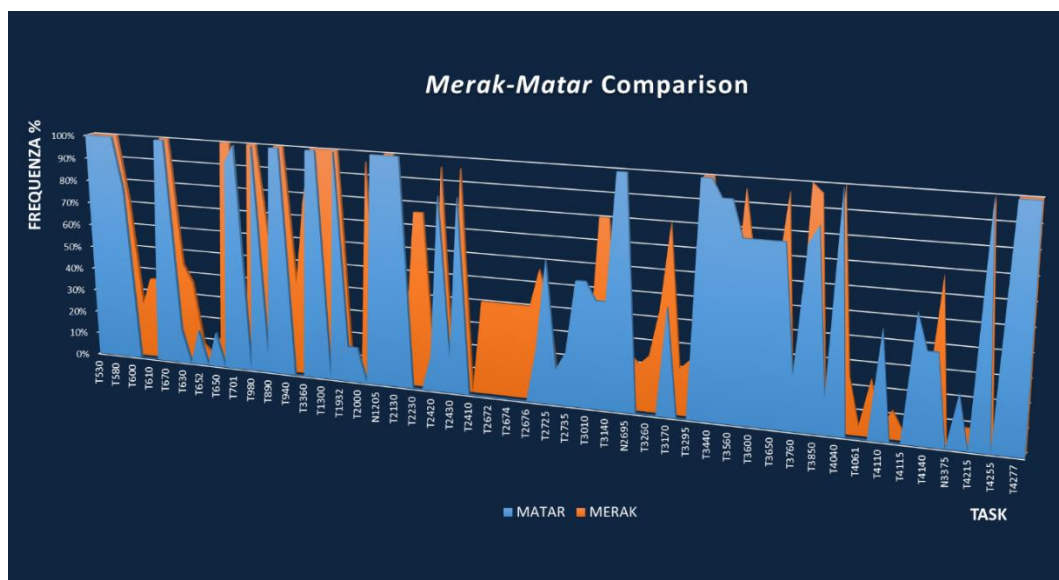


Fig. 5.2.6 Confronto sulla frequenza delle sequenze di assemblaggio di Merak e Matar

Successivamente, è stato necessario eseguire un'opera sul campo di verifica e aggiornamento dell'archivio cicli, per accertarsi dell'effettiva realizzazione o meno dei task prescritti dalle sequenze operative ed eliminare i casi ridondanti. L'attenzione è stata posta soprattutto sulle operazioni a più alto rischio da un punto di sia vista tecnologico (es. borchatura scafo e gambetto), sia di durata (possibili colli di bottiglia). L'attività ha permesso, come verrà riportato nel paragrafo relativo ai risultati dello studio, di ridurre il numero di operazioni, eliminando le operazioni obsolete (es. carico in manovia degli scafi all'interno di sacchetti, ecc.) o realizzate in contemporanea ad altre previste dai bilanciamenti (es. orientamento borchie *canting*, controllo funzionale *Calf-Adapter*, ecc.), contribuendo così a facilitare il ribilanciamento della linea standard.

Di particolare importanza è stata l'analisi condotta sui tempi dei task, che attraverso una loro verifica ed eventuale correzione ha permesso il controllo

dei tempi *secchi*⁴⁶. Successivamente si è scelto di adottare una maggiorazione con un incremento del 4%, imputando esclusivamente il contributo dovuto alla fatica imposta agli operatori dal carico di lavoro⁴⁷.

Infine l'analisi attraverso operazioni preliminari si è conclusa con la definizione dei cicli delle precedenze, che in Tecnica Group S.p.A. non erano attualmente in uso; diagrammi che rappresentano un prerequisito per lo sviluppo di attività di bilanciamento con tecniche *LCR*, *RPW* e *P&A*, ma fondamentali soprattutto nel momento in cui tale implementazione sia affidata a personale con scarsa esperienza sui cicli tecnologici di assemblaggio. A titolo esemplificativo sono riportati i diagrammi delle precedenze relativi a tre modelli ad alti volumi produttivi, e rappresentativi delle tre categorie di mercato coperte dalle due famiglie: *Piste-High Performance*, *Piste-Rental*, *Piste-Woman* (Allegati 9, 10, 11).

⁴⁶ Durata dell'operazione netta, in assenza di maggiorazioni

⁴⁷ Non sono state considerate altre maggiorazioni, soprattutto se legate a fabbisogni fisiologici, in accordo con la normativa ungherese

5.3. Presentazione degli algoritmi di bilanciamento

Lo sviluppo di tecniche di bilanciamento affini alla creazione di una linea standard, presuppone la definizione di alcuni criteri e vincoli (oltre a quelli classici dell'ALBP) che i vari algoritmi devono rispettare per garantire un'elevata efficienza operativa.

Per l'implementazione del caso aziendale sono stati adottati i seguenti parametri:

- Creazione di stazioni di assemblaggio standard sulla base della frequenza operazioni, svolte esclusivamente in linea
- Dimensionamento della linea secondo un ritmo di avanzamento nell'intorno del minuto
- Inserimento prioritario dei task ad alta occorrenza (*runners*)
- Minimizzazione dell'*handling* e della movimentazione del semilavorato (anche in funzione alla diminuzione del rischio di danneggiamento dei componenti)
- Concentrazione di lavorazioni simili all'interno della stessa postazione di lavoro, in modo da limitare il fabbisogno macchine
- Attenzione alle criticità dovute al *part feeding*
- Aggiunta delle operazioni *strangers* all'interno di stazioni dedicate, da bypassare in caso di mancata necessità
- Progettazione di un layout funzionale dal punto di vista ergonomico

In particolare, l'attività di bilanciamento non è vincolata dal numero di stazioni e/o operatori ma è finalizzata all'esclusiva massimizzazione del bilanciamento standard della linea (problema *MALPB/MSP*).

Inoltre, è stato sviluppato un foglio di lavoro standard (Fig. 5.3.1) al fine di ottimizzare l'analisi e l'attività di bilanciamento dei vari modelli,

contenente i dati di input e output necessari all'implementazione del progetto.

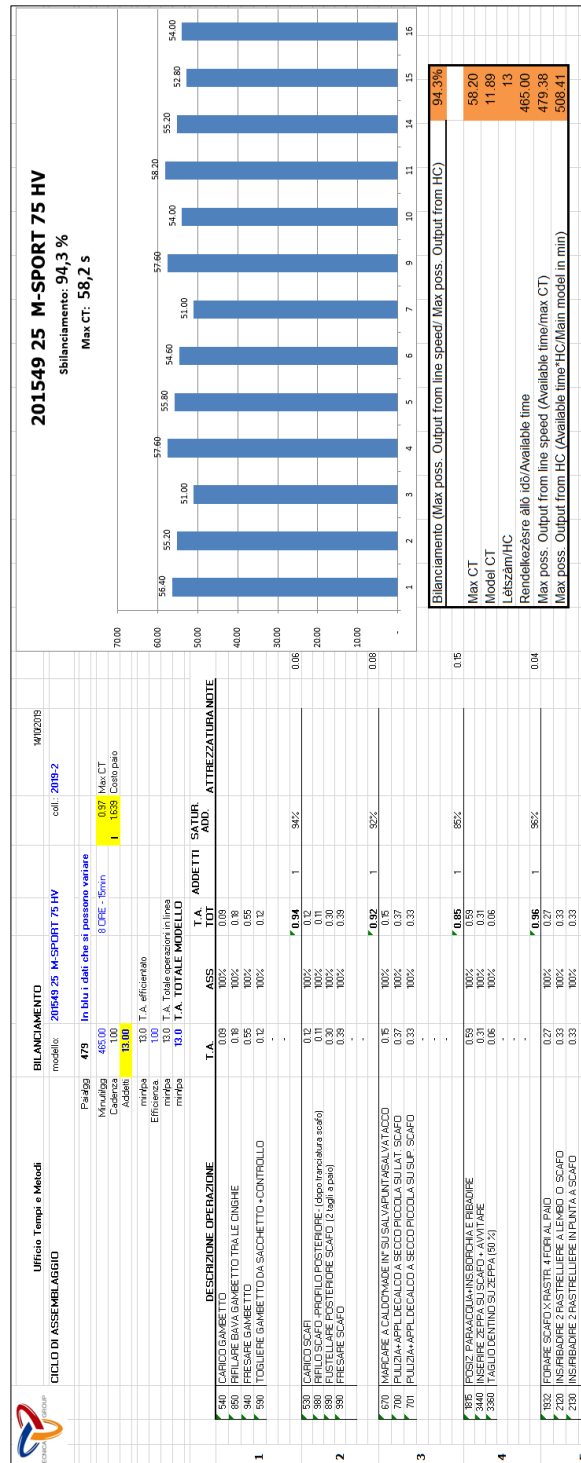


Fig. 5.3.1 Il foglio di lavoro standard implementato per facilitare l'attività di bilanciamento

Di seguito gli algoritmi utilizzati nel corso del progetto.

- Impossibilità della creazione di un layout comune (anche all'intero della stessa famiglia)
- Necessità di duplicare le risorse produttive (investimenti notevoli)
- Bilanciamento che non segue un flusso logico delle operazioni
- Necessità di suddividere alcune operazioni critiche in più stazioni
- *Handling* non ottimizzato, con numerose riprese del materiale
- Presenza di postazioni di lavoro scariche (elevato *Idle Time* puntuale)
- Difficoltà nel trattare le operazioni *strangers* (impossibilità di creare stazioni dedicate)
- *Part feeding* non considerato

5.3.2. RPW-Ranked Positional Weight

In seguito all'impossibilità di procedere tramite LCR si è valutata la possibilità di sviluppare il progetto tramite algoritmo *Ranked Positional Weight* (Fig. 5.3.2.1), analizzando i medesimi modelli del caso precedente.

				Frequency	RPW
530	CARICO SCAFI	0.12		25	10.18
990	FRESARE SCAFO	0.39		25	8.75
700	PULIZIA+APPL.DECALCO A SECCO PICCOLA SU LAT. SCAFO	0.37		25	8.73
701	PULIZIA+APPL.DECALCO A SECCO PICCOLA SU SUP. SCAFO	0.33		25	8.69
1290	APPL. ETICHETTE AD. TAGLIA SU SCAFO (Punta)	0.16		25	8.52
1300	APPL. ETICHETTE AD. TAGLIA SU SCAFO (Tacco)	0.16		25	8.52
670	MARCARE A CALDO "MADE IN" SU SALVAPUNTA/SALVATACCO	0.15		25	8.51
690	MARCARE CODICE STAB./LABORATORIO	0.14		25	8.5
590	TOGLIERE GAMBETTO DA SACCHETTO +CONTROLLO	0.12		19	8.24
540	CARICO GAMBETTO	0.09		25	8.12
940	FRESARE GAMBETTO	0.55		25	7.64
2035	FORARE GAMBETTO X FASCIA VELCRO (4 fori palo)	0.21		24	7.3
850	RIFILARE BAVA GAMBETTO TRA LE CINGHIE	0.18		25	7.27
2370	RIVETTARE 4 LEVE A SCAFO (8 riv+8 rond)	0.77		24	6.7
1815	POSIZ. PARAACQUA+INS.BORCHIA E RIBADIRE	0.59		25	6.52
2980	APPLICARE 4 BOCCOLE CANTING A SCAFO	0.49		5	6.42
3440	INSERIRE ZEPPA SU SCAFO + AVVITARE	0.31		25	6.24
1932	FORARE SCAFO X RASTR. 4 FORI AL PAIO	0.27		25	6.2
2310	RIVETTARE 4 LEVE A GAMBETTO (8 riv.333/4.5)	0.65		24	5.92

Fig. 5.3.2.1 Ordinamento dei task per pesi RPW decrescenti, sviluppati in accordo col diagramma delle precedenze

L'applicazione di tale metodo, così come ha rivelato un incremento della qualità dei risultati (Fig. 5.3.2.2 e 5.3.2.3), ha evidenziato ulteriormente una

5.3.3. *Top-Down*

Il primo dei due bilanciamenti manuali testati richiama l'approccio previsto da *Patterson&Albracht* secondo la creazione del VAM-Virtual Average Model. Infatti l'algoritmo prevede la generazione di un bilanciamento ottimale per un "modello padre" fittizio contenente tutti i task previsti dai vari modelli, da rovesciare e verificare successivamente sui "modelli figli" reali (da qui la scelta della denominazione *Top-Down*).

L'interesse di sviluppare un algoritmo manuale è individuabile nella maggior flessibilità nel rispettare tutti i vincoli di progetto precedentemente elencati, soprattutto se difficilmente esprimibili⁴⁸ tramite un'opportuna formulazione matematica.

Durante la definizione del bilanciamento comune sono state tenute in considerazione tutte le attività "alternative"⁴⁹ a quella principale, inserita secondo il criterio della maggior frequenza operativa⁵⁰.

L'analisi ha permesso l'effettiva costruzione di un bilanciamento comune alle due famiglie, a fronte di piccole variazioni sui task caratteristici dei micro-cluster individuati precedentemente. In Fig. 5.3.3.1 sono riportati i risultati relativi al "modello padre" virtuale.

L'approccio *Top-Down* ha consentito per la prima volta nel corso del caso di studio di trattare opportunamente le operazioni a bassa occorrenza, andando a definire in particolare due stazioni di lavoro dedicate ai soli modelli *Woman* (opportunamente evidenziate in rosa nell'istogramma di

⁴⁸ Impossibilità di tramutare il vincolo in linguaggio matematico o elevata complessità computazionale dell'algoritmo

⁴⁹ Task omogenei per lavorazione, ma opportunamente diversificati per la produzione dei vari modelli; anche in questo caso sono stati riportati il codice di riferimento, la durata (centesimi di minuto) e la frequenza.

⁵⁰ Nel caso di parità nella frequenza dei task è stata inserita per via prioritaria l'operazione con durata maggiore

referimento). Allo stesso modo sono state definite delle postazioni di referimento ai soli modelli *Screwed* ma non in modo altrettanto efficiente.

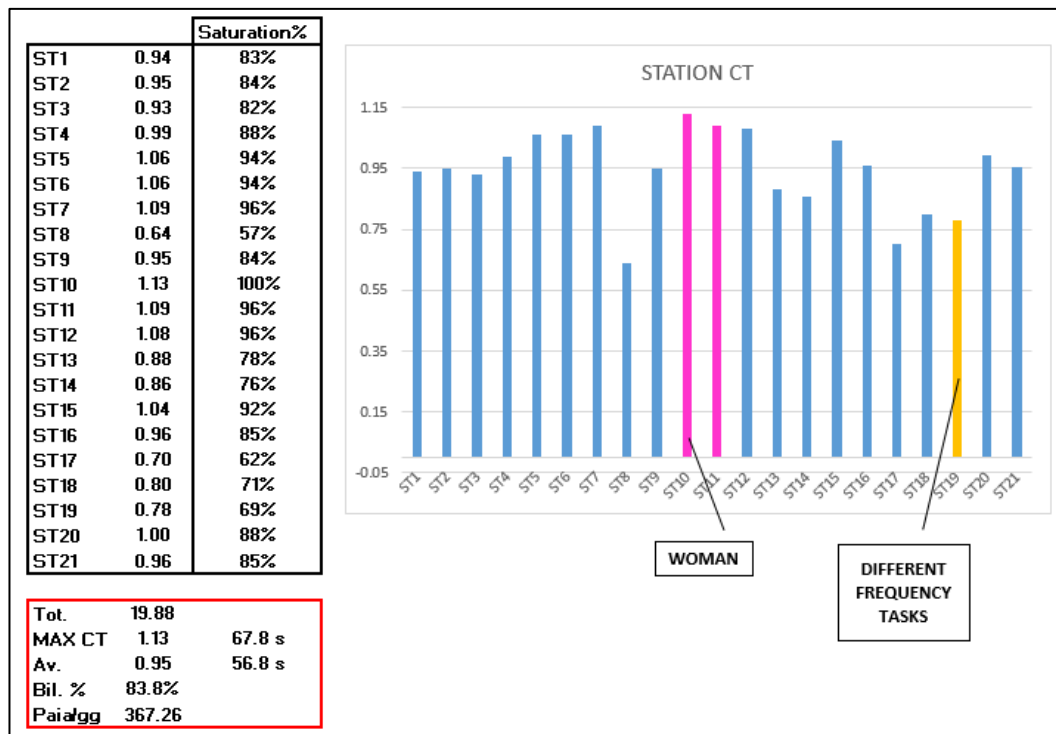


Fig. 5.3.3.1 Bilanciamento del modello virtuale

Tuttavia, i risultati derivanti da questo tipo di sperimentazione non sono stati sufficienti a garantire le caratteristiche progettuali definite durante la fase preliminare del progetto. Infatti, come visibile sia in Fig. 5.3.3.1 sia in Tab. 5.3.3.2 relativa ai dati medi dei modelli reali, valutati in relazione a opportuni pesi calcolati in funzione dei forecast produttivi, il bilanciamento risultante si discosta dall'obiettivo individuato e la produttività globale è in grado di garantire un flusso solo al limite delle specifiche richieste.

	Average	Weighted Average
Bilanciamento %	86,0%	86,2%
MAX ST [s]	65,20	65,29
Model CT [min]	14,04	13,85
Paia/gg	426,68	427,69
Stations	15	15
HC	18	18

Tab. 5.3.3.2 Risultati medi e pesati in funzione del mix produttivo previsto dei modelli reali

Un ulteriore confronto con le tecniche *LCR* e *RPW* rispecchia la realtà prestazionalmente insufficiente dell'approccio e determina la possibilità di un ulteriore ottimizzazione del bilanciamento e degli indici prestazionali in generale.

Inoltre un'investigazione più approfondita mette in risalto numerose criticità, riportate anche a titolo esemplificativo in Fig. 5.3.3.3:

- Presenza di operazioni suddivise in più stazioni (caso dal task *T2980*, in giallo)
- Presenza di una stazione di lavoro caratterizzata da task a frequenza molto diversa, con conseguente calo dei parametri d'efficienza (Fig. 5.3.3.1)
- Creazione di una postazione *stranger* dedicata a un unico modello *Screwed*
- Tempo ciclo (Max CT) troppo elevato sia nel caso puntuale che nei dati medi
- Rischio della diminuzione degli indici prestazionali nel caso dei modelli reali a causa della filosofia realizzativa del bilanciamento
- Scarsa saturazione delle postazioni di lavoro (Fig. 5.3.3.1)
- Layout complesso con conseguenti problemi di attrezzaggio e necessità della duplicazione delle risorse produttive
- Presenza di variazioni (evidenziate in arancione) nell'assegnazione dei task tra le due famiglie con difficoltà nella standardizzazione generale della linea

A causa delle difficoltà evidenziate, anche questo algoritmo è stato scartato, ma è stato fondamentale per dimostrare la bontà applicativa dei metodi manuali in riferimento al caso aziendale d'interesse.

	ASS	RIF.	DESCRIZIONE OPERAZIONE	T.A. - % S.B.F.	ASS	TOT.	FREQ.			
ST5		t2310	RIVETTARE 4 LEVE A GAMBE	0.65	100.00%	0.65	24			
		t890	FUSTELLARE POSTERIORE S	0.3	100.00%	0.3	14			
		t980	RIFILO SCAFO -PROFILO POS	0.11	100.00%	0.11	15			
		25% t2980	APPLICARE 4 BOCCOLE CANT	0.49	25.00%	0.1225	5	WARNING		
						1.18				
ST6		t2420	AVVITARE 4 LEVE A GAMBET	1.06	100.00%	1.06	1			
						1.06				
ST7		t2370	RIVETTARE 4 LEVE A SCAFO	0.77	100.00%	0.77	24	alternative t2430	1.21	1
		t630	PULIZIA GAMBAL/SPDILERM	0.09	100.00%	0.09	11			
		t640	APPLICARE ETICH. AD.BAR- C	0.23	100.00%	0.23	9	alternative t652	0.22	2
						1.09				
ST8		t2220	AVVITARE 4 RASTRELLIERE A	0.64	100.00%	0.64	8	alternative t2230	0.34	17
		75% t2980	APPLICARE 4 BOCCOLE CANT	0.49	75.00%	0.3675	5	n1890	0.3	17
						1.01				
ST9		t2725	RIVETTARE FASCIA (4 PZ) A G	0.74	100.00%	0.74	10	alternative t2724	0.53	14
		t2035	FORARE GAMBETTO X FASCI.	0.21	100.00%	0.21	24	t2733	0.76	1
						0.95				

Fig. 5.3.3.3. Criticità generali del metodo Top-Down

5.3.4. Bottom-Up

L'ultima modalità di bilanciamento sperimentata prevede un radicale stravolgimento della logica costruttiva rispetto al precedente *Top-Down*. Infatti, anziché costruire un modello di riferimento virtuale su cui basare l'assegnazione dei vari task, si è scelto di operare andando ad ottimizzare *in primis* l'efficienza della linea per il modello a più elevata semplicità costruttiva⁵¹ (*Bottom*), per poi analizzare incrementalmente i successivi a complessità maggiore (*Up*), creando qualora necessario nuove postazioni di lavoro da ottimizzare nel corso dell'implementazione. L'approccio (Allegato 12) è stato iterato fino all'assegnazione di tutti e 35 i modelli delle famiglie *Merak* e *Matar*, permettendo di rispettare in modo opportuno tutti i vincoli progettuali definiti in fase preliminare, secondo le modalità già descritte nei paragrafi precedenti⁵².

⁵¹ Modello con tempo di assemblaggio totale minore

⁵² Il criterio "primo" è l'inserimento dei vari task in funzione della frequenza operativa

Modello	TOTALE	Disponibilita'	Mix ST	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7	Modello 8	Modello 9	Modello 10	Modello 11	Modello 12	Modello 13	Modello 14	Modello 15	Modello 16	Modello 17	Modello 18	Modello 19	Modello 20		
Modello Woman	118	93.4%	93.2%																						
Mix %	0.930																								
Tot-Tmk	0.94	0.92	0.95	0.96	0.93	0.91	0.92								0.96	0.92	0.97			0.92	0.94	0.93	0.906	0.949	0.97%
L'mk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000
Jmk	0.06	0.08	0.16	0.04	0.07	0.09	0.07								0.04	0.18	0.03			0.08	0.10	0.17	1.220		
Sat. %	97%	95%	88%	99%	96%	94%	96%								99%	85%	100%			95%	87%	86%			

Modello	TOTALE	Disponibilita'	Mix ST	Modello 1	Modello 2	Modello 3	Modello 4	Modello 5	Modello 6	Modello 7	Modello 8	Modello 9	Modello 10	Modello 11	Modello 12	Modello 13	Modello 14	Modello 15	Modello 16	Modello 17	Modello 18	Modello 19	Modello 20			
Modello Woman	118	93.4%	93.2%																							
Mix %	0.932																									
Tot-Tmk	0.94	0.92	0.95	0.96	0.93	0.91	0.95								0.96	0.91	0.94			0.94	0.92	0.91	0.9	0.907	0.665	0.6%
L'mk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	
Jmk	0.06	0.08	0.16	0.04	0.07	0.09	0.15								0.14	0.09	0.06			0.10	0.08	0.13	0.1	1.588		
Sat. %	97%	95%	88%	99%	96%	94%	88%								89%	94%	97%			87%	95%	86%	93%			

Fig. 5.3.4.1 Esempio della logica costruttiva: ottimizzazione dal modello più semplice (in alto) proseguendo a step incrementali con quelli più complessi (in basso; esempio di un modello Woman con la presenza di stazioni dedicate)

La sperimentazione ha consentito di implementare un bilanciamento comune standard a tutti i modelli coinvolti dal progetto, innalzandolo fino a un valore medio pesato sul mix produttivo dell'89,8%, con un incremento percentuale del 3,9% in riferimento ai soli modelli considerati⁵³ e del 17,7% rispetto alla media attualmente presente in reparto.

Di particolare rilievo ai fini dell'aumento dell'efficienza della linea (Fig. 5.4.3.2), è stata la creazione di 3 stazioni dedicate ai soli modelli *Woman* (di cui una condivisa e completamente standardizzata tra le due famiglie) da attivare o bypassare in funzione del *Production Plan* di riferimento, che ha permesso di trattare opportunamente i task *strangers* individuati dai micro-cluster.

⁵³ L'attività migliorativa deve essere confrontata principalmente con la situazione media del reparto, in quanto i modelli prodotti dalla manovia sperimentale fanno riferimento alle due famiglie di interesse solo in minima parte e vedono altresì la produzione in grande scala di prodotti facenti parte di progetti del tutto estranei (criticità del sistema)



Fig. 5.4.3.2 Bilanciamento medio delle famiglie Merak (sopra) e Matar (sotto) con evidenza sulle stazioni dedicate ai modelli Woman tramite approccio Bottom-Up

Il grande contributo migliorativo che ha permesso di ottenere risultati in accordo con gli obiettivi prefissati, è imputabile allo sviluppo di un sistema improntato secondo la logica di standardizzazione dei processi, in accordo coi dati mostrati in Fig. 5.4.3.3:

- Diminuzione del numero di operazioni con creazione di task standard (da seguire in fase di *engineering* dei prodotti; Allegato 13)
- Tempo totale di assemblaggio ridotto, con variazioni inferiori ai 3 minuti tra i vari modelli
- Tempo ciclo inferiore ai 60 secondi e pressoché costante per tutti i modelli, ad eccezione di due modelli *Screwed* (cerchiati in rosso), nonostante la variabilità del numero di operazioni
- Riduzione del numero di stazioni in riferimento ai bilanciamenti *AS IS* delle due famiglie
- Stazioni gestite interamente da un unico operatore del tutto indipendente

- Layout standard in funzione della frequenza operativa dei task (creazione di stazioni omogenee da questo punto di vista) con diminuzione drastica del fermo linea dovuto a attrezzaggi e fasi di set-up dei macchinari
- Saturazione media delle stazioni superiore all'88%, in rispetto del carico di lavoro massimo assegnabile agli operatori
- Operazioni completate interamente all'interno della stessa postazione di lavoro
- *Material handling* ottimizzato sia in funzione dell'assegnazione dei task, sia del layout (paragrafo 5.5)
- Assegnazione ritardata delle operazioni specifiche dei vari modelli (nascita della varietà di prodotto ritardata)

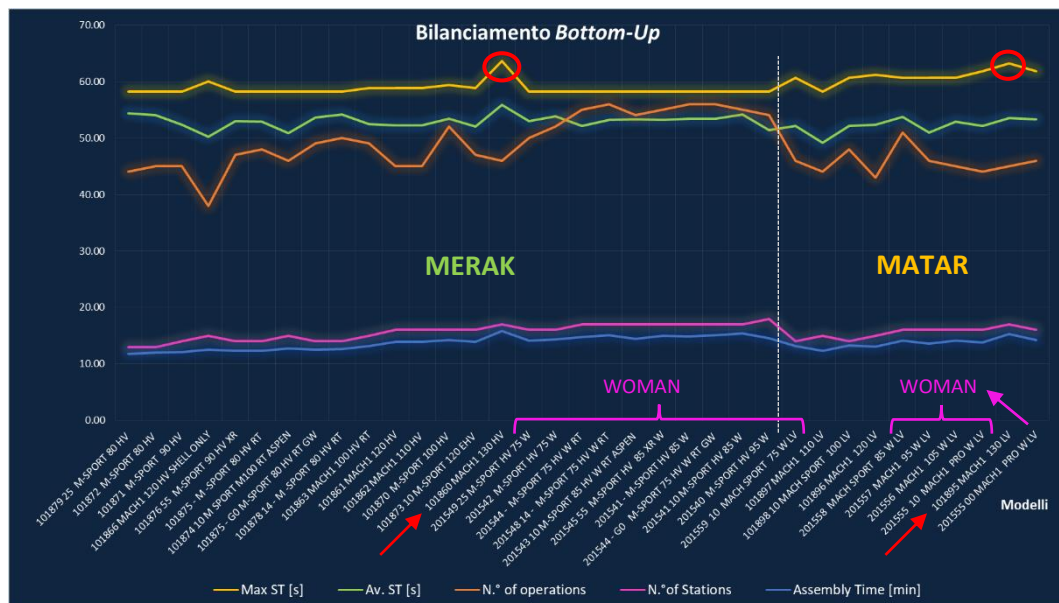


Fig. 5.4.3.3 Effetti della standardizzazione dei processi; si noti la costanza del ritmo della linea dettata dal tempo massimo di stazione e la filosofia costruttiva del modello (Assembly Time crescente con discontinuità in corrispondenza del cambio famiglia e dei modelli Screwed)

In particolare, la continuità del ritmo imposto dalle operazioni e la costanza del tempo ciclo inferiore al minuto, ha permesso di regolare la velocità del flusso esattamente a 60 secondi, garantendo così un output medio di 460 paia al giorno, in supporto e totale accordo con le previsioni di produzione.

Inoltre si è proceduto a verificare l'effettiva efficienza della linea secondo il Takt imposto di 60 secondi (*Pull Production* a Takt costante), riscontrando un bilanciamento reale in completo accordo con quello previsto (deviazione massima del 2,8%) e con un *Balance Delay* medio inferiore al 12% (Fig. 5.4.3.4)

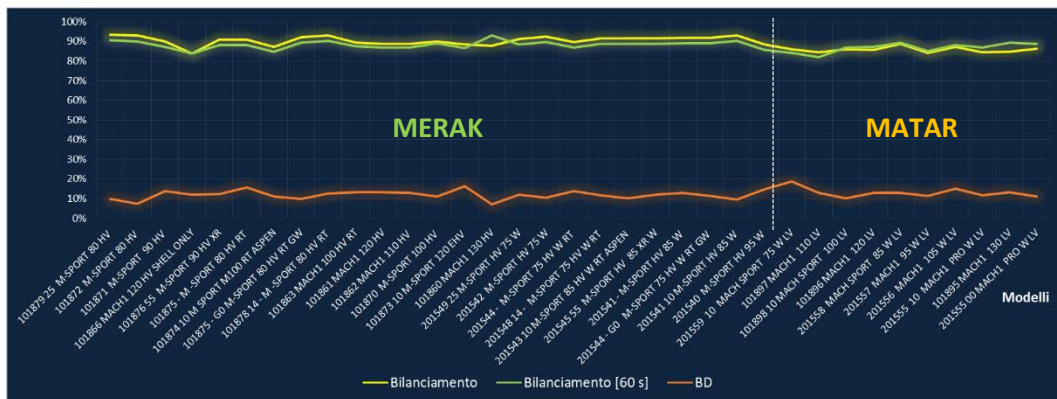


Fig. 5.4.3.4 L'andamento dell'effettivo bilanciamento della linea secondo il Takt Time imposto e del Balance Delay relativo ai modelli analizzati

Un'ulteriore conferma dell'incremento prestazionale apportato dal ribilanciamento secondo approccio *Bottom-Up*, è dimostrata dal confronto *AS IS-TO BE* dei soli modelli appartenenti alle famiglie analizzate (Riferimento 53) di Fig. 5.4.3.5. In modo specifico, si nota una forte riduzione del tempo totale di assemblaggio frutto di un'attenta analisi preliminare dei dati e del tempo ciclo caratteristico dei vari modelli, grazie all'attenzione specifica data all'assegnazione dei task operativi. Come già ribadito, oltre al decremento del cosiddetto *Max ST*, se ne apprezza la costanza dell'andamento all'avanzare della complessità tecnica dei modelli, fondamentale per il sostentamento di una linea standard ad alte prestazioni.

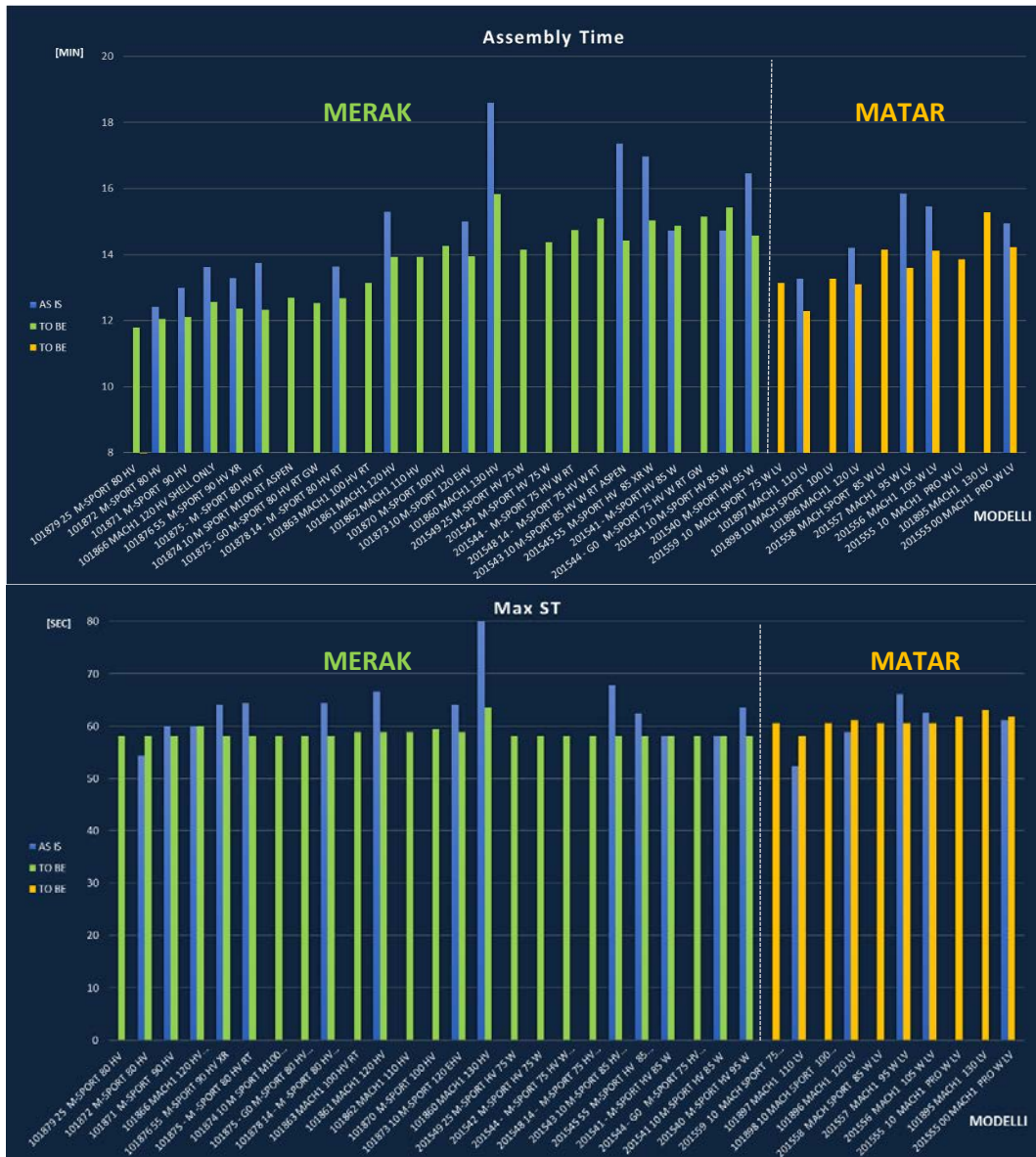


Fig. 5.4.3.5 Confronto AS IS-TO BE per quanto riguarda il tempo totale di assemblaggio e il tempo massimo di stazione per i vari modelli (si noti la costanza di quest'ultimo); i modelli esenti da dati AS IS sono sempre stati prodotti presso laboratori esterni

In aggiunta si riporta anche il confronto (Fig. 5.4.3.6) con il bilanciamento di uno stesso modello (fam. Matar) adottato all'interno di un laboratorio di assemblaggio esterno, in cui è possibile evidenziare la totale differenza nella modalità operativa, con conseguenti influenze sull'efficienza globale del sistema produttivo.

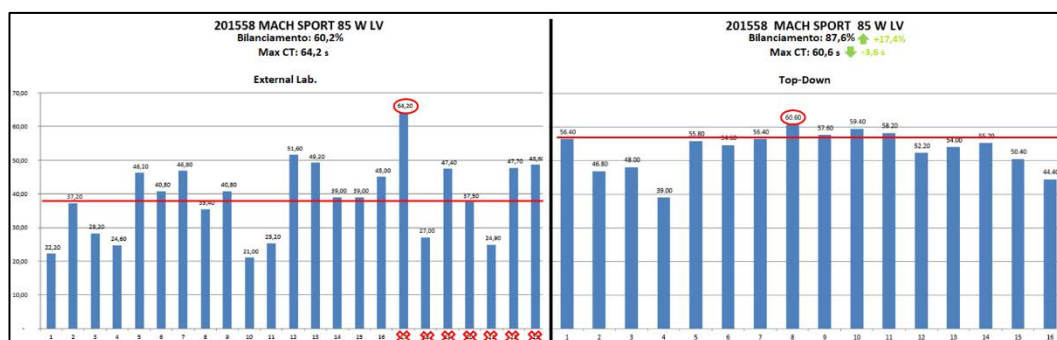
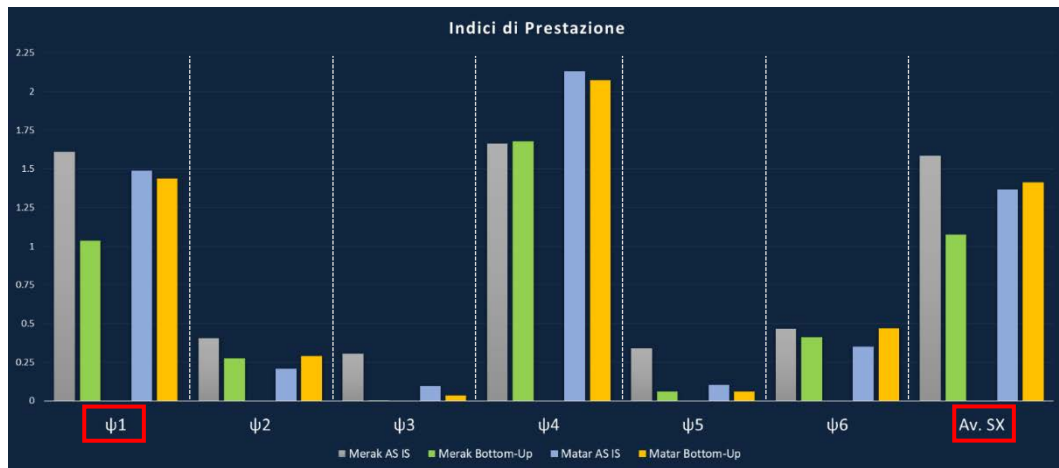


Fig. 5.4.3.6 Incremento di efficienza rispetto a uno stesso modello assemblato presso un laboratorio esterno

Infine, si è passati all'effettiva quantificazione dell'incremento dell'efficienza operativa attraverso la valutazione degli indici di prestazione (Fig. 5.4.3.7) descritti nel capitolo 4, in relazione alle famiglie coinvolte dal progetto. In particolare, data la natura *multimodel* della linea, si è scelto di considerare il parametro ψ_1 (eq. 24) col supporto dello *Smoothness Index* (eq. 17).

Ricordando quanto descritto nel riferimento 43, è stato possibile ottimizzare la realtà produttiva grazie ad una riduzione media percentuale (funzione del mix produttivo) di ψ_1 del 25,2% e del 18,5% per quanto riguarda lo *SX*. In particolare, è importante sottolineare come sia stato possibile incrementare gli indici prestazionali nonostante si sia passati da una logica influenzata da bilanciamenti puntuali, a una guidata dalla creazione di un sistema standard (motivo per cui lo *SX* relativo alla fam. Matar è leggermente superiore all'AS IS).

In generale è possibile apprezzare un miglioramento globale di tutti i parametri legati all'efficienza della linea (anche nel caso *mixedmodel*) se valutati opportunamente secondo quanto prescritto nel paragrafo 4.2.4.



Per una completa rappresentazione dello stato prestazionale relativo ad ogni singolo modello analizzato, sono stati inoltre valutati tutti gli indici citati nel capitolo 4, con un'adeguata elaborazione dei dati ottenuti così come mostrato in Fig. 5.4.3.1.

5.4. Layout

Lo sviluppo di una nuova logica di bilanciamento è stata integrata con l'aggiornamento di un layout di linea standard che vada a contribuire all'ottimizzazione generale del reparto.

La configurazione finale (Fig. 5.4.1) è stata guidata attraverso i seguenti criteri di ottimizzazione:

- Posizionamento dei macchinari accanto alla manovia per facilitare i collegamenti alla rete elettrica e ai condotti dell'aria compressa
- Allocazione prioritaria delle macchine a frequenza di utilizzo maggiore al fine di minimizzare la movimentazione dei semilavorati (*One Piece Flow*)
- Implementazione di un tavolo di lavoro standard (paragrafi 5.5 e 5.6)
- Progettazione del *workplace* attraverso principi ergonomici
- Posizionamento dei tavoli vicino al corridoio principale per integrare la gestione del *part feeding*
- Attenzione a massimizzare la saturazione del *floor space*
- Garantire un'adeguata via di fuga e uno spazio limite di 80 cm alle spalle degli operatori (accorpamento dei macchinari tra due stazioni consecutive) secondo le norme vigenti
- Rispetto dei vincoli tecnici (es. ST.3, cappa aspirante fissa per solventi utilizzati per l'applicazione delle decalcomanie) e strutturali dell'edificio

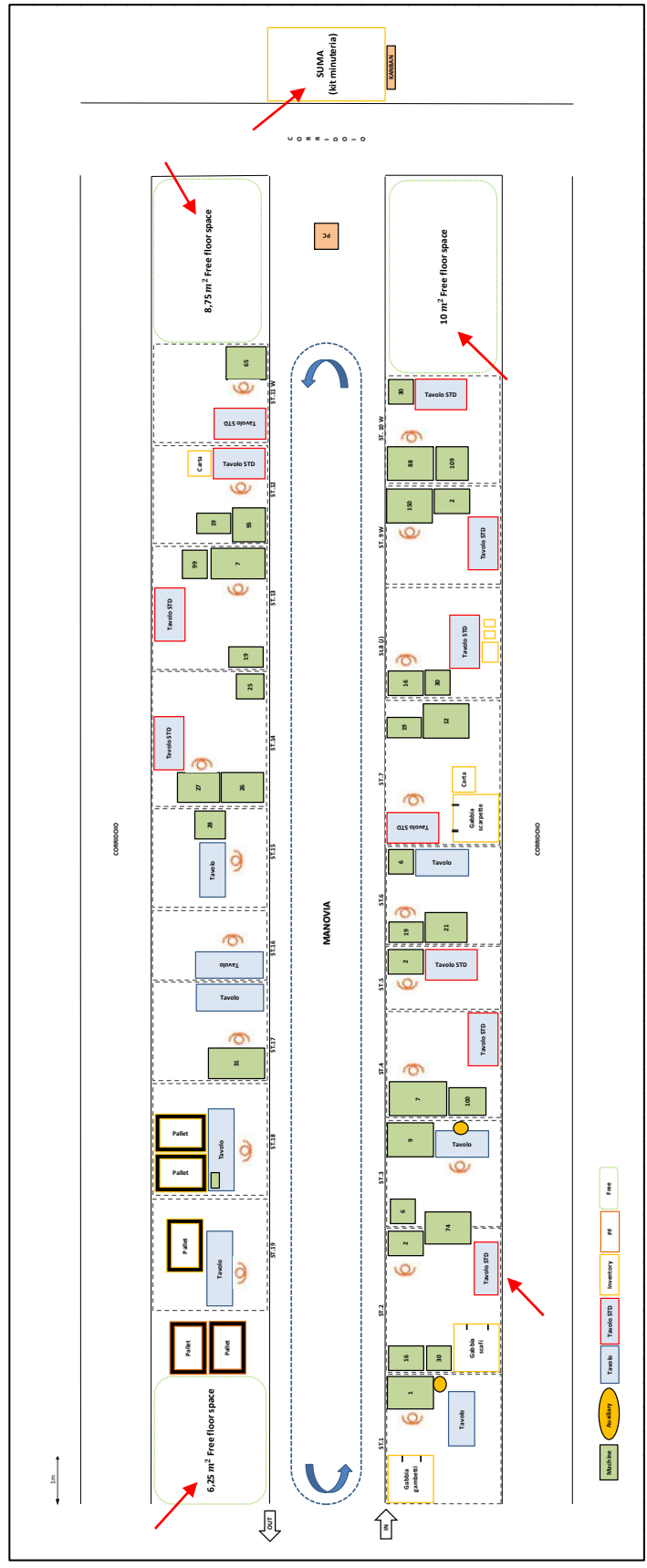


Fig. 5.4.1 Il nuovo layout della linea sperimentale

Il processo di standardizzazione ha consentito di ridefinire le postazioni di lavoro create, in funzione del bilanciamento comune sviluppato con la tecnica *Bottom-Up* e del mix produttivo (Fig. 5.4.2). In particolare le stazioni sono state classificate in base al grado di standardizzazione (*standard*, *variabili* e *jolly*⁵⁴), con l'ulteriore individuazione di quelle dedicate per gestire le operazioni a bassa occorrenza.



Fig. 5.4.2 Grado di standardizzazione delle potazioni di lavoro e rispettiva classificazione

La novità che è stata implementata per ottimizzare il coordinamento dei flussi del materiale, è stata l'individuazione di un'area dedicata a

⁵⁴ Postazione **jolly**: caratterizzata da task ad elevata semplicità realizzativa, assegnati con lo scopo di massimizzare la saturazione del bilanciamento, nel rispetto di vincoli tecnologici (diagramma delle precedenze) e delle risorse produttive disponibili

Supermarket (Fig. 5.4.1) per la gestione tramite *kanban* di kit destinati alla minuteria (paragrafo 5.6). Inoltre la corretta assegnazione dei task ha permesso di posizionare le gabbie di trasporto di scafi, gambetti e scarpette in prossimità dei magazzini di riferimento e nel medesimo lato della manovia, al fine di minimizzare il *travelling time*.

Il tutto, grazie all'elevata saturazione del *floor space*, ha consentito il recupero di circa $25m^2$ precedentemente destinati a semplice zona di deposito di materiali vari e macchinari extra.

5.5. Soluzioni *SMED*

L'ottimizzazione del sistema produttivo non si è limitata esclusivamente alla creazione di una linea standard e allo sviluppo di una modalità di bilanciamento specifica per le esigenze del problema *multimodel*, ma si è dedicata ad incrementare le prestazioni globali, concentrandosi inoltre su fattori satelliti all'assemblaggio vero e proprio ma fondamentali per l'efficienza operativa del reparto.

Per prima cosa, la realizzazione di un layout comune che vada a ottimizzare la gestione dell'attrezzaggio, minimizzando i fermi linea dovuti alla movimentazione e alle fasi di set up dei macchinari, è stata fondamentale per convertire la logica di assemblaggio da un sistema tipicamente *push*, a uno ibrido *push-pull*, in cui la conduzione è governata per via prioritaria da una corretta pianificazione della produzione⁵⁵, ma che in caso di necessità è in grado di adattarsi immediatamente alle richieste puntuali del mercato, secondo un approccio specifico della Lean Manufacturing.

⁵⁵ Implementazione di un *Work Order* (schedulazione tipica di un sistema a lotti) secondo una gestione **a piano** (sviluppata principalmente per la gestione delle scorte), con integrazione delle logiche *Look Back* (previsioni intrinseche basate su dati storici) e *Look Ahead* (previsioni estrinseche con calcolo dei fabbisogni futuri), guidato da algoritmi di tipo TPOP-Time Phased Order Point

In particolare, anche grazie al supporto di tecniche SMED è stato possibile ridurre drasticamente la durata dei fermi linea imputabili al *model-change* così come mostrato in Fig. 5.5.1.

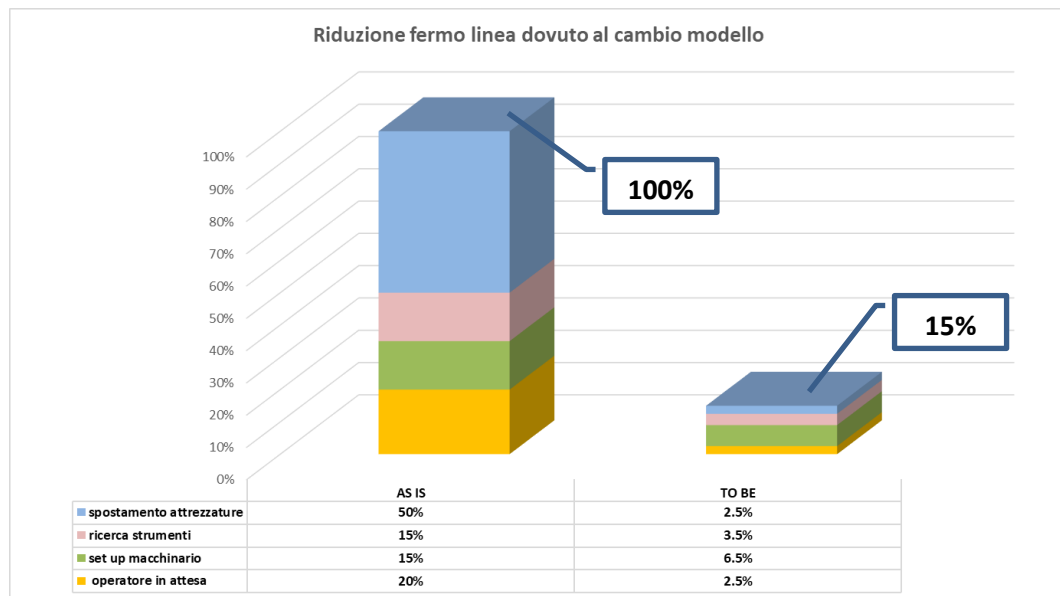


Fig. 5.5.1 Effetto dell'ottimizzazione dei processi (layout standard, SMED, divisione dei compiti) sul Downtime della linea

L'attività principale in ambito SMED è stata l'implementazione di un tavolo da lavoro standard, che andasse ad ottimizzare le attività degli operatori sia da un punto di vista ergonomico (dimensionamento e posizionamento nel layout di linea), sia di gestione delle attrezzature.

Infatti, come visibile in Fig. 5.5.2, la postazione di lavoro è dotata di un apposito pannello di supporto suddiviso in due aree ben distinte, destinate ad alloggiare in specifici punti (secondo la frequenza di utilizzo) gli strumenti di lavoro relativi ai task operativi previsti (posizionati centralmente per una maggior facilità di presa con conseguente riduzione del tempo di spostamento) e quelli necessari alle attività di set up dei macchinari (a lato, dato la minor frequenza di utilizzo). Il tutto sormontato da eventuali checklist di lavoro, guide sulle istruzioni di assemblaggio e

altra documentazione tecnica utile agli operatori e ben illuminato da un apposito sistema di illuminazione.

Inoltre, la postazione è provvista di appositi alloggiamenti per la connessione alla linea EE/AC situati sulla sommità, per evitare interferenze con le operazioni, e per l'installazione di eventuali supporti estensibili per piccole attrezzature (es. avvitatori manuali), posizionati lateralmente sulla struttura portante, in grado di essere riposti nella posizione originale (minimizzando il volume occupato) qualora non necessari.

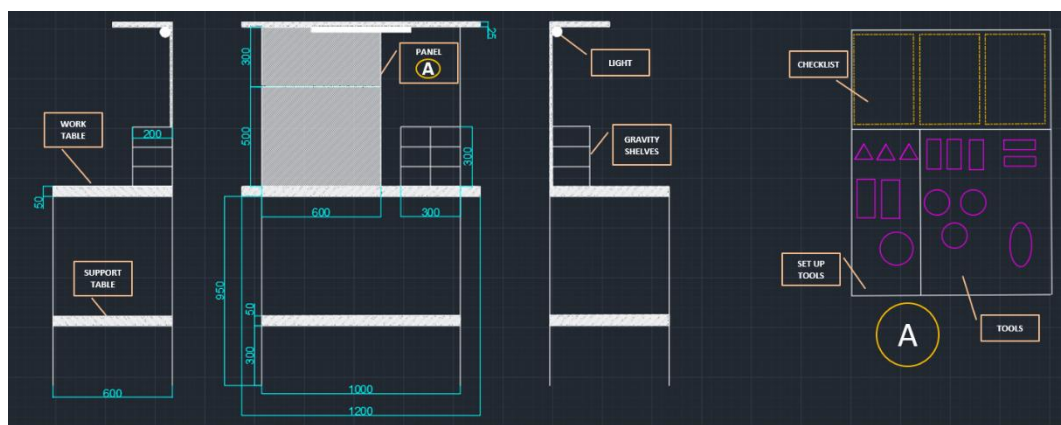


Fig. 5.5.2 Dettagli dello Standard Work Table

La progettazione di una postazione di lavoro standard non è stata l'unica attività migliorativa in grado di contribuire alla riduzione del *Downtime* della linea e al rispettivo incremento dell'OEE. Infatti è stata proposta una divisione dei compiti ben precisa durante le fasi di attrezzaggio, in cui ogni singolo operatore è in grado di agire sul set up delle attrezzature per ogni specifico modello (anche grazie a dei sistemi di *Visual Management* applicati direttamente sui macchinari), poi verificato dal responsabile preposto, con una radicale diminuzione del tempo di inattività degli stessi e con un sostanziale coinvolgimento del personale (incremento della responsabilità e del grado di partecipazione allo sviluppo aziendale).

5.6. Soluzioni *Part Feeding*

Gli ultimi interventi di miglioramento si sono focalizzati sulla gestione dell'alimentazione delle linee, contribuendo ad incrementare l'efficienza sia del *part feeding*, sia delle attività a valore aggiunto.

In particolare per far fronte alle criticità riscontrate durante l'analisi del caso aziendale, in fase di definizione del nuovo layout operativo è stata individuata un'area destinata a Supermarket (evidenziata in Fig.5.6.1) per la gestione tramite *kanban* di tutta la minuteria (leve, rastrelliere, viti, boccole, piastrine, rivetti, ecc.). Il flusso di materiale era già regolato dalla tecnica del *kanban*, ma a causa delle problematiche di rifornimento riscontrate durante la fase preliminare del progetto, è stata individuata come soluzione una totale riorganizzazione delle modalità di preparazione e trasporto del materiale stesso. L'adozione di un Supermarket per la minuteria ha consentito di disaccoppiare la realtà del magazzino principale (gestito attraverso grandi lotti di riordino) e della linea (con fabbisogni nettamente inferiori) grazie all'implementazione di un sistema gestito tramite *kit*, allestiti da operatori dedicati nelle esatte quantità⁵⁶ previste dal cartellino di movimentazione. I kit così preparati sono destinati a fluire attraverso una *feeding route* (percorsa periodicamente dagli addetti) che collega il magazzino principale con i Supermarket posti in testa ad ogni linea. Il posizionamento del SUMA è un altro aspetto fondamentale, in quanto consente sia di minimizzare il tempo di trasporto, sia di alimentare con facilità entrambi i lati di ogni manovia (percorso di andata e ritorno) mantenendo tuttavia dei flussi regolari e senza particolari interferenze.

⁵⁶ Ideale sarebbe lavorare con multipli di un lotto di produzione definito come standard

Allo stesso modo il posizionamento delle gabbie di trasporto⁵⁷ su uno stesso lato della linea (percorso di andata), favorito anche dal bilanciamento adottato, ha permesso di ridurre la dispersione dei flussi di materiale e di concentrarli in prossimità del rispettivo magazzino (Fig. 5.6.2) andando così ad incrementare l'efficienza dei trasporti e quella dovuta al caricamento anticipato sulla linea di tutto il materiale necessario.

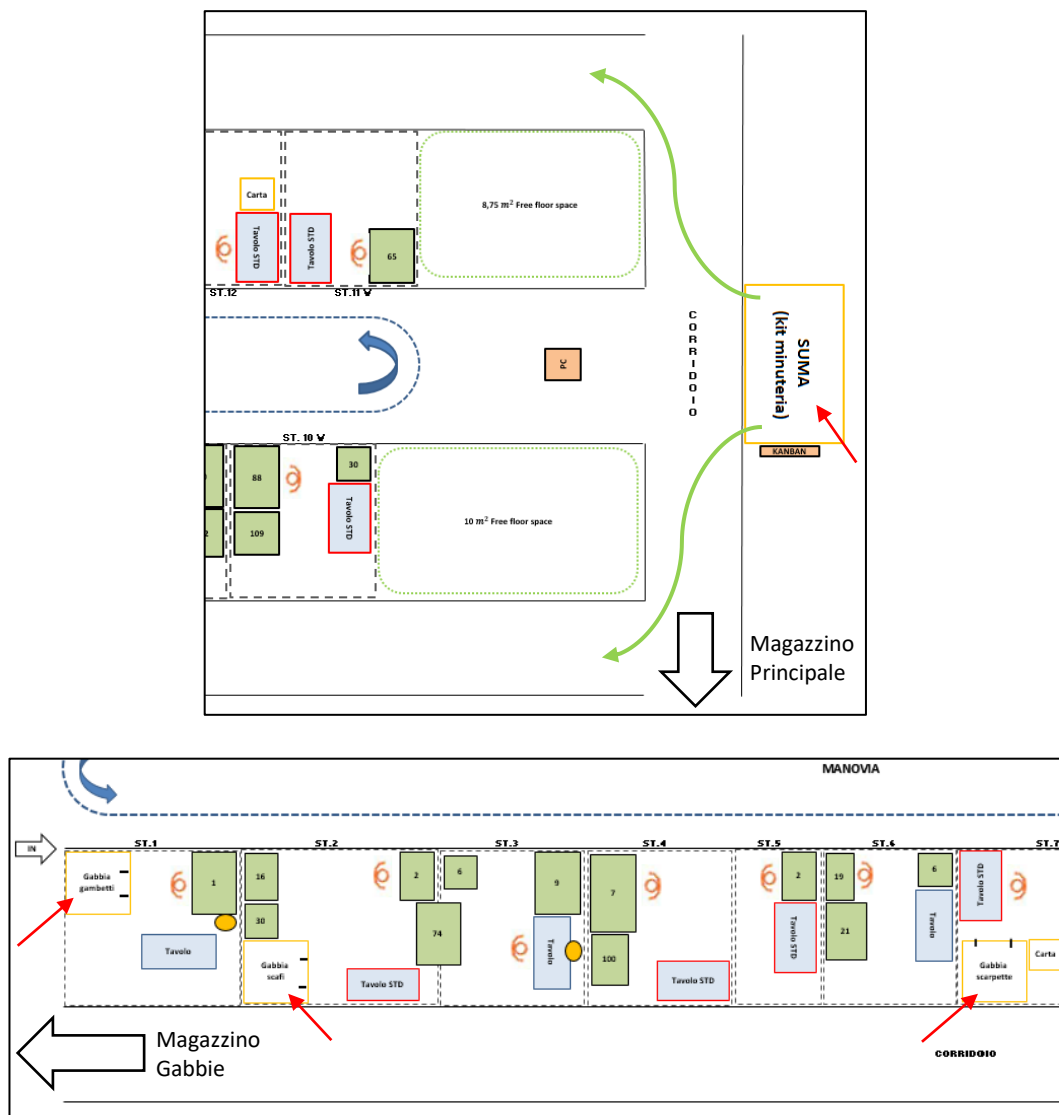


Fig. 5.6.1 Supermarket gestito tramite kanban destinato alla minuteria (sopra)
 Fig. 5.6.2 Sistemazione delle gabbie di trasporto in prossimità del magazzino di riferimento (sotto)

⁵⁷ Già allestite nei reparti di orlatura (esterna; scarpette), tampografia (scafi, gambetti) e avvitatura (scafi)

Infine, lo sviluppo di un tavolo di lavoro standard non è finalizzato esclusivamente all'ottimizzazione delle linee in termini di OEE, ma anche dal punto di vista della loro alimentazione.

Infatti la postazione è stata fornita di blocchi modulari (in base alle esigenze) costituiti da scaffalature a gravità, in cui riporre i kit in arrivo dal SUMA con le modalità di carico rappresentate in Fig. 5.6.3. Il carico avviene posteriormente in modo da permettere al responsabile del *feeding* il rapido rifornimento delle stazioni direttamente dal corridoio adiacente alla linea (motivo per il quale quasi tutti i tavoli standard sono stati allocati lungo la corsia), ma qualora necessario (per motivi di vincoli imposti al layout) è ammesso anche il caricamento frontale.

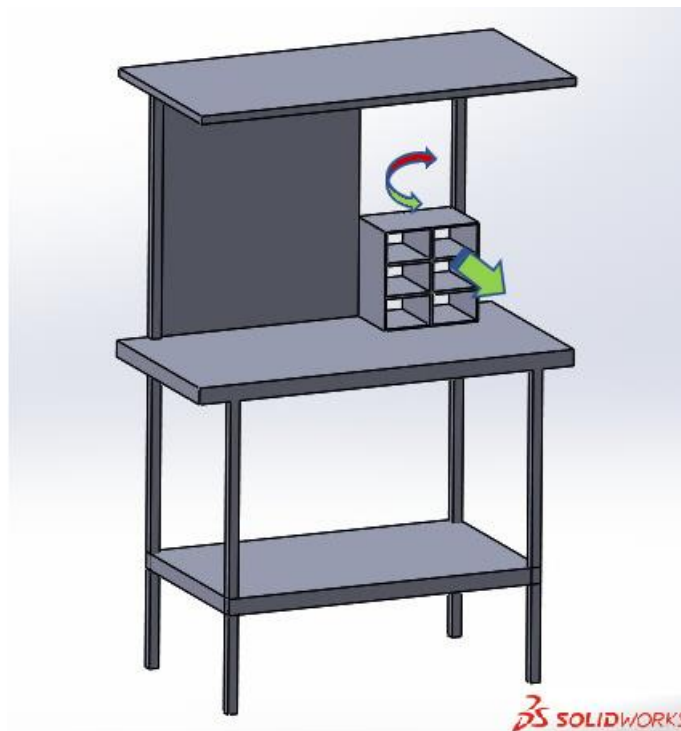


Fig. 5.6.3 Soluzioni legate al *part feeding* applicate al tavolo di lavoro standard

Durante il rifornimento, gli operatori sono in grado di svolgere in maniera continuativa i task assegnati e la divisione dei compiti così definita contribuisce ad ottimizzare ulteriormente tutti i processi coinvolti nella

Value Chain. Inoltre i moduli sono stati dimensionanti in funzione dei kit standard (150x100x200 mm) adottati nel corso del progetto e anche in questo caso sono stati rispettati i canoni ergonomici, funzionali alla corretta progettazione del *workplace*.

Concludendo, l'adozione di un tavolo di lavoro standard contribuisce anche ad incrementare la qualità della gestione dello spazio all'interno della postazione di lavoro, permettendo di alloggiare, in base alle esigenze, più imballaggi secondari (es. zeppe, sottopiedi, ecc.) sul ripiano aggiuntivo posizionato al di sotto di quello principale. In questo modo si minimizza il tempo dedicato alla ricerca del materiale da parte degli operatori, il caricamento può avvenire nelle stesse modalità descritte in precedenza e si salvaguarda il risparmio di *floor space*.

Infine, l'intera gestione della nuova modalità operativa della linea è controllata mediante un *playbook*, sviluppato *ad hoc* per garantire il corretto funzionamento di tutti i livelli coinvolti nel processo produttivo.

6. Impatto economico

L'analisi relativa al caso aziendale si conclude con le valutazioni, da un punto di vista economico, dei benefici che un progetto improntato sulla *Lean Manufacturing* può apportare alla realtà produttiva.

Verranno illustrate le modalità di calcolo e le ipotesi presenti alla base della computazione, per poi analizzare i risultati globali del progetto in relazione al caso della linea sperimentale.

Infine sarà trattata la questione finanziaria del problema da un punto di vista ingegneristico, attraverso l'esposizione di indici specifici relativi alla fattibilità dello studio.

Come già descritto nel paragrafo 4.3, l'elemento che è stato influenzato da tutte le analisi sostenute nel corso del progetto è l'ottimizzazione dello sfruttamento delle risorse legate alla manodopera. Per questo si fa riferimento al suddetto paragrafo e all'eq. 34 per la trattazione delle modalità di calcolo che sostengono lo studio di fattibilità esposto nel seguente capitolo.

La valutazione (Tab. 6.1) è stata realizzata prendendo in considerazione i dati aggiornati alla 35-esima settimana produttiva: oltre ai dati già riportati in fase di definizione dell'*AS IS* (paragrafo 5.1), sono stati quantificati i minuti lavorati complessivamente da ogni singolo operatore e le quote relative al *Downtime* globale e specifico per il cambio modello, permettendo di verificare e valutare concretamente i tre fattori tipici dell'OEE.

Inserendo nell'eq. 34 i dati dell'attuale realtà operativa (rendimento), il costo unitario della manodopera e il numero medio degli operatori presenti in linea secondo database storici degli anni produttivi 2018 e 2019, è stato possibile valutare l'attuale costo totale (di sola manodopera) della linea sperimentale.

	AS IS			TO BE		
	Minuti lavorati (per op.)	73470		Minuti lavorati (per op.)	73470	
	Totale Passivo	5304		Totale Passivo	4202.4	
	Passivo_Cambio Modello	1296	24.4%	Passivo_Cambio Modello	194.4	4.6%
	Indice Disponibilità_Cambio Modello	98.2%		Indice Disponibilità_Cambio Modello	99.7%	
	Indice Disponibilità	92.8%		Indice Disponibilità	94.3%	↑
	Indice Efficienza Produttiva	94.9%		Indice Efficienza Produttiva	96.0%	↑
	Indice Efficienza Qualitativa	94.47%		Indice Efficienza Qualitativa	94.47%	
	OEE	83.2%		OEE	85.5%	↑
	Bilanciamento	72.1%		Bilanciamento	89.8%	↑
	Rendimento	60.0%		Rendimento	76.8%	↑
	Costo 1 op.	10,971.52 €		Costo 1 op.	8,573.47 €	
	N.° medio op.	15.64		N.° medio op.	15.64	
	Costo TOTALE	171,594.57 €		Costo TOTALE	134,089.02 €	
				Saving	-37,505.55 €	↓
				Saving %	-21.86%	
				Annual Saving (forecast)	-45,006.66 €	↓

Tab. 6.1 Risultati globali dell'ottimizzazione della linea

L'elaborazione numerica delle soluzioni di ottimizzazione e standardizzazione apportate alla linea ha consentito di aggiornare tutti i parametri prestazionali coinvolti dal progetto. In particolare, grazie alla forte diminuzione dei fermi linea dovuti all'attrezzaggio (principale causa della diminuzione di disponibilità) è stato possibile incrementare dell'1.5% l'indice di disponibilità globale (misura del *Downtime*) e in funzione del nuovo bilanciamento standard è stato indirettamente innalzato anche

l'indice di efficienza produttiva, grazie alla ripetitività delle operazioni standard introdotta nelle stazioni di lavoro. Il tutto ha contribuito a potenziare l'effettivo OEE della linea (+2,3%), superando per di più l'obiettivo definito in fase preliminare.

Inoltre, sfruttando gli interventi proposti dalla logica *Bottom-Up*, l'azienda è stata in grado di incrementare il bilanciamento delle due famiglie analizzate (media pesata sul mix produttivo) del 17,7% in riferimento al dato medio presente attualmente all'interno del reparto.

Grazie a tali migliorie, secondo l'eq. 33, è stato possibile raggiungere il rendimento target prefissato (scostamento dello 0,2% rispetto alla quota nominale) con un innalzamento del 16,8%, pervenendo così al rispetto dei costi standard definiti in fase di *budgetting* (paragrafo 4.3).

Il confronto tra i principali fattori d'interesse è rappresentato nella Fig. 6.1 sotto riportata.

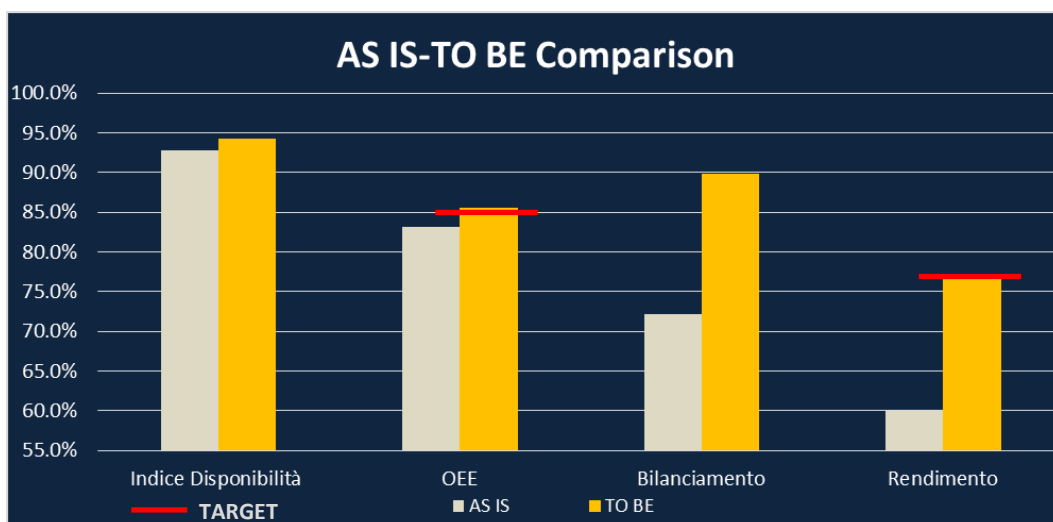


Fig. 6.1 Confronto AS IS-TO BE sugli obiettivi del progetto

Riprendendo l'eq. 34 con i dati aggiornati (per un confronto omogeneo il numero degli operatori è mantenuto costante), è stato valutato il beneficio economico apportato dal progetto in questione. L'estensione previsionale

dei risultati all'intero anno produttivo (42 settimane) ha concluso che, per la sola linea sperimentale è possibile risparmiare 45.000 €/anno con un delta percentuale del 21,86%, esclusivamente grazie alla nuova logica operativa introdotta nel reparto. Si ricorda inoltre che i dati sono stati valutati esclusivamente facendo riferimento al costo della manodopera interna⁵⁸ (sotto l'ipotesi di assemblare internamente l'intero volume produttivo) sottostimando così, per via cautelativa, i potenziali risultati globali in favore di sicurezza.

Se la valutazione sulla standardizzazione e ottimizzazione della *Value Chain* fosse estesa anche alle altre linee del reparto, l'azienda sarebbe in grado di economizzare 180.000 €/anno (4 linee) e oltre 270.00 €/anno nel caso in cui si implementassero internamente altre due linee aggiuntive (così come previsto) nel corso dei prossimi anni.

La valutazione dell'impatto economico prosegue inoltre con la quantificazione dei flussi finanziari. Oltre ai risparmi marginali frutto dell'ottimizzazione del rendimento della linea, sono stati determinati i costi marginali (investimenti in nuove attrezzature) per sostenere la realizzazione del nuovo layout produttivo. Grazie all'approccio *Lean* adoperato, è stato possibile raggiungere i risultati descritti unicamente in funzione di un'ottimizzata gestione delle risorse produttive (macchinari) già presenti in linea. Si è reso necessario esclusivamente l'acquisto di undici tavoli da lavoro standard del costo unitario di € 580, prevedendo un investimento iniziale che ammonta complessivamente a € 6380 (Tab. 6.2), al fine di garantire i livelli prestazionali previsti dallo studio ottimizzato di ergonomia, *part feeding* e attrezzaggio.

La fattibilità dell'investimento è stata valutata su un periodo di 4 anni, corrispondente al *life cycle* medio delle collezioni sviluppate periodicamente da Tecnica Group S.p.A..

⁵⁸ Il costo della manodopera presso i laboratori esterni subisce un incremento prossimo al 100%

Flussi di Cassa (linea sperimentale)				
n	Investimenti	Risparmio HC	Flussi positivi attivi	ΣCumulata
0	-€ 6,380.00			-€ 6,380.00
1		€ 45,000.00	€ 45,000.00	€ 38,620.00
2		€ 45,000.00	€ 45,000.00	€ 83,620.00
3		€ 45,000.00	€ 45,000.00	€ 128,620.00
4		€ 45,000.00	€ 45,000.00	€ 173,620.00

Tab. 6.2 Flussi di cassa previsti dallo studio

I ricavi marginali non sono stati valutati (nonostante la produttività sia in aumento grazie alla nuova configurazione) in quanto, come già affermato, sarebbe necessario un confronto non omogeneo tra due logiche produttive del tutto estranee tra di loro.

I flussi di cassa sono stati attualizzati (Tab. 6.3) tramite la formula del VAN-Valore Attuale Netto, secondo:

$$VAN = \sum_{n=1}^N \frac{F_n}{(1+i)^n} - F_0 \quad (37)$$

Dove F_n rappresentano i flussi positivi attivi, F_0 l'investimento iniziale e i il tasso di attualizzazione (MARR-Minimum Attractive Rate of Return), ipotizzato pari al 3%⁵⁹.

Flussi di Cassa Attualizzati (linea sperimentale)					i
n	Investimenti	Risparmio HC	Flussi positivi attivi	VAN	3%
0	-€ 6,380.00			-€ 6,380.00	
1		€ 43,689.32	€ 43,689.32	€ 37,309.32	PbP
2		€ 42,416.82	€ 42,416.82	€ 79,726.14	
3		€ 41,181.37	€ 41,181.37	€ 120,907.51	6.13 settimane
4		€ 39,981.92	€ 39,981.92	€ 160,889.43	TIR 58.22%

Tab. 6.3 Analisi finanziaria dei flussi di cassa

⁵⁹ Valore dell'attuale MARR applicato al contesto aziendale in Ungheria. Funzione del tasso di interesse senza inflazione per investimenti a rischio zero (3÷5%), del tasso di inflazione previsto (5%), del rischio di inadempienza su un prestito (5%) e del profilo di rischio di una determinata impresa (0÷50%).

In aggiunta, è stato valutato il PbP-Pay Back Period (Fig. 6.2) come tempo necessario per recuperare l'investimento iniziale (poco più di 6 settimane lavorative) attraverso:

$$PbP = (n|VAN = 0) \quad (38)$$

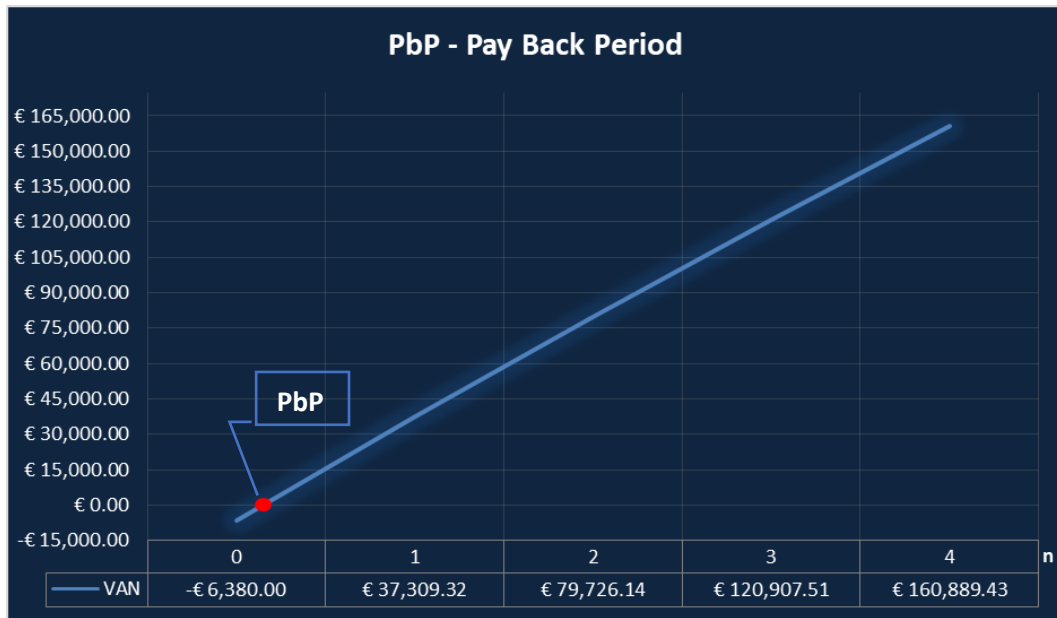


Fig. 6.2 Calcolo del tempo di recupero dell'investimento iniziale

Infine è stata quantificata l'efficienza dell'investimento, applicando la definizione di TIR-Tasso Interno di Rendimento:

$$TIR = (i|VAN = 0) \quad (39)$$

Il calcolo ha restituito un TIR pari al 58,22%, molto superiore al tasso di attualizzazione i , permettendo in tal modo la valorizzazione dei flussi di cassa futuri e confermando la fattibilità dell'investimento.

7. Conclusioni

L'analisi condotta dal progetto di tesi si è immersa nella realtà delle linee di assemblaggio *multimodel* e in particolare nelle criticità aziendali nel trattare opportunamente l'ALBP. A fronte delle problematiche riscontrate sul campo in fase preliminare, è stato sviluppato un piano d'intervento focalizzato sul ribilanciamento di una linea sperimentale, supportato da una standardizzazione dei processi e da un'ottimizzazione dell'intera *Value Chain* coinvolta in ambito *Lean*, che permettesse l'incremento degli indici prestazionali del reparto.

Sono state testate e confrontate diverse logiche di bilanciamento e alla fine dell'iter è stata individuata la modalità manuale *Bottom-Up*, in grado di soddisfare i vincoli imposti dall'ALBP e i requisiti richiesti in termini di layout operativo, disponibilità e alimentazione della linea dettati dallo sviluppo di una linea standard.

In particolare, lo studio del caso aziendale ha portato al raggiungimento dei target progettuali, consentendo il potenziamento delle prestazioni della linea grazie all'incremento del bilanciamento medio prossimo al 90% (+17,7%) e del 2,3% in riferimento all'OEE. La creazione di una realtà standard e in comune a più famiglie di prodotto, ottimizzata in ogni suo aspetto grazie all'applicazione di tecniche SMED, alla progettazione delle stazioni di lavoro con criteri ergonomici e allo sviluppo di una nuova politica di *part feeding*, ha permesso l'innalzamento del rendimento fino al 76,8 % (+16,8%) con un rispettivo ritorno economico (45.000 €/anno per linea) fondamentale per il benessere dell'azienda.

L'implementazione di un sistema *pull* ritmato da un Takt Time costante e alimentato con una gestione tramite *kanban*, ha sradicato la precedente realtà produttiva e, grazie anche ai benefici in termini economici, ha sancito la potenzialità dello studio e la sua estendibilità a tutto il reparto di assemblaggio.

Il progetto rimane attivo per ulteriori sviluppi che prevedono, oltre al coinvolgimento delle altre linee, l'integrazione con gli altri reparti al fine di incrementare l'indice di efficienza qualitativa globale, l'introduzione di un responsabile della produzione in fase di *engineering* delle nuove collezioni, la definizione di attività di *monitoring* della nuova realtà e in generale una maggior attenzione nell'*employee involvement*.

La possibilità di vivere una realtà aziendale come quella di Tecnica Group S.p.A. è stata incredibilmente stimolante e mi ha permesso sviluppare una maggior consapevolezza a riguardo delle potenzialità di strumenti come la *Lean Manufacturing* e l'ottimizzazione degli *assets*, non solo in ambito industriale. Mi ha consentito di avvicinarmi alle problematiche economico finanziarie in una *vision* di *budgetary control* e di intraprendere un percorso formativo, anche all'estero, all'interno di un organismo complesso e fortemente strutturato.

Bibliografia

- Battini D., Delorme X., Dolgui A., Persona A., Sgarbossa F., 2015, Assembly line balancing with ergonomics paradigms: two alternative methods, *Proceeding of the INCOM Conference*, Ottawa
- Battini D., 2018, *Dispense del corso Logistica Industriale*, Università degli Studi di Padova, A.A. 2018/2019
- Battini D., Faccio M., Persona A., Sgarbossa F., 2011, New methodological framework to improve productivity and ergonomics in assembly system design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.41, n.1, pp. 30–42
- Battini D., Persona A., Sgarbossa F., 2014, Innovative real-time system to integrate ergonomic evaluations into warehouse design and management, *Computers Industrial Engineering*, vol. 77, pp. 1–10
- Battini D., Delorme X., Dolgui A., Persona A., Sgarbossa F., 2015, Ergonomics in assembly line balancing based on energy expenditure: a multi-objective model, *International Journal of Industrial Ergonomics*
- Becker C., Scholl A., 2006, A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, vol. 168, pp. 694–715
- Cohen Y., 2012, Absenteeism as a major cause of bottlenecks in assembly lines, *International Journal of Production Research*, vol. 50, n. 21, pp. 6072-6080
- D. Lgs. 9 aprile, 2008, n. 81, *Movimentazione Manuale dei Carichi*, Allegato XXXIII
- De Toni A., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di Gestione della Produzione*, De Agostini Scuola S.p.A., Novara
- Dolgui A., Proth J. M., 2010. *Supply Chain Engineering: Useful Methods and Techniques*, Springer, London

- Feld W.M., 2001, *Lean Manufacturing Tools, Techniques and how to use them*, CRC Press
- Ghosh S. and R. J. Gagnon., 1989, A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems, *International Journal of Production Research*, Vol. 27, n. 4, pp. 637-670
- Hamza R. M. A., Al-Manaa J. Y., 2103, Selection of Balancing Method for Manual Assembly Line of Two Stages Gearbox, *Global Perspectives on Engineering Management*, vol. 2, n. 2, pp.70-81
- Liker J., Convis G., 2014, *Toyota Way: i 14 principi per la rinascita del sistema industriale italiano*, Hoepli
- Liker J., Convis G., 2016, *Toyota Way per la Lean Leadership*, Hoepli
- Little J. D. C., 1961, A Proof of the Queuing Formula $L = \lambda W$, *Operations Research*, vol. 9, pp. 383-387
- Ōhno T., 1978, *Lo Spirito Toyota*, Einaudi Editore
- Ōhno T., 2016, *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*, Productivity Press
- Panizzolo R., 2019, *Introduzione alla Lean Manufacturing*, Dispensa del corso di Gestione Snella dei Processi Università degli Studi Padova, A.A. 2018/2019
- Panizzolo R., 2019, *Organizzazione della Produzione e dei Sistemi Logistici*, Dispensa del corso di Gestione Snella dei Processi Università degli Studi Padova, Università degli Studi Padova, A.A. 2018/2019
- Pareschi A., 2007, *Impianti Industriali, criteri di scelta, progettazione e realizzazione*, Società editrice Esculapio s.r.l.
- Pareschi A., Persona A., Ferrari E., Regattieri A., 2009, *Logistica integrata e flessibile*, Società editrice Esculapio s.r.l.
- Salvendy G., 2001, *Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management*, John Wiley & Sons
- Schonberg R. J., 1982, *Japanese manufacturing techniques*, Macmillan USA

- Sgarbossa F., 2018, *Dispense del corso Impianti Industriali*, Università degli Studi di Padova, A.A. 2017/2018
- Shimon Y. N., Wilbert E. W., Warnecke H. J., 1997 *Industrial assembly*, Springer Science + Business Media
- Shingō S., 1985, *Gli elementi all'origine del pensiero del Single Minute Exchange of Die: una rivoluzione nei tempi di cambio lavoro*, JMA, Tokyo
- Slack N., Brandon Jones A., Danese P., 2013, *Gestione delle operations e dei processi*, Pearson Italia
- UNI ISO 11228, 2009, *Ergonomia- movimentazione manuale*, parti 1-2-3
- Womack J. P., Jones D. T., 2006, *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*, Milano, Guerini e Associati
- Womack J. P., Jones D. T., Roos D., *The machine that changed the world*, Collier Macmillan Canada, New York, 1990

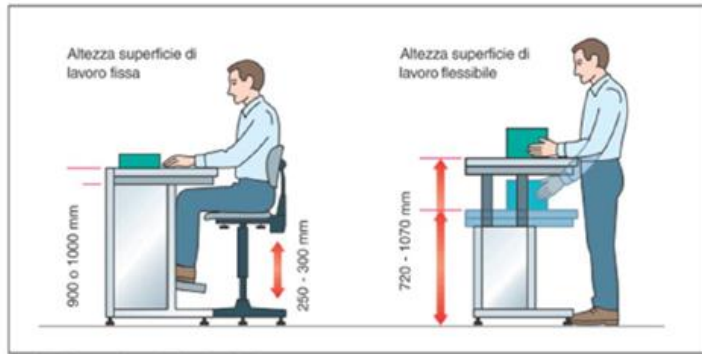
Sitografia

- www.boschrexroth.com/engineering
- www.iea.cc
- www.leanmanufacturing.it
- www.leanthinking.com
- www.tecnicagroup.com

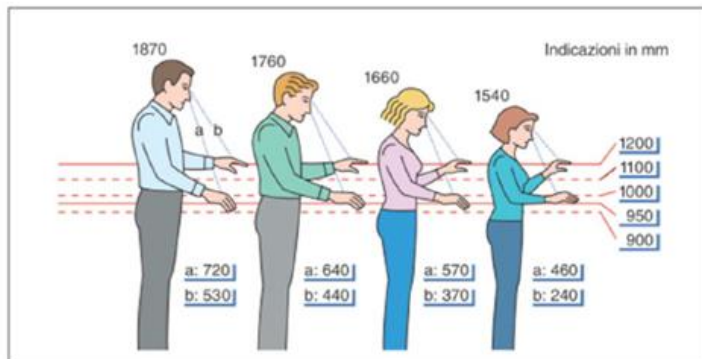
Allegati



Allegato 1 Layout generale dello stabilimento ungherese di Technica Group S.p.A.

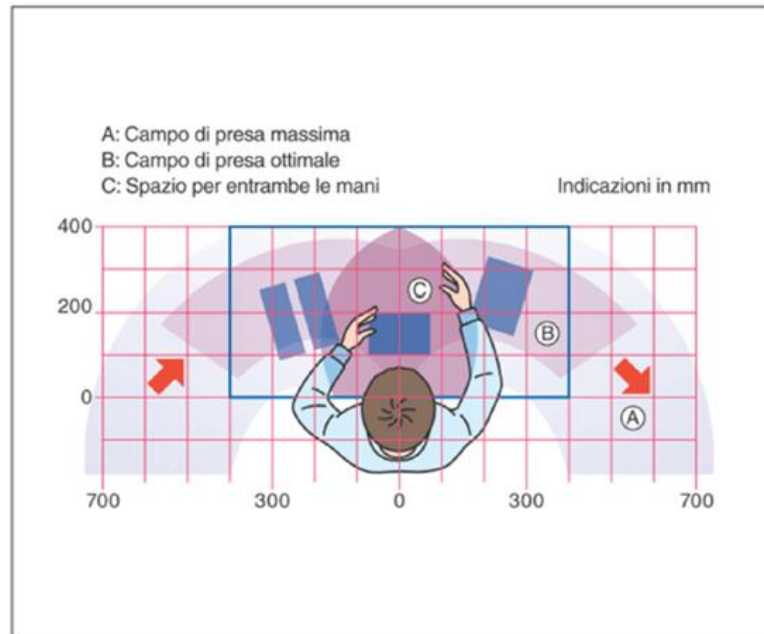


Posti di lavoro da seduti e in piedi



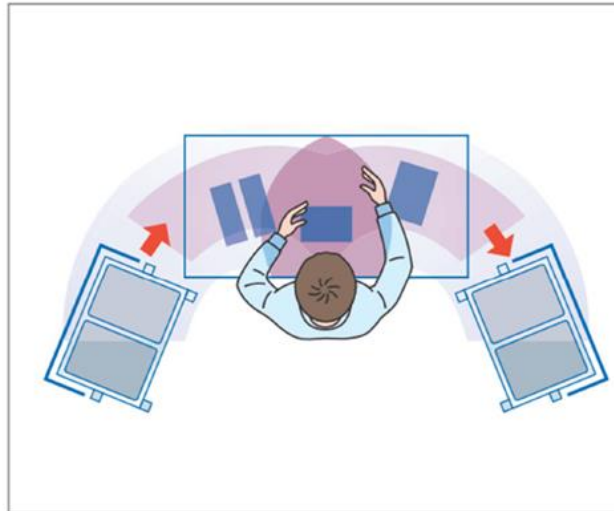
Distanze visive e posizioni dell'avambraccio rappresentate in funzione della statura e dell'altezza di lavoro

Allegato 2 Body e working height



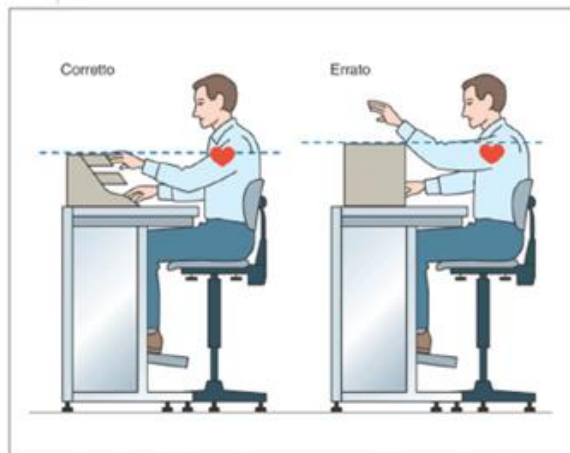
Campo di presa per una donna avente una statura di 1660 mm (donna di statura media)

Allegato 3 Reach zone

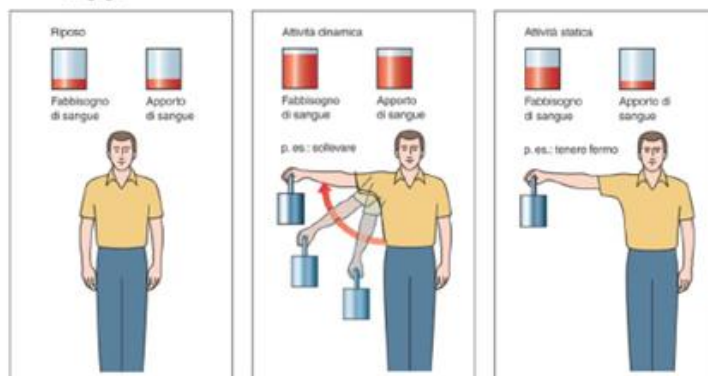


Per minimizzare la portata e il raggio di rotazione dell'operatore tenere conto della grandezza del campo di presa

Allegato 4 Parts presentation

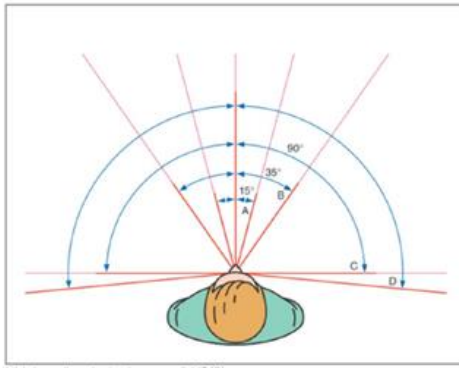


Fate eseguire tutti i lavori al di sotto dell'altezza del cuore per migliorare la circolazione sanguigna

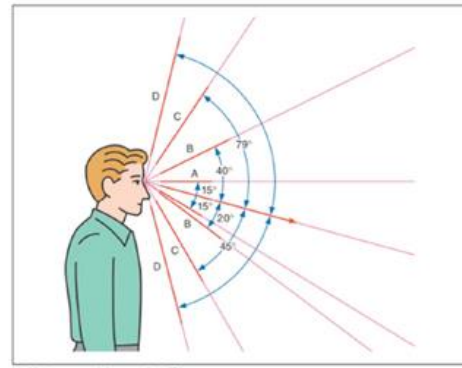


Evitate attività statiche, poiché altrimenti la circolazione sanguigna viene limitata

Allegato 5 Working area



Minimizzare l'angolo visuale a meno di 35° (B)

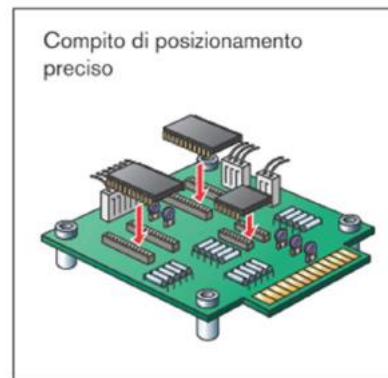


Limiti del campo visivo massimo (B)
Limiti del campo visivo ampliato al movimento della testa (D)

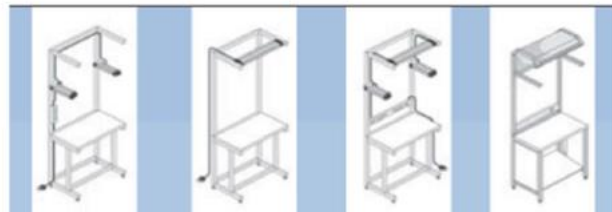
Allegato 6 Range of vision



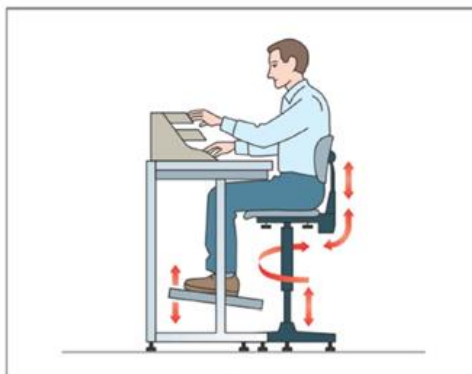
Per la maggior parte dei compiti, l'intensità luminosa standard si aggira intorno a 500 lux



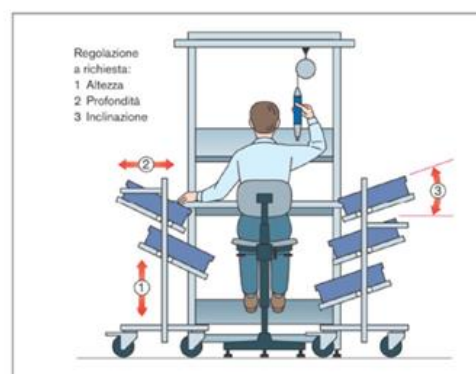
Per determinati compiti visivi sono necessari 1000 - 1500 lux



Allegato 7 Illumination



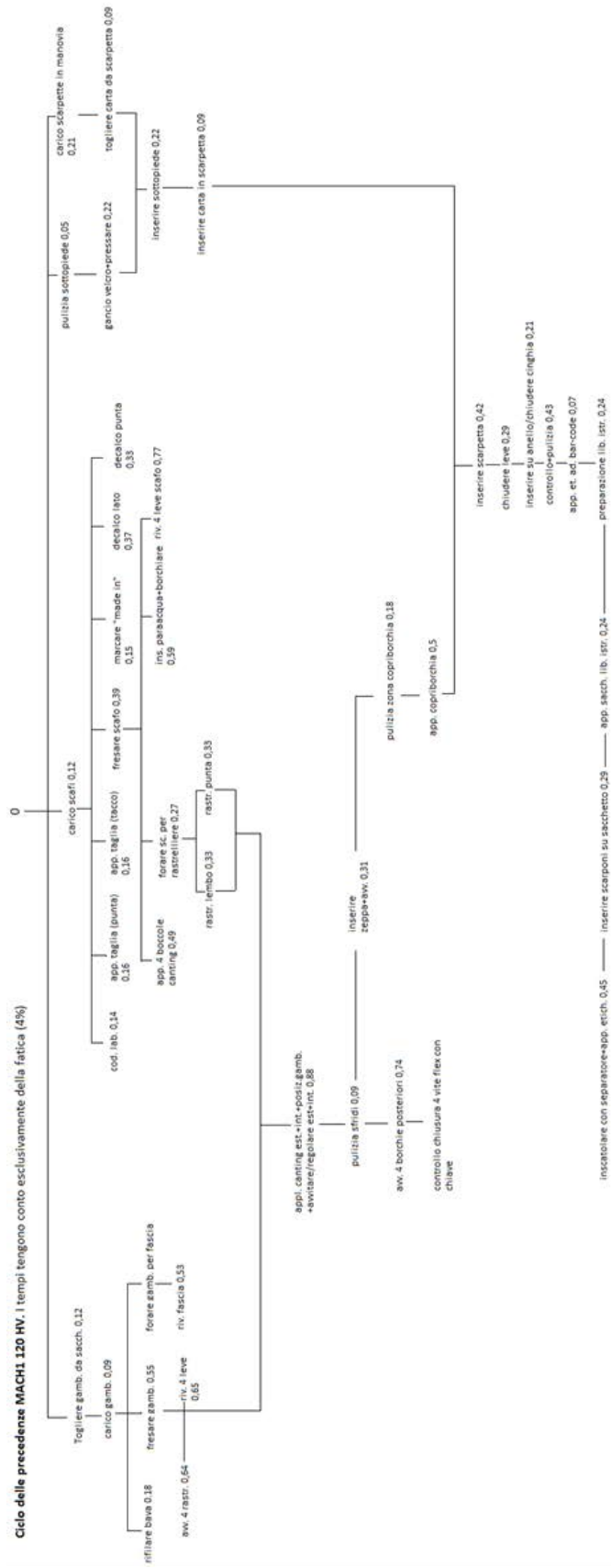
Adattamento corretto del posto di lavoro al collaboratore



Adattamento corretto del carrello del materiale al collaboratore

Allegato 8 Adjustment of work equipment

Ciclo delle precedenze MACH1 120 HV. I tempi tengono conto esclusivamente della fatica (4%)



Allegato 9 Ciclo delle precedenze del modello Tecnica MACH1 120 HV

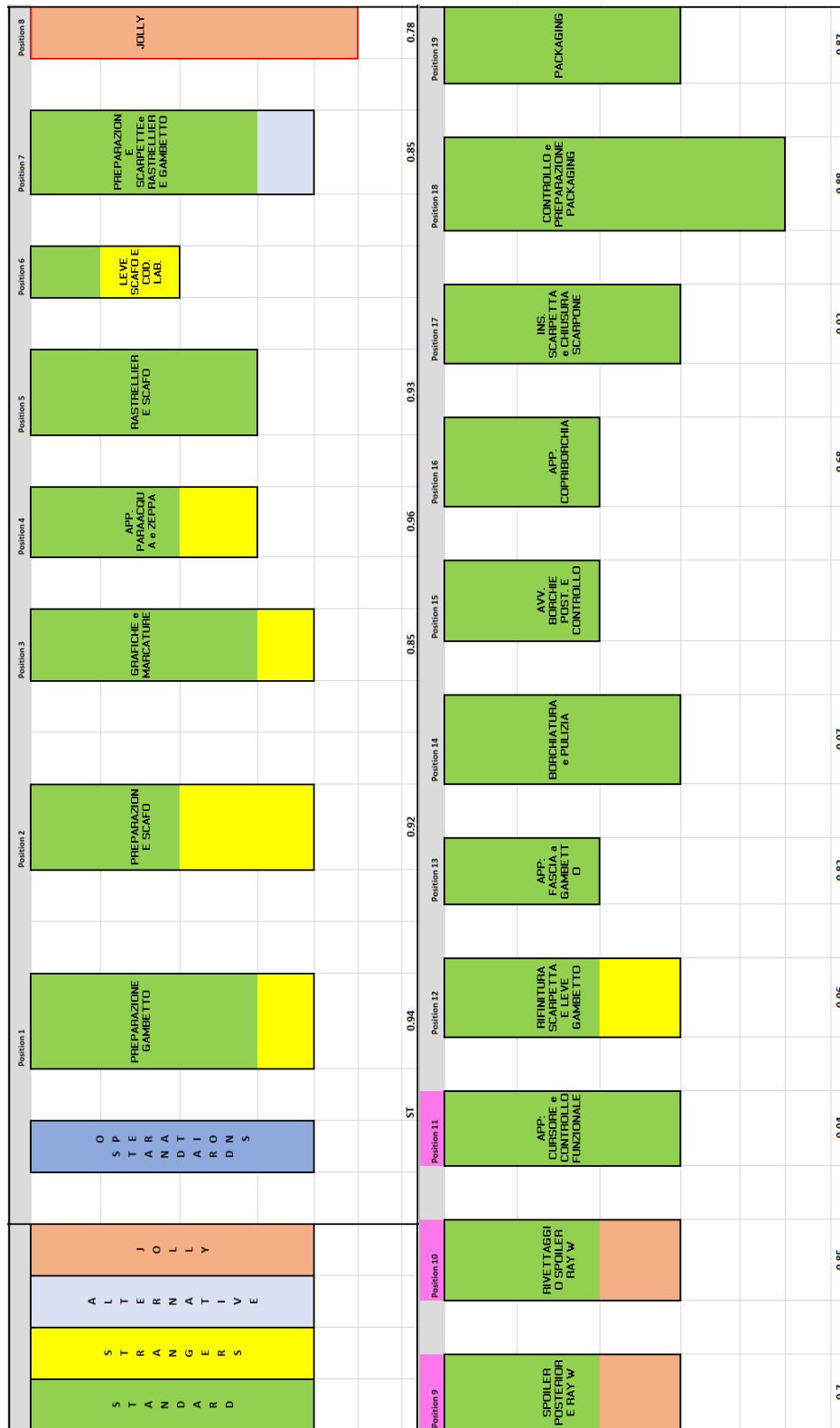
Algoritmo *Bottom-Up*

per la creazione di una linea di assemblaggio **standard** a più famiglie di prodotto
(Allegato 12)

1. Analisi a partire dal modello con tempo di assemblaggio totale minore (*Bottom*)
2. Inserimento task con frequenza operativa maggiore (*runner*)
3. Assegnazione⁶⁰ operazioni con frequenza omogenea⁶¹ alla stazione individuata (*n-esima*), che prevedano lavorazioni e/o macchinari uguali o simili per i semilavorati già in lavorazione, fino al raggiungimento del tempo ciclo previsto
4. In presenza di più task assegnabili alla stazione *n-esima*, inserire per via prioritaria quelli che prevedono il caricamento anticipato di tutti i semilavorati in linea
5. Raggiunta la saturazione della postazione, iterare il procedimento secondo le modalità previste con creazione della stazione *n+1*, per le operazioni a frequenza decrescente (*repeaters*)
6. Ripetere l'iter di assegnazione per i task *strangers* individuati in fase preliminare (*micro-cluster*), compatibilmente con il tempo ciclo e concentrando le attività esclusivamente all'interno di stazioni dedicate
7. Iterare il procedimento con i modelli a complessità operativa crescente (*Up*) fino a esaurimento

⁶⁰ Nel rispetto della sequenza tecnologica prevista del diagramma delle precedenze

⁶¹ Medesima frequenza pura (unico task previsto) o risultante (somma) delle attività alternative



Allegato 13 Definizione delle operazioni standard per la sequenza di assemblaggio