

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE

*Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni Meccaniche, Nucleari,
Aeronautiche e di Metallurgia*

TESI DI LAUREA

in
Logistica Industriale

**DIMENSIONAMENTO DI UNA LINEA DI ASSEMBLAGGIO
“ALTI VOLUMI” PER AUTOMOBILI LAMBORGHINI**

CANDIDATO
Emanuela Brighi

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Cesare Saccani

CORRELATORI:
Chiar.mo Prof. Lorenzo Peretto
Prof. Ing. Augusto Bianchini
Ing. Carmine Barlotti
Ing. Simone Zamboni

Anno Accademico 2009/10
Sessione III

*Alla mia famiglia così unica
A Marco, dono meraviglioso
Ai miei amici sempre presenti*

Indice

| | |
|--|----|
| Indice | I |
| Introduzione | 1 |
| Capitolo 1. L'azienda Automobili Lamborghini S.p.A. | 3 |
| 1.1 Evoluzione storica e modelli prodotti | 3 |
| 1.2 La Lamborghini oggi | 10 |
| Capitolo 2. Lean Production: principi e applicazione al progetto | 15 |
| 2.1 I principi applicativi del Lean Thinking | 16 |
| 2.1.1 La definizione del valore | 16 |
| 2.1.2 L'identificazione del flusso di valore | 17 |
| 2.1.3 Far scorrere il flusso | 18 |
| 2.1.4 Pull..... | 19 |
| 2.1.5 La perfezione | 20 |
| 2.2 Implementazione dei principi di Lean Production in Lamborghini..... | 21 |
| 2.2.1 La casa del LPS | 22 |
| 2.2.2 Gli strumenti del LPS | 23 |
| 2.2.2.1 Le 5S: presupposto per il lavoro standardizzato | 23 |
| 2.2.2.2 Lavorare in takt | 25 |
| 2.2.2.3 Poka-yoke..... | 26 |
| 2.2.2.4 Kanban e la gestione dei materiali | 27 |
| 2.2.2.5 La metodologia "fishbone" | 29 |
| 2.2.2.6 Il concetto "0 difetti" e l'intervento immediato in caso di anomalie..... | 29 |
| 2.2.2.7 Il visual management | 30 |
| 2.2.2.8 Il lavoro in team | 30 |
| 2.3 Premesse del progetto | 31 |
| 2.4 Definizione takt time, numero di operatori e stazioni | 32 |
| Capitolo 3. Definizione layout di stazione e di linea ideali | 35 |
| 3.1 Layout di una stazione di assemblaggio | 35 |
| 3.1.1 Possibili soluzioni di layout di linea..... | 35 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| 3.1.2 | Scelta del layout di stazione ottimale | 39 |
| 3.2 | Layout della linea di assemblaggio..... | 50 |
| 3.2.1 | Possibili soluzioni di layout di linea..... | 53 |
| 3.2.1.1 | Linea a forma di “U” | 54 |
| 3.2.1.2 | Linea a forma di “U” ampia | 55 |
| 3.2.1.3 | Linea a forma rettangolare | 58 |
| 3.2.1.4 | Linea a forma di “S” | 60 |
| 3.2.1.5 | Linea a forma di “S ampia” | 62 |
| 3.2.1.6 | Linea composta da linee parallele | 64 |
| 3.2.1.7 | Linea composta da linee parallele distanziate | 65 |
| 3.2.1.8 | Linea a forma di “L” | 67 |
| 3.2.1.9 | Linea a forma di “C” | 69 |
| 3.2.2 | Scelta del layout di linea ottimale | 73 |
| Capitolo 4. | Contenuti dei premontaggi e delle stazioni di linea..... | 79 |
| 4.1 | Metodi di determinazione dei tempi | 79 |
| 4.1.1 | Methods-Time Measurement (MTM) | 82 |
| 4.2 | Contenuti dei premontaggi e ridefinizione del numero di stazioni..... | 85 |
| 4.3 | Sequenza di montaggio | 88 |
| 4.4 | Bilanciamento e cartelle di lavoro | 90 |
| 4.5 | Contenuti della linea principale e ridefinizione del numero di stazioni | 95 |
| Capitolo 5. | Definizione tecnologia e valutazione dell’investimento..... | 109 |
| 5.1 | Definizione tecnologia..... | 109 |
| 5.1.1 | Sistema di trasporto della linea..... | 109 |
| 5.1.2 | Manipolatori | 111 |
| 5.2 | Valutazione dei costi..... | 114 |
| 5.2.1 | I costi d’installazione..... | 115 |
| 5.2.1.1 | Final Assembly Product Costs | 118 |
| 5.2.1.2 | Final Assembly Structure Costs | 121 |
| 5.3 | Le soluzioni preferite di layout a confronto..... | 123 |
| Conclusioni | | 129 |
| Legenda..... | | 131 |
| Bibliografia | | 133 |
| Ringraziamenti..... | | 135 |

Introduzione

L'aspetto che contraddistingue Automobili Lamborghini è l'esclusività delle sue automobili. I suoi clienti possono acquistare vetture con un alto livello di personalizzazione.

Il presente lavoro di tesi, frutto di un periodo di stage svolto presso Automobili Lamborghini S.p.A., tratta il dimensionamento di una linea di assemblaggio "alti volumi". Le virgolette vogliono indicare il particolare significato che quelle due parole assumono per un'azienda come questa. Il volume di 40 vetture/giorno non è di per sé elevato, se confrontato con quello di altre case automobilistiche. Ma per un'auto supersportiva, estrema, raffinata ed esclusiva come una Lamborghini, occorre conciliare la riduzione del takt time con l'artigianalità e la personalizzazione del prodotto, caratteristiche insite in ogni piccola operazione di assemblaggio. Il sistema produttivo necessita di un alto grado di efficienza e produttività, con una costante attenzione ai processi e ai flussi. In questo contesto, ben si collocano gli strumenti della Lean Production.

Dopo una breve presentazione dell'azienda, della sua evoluzione storica e dei modelli prodotti, nel Capitolo 2 sono esaminati i principi lean del Lamborghini Production System (LPS) alla base del dimensionamento della linea di assemblaggio. Per migliorare il rispetto delle tempistiche, ridurre i tempi ciclo e i costi, aumentare la qualità e allo stesso tempo la produttività, sono imprescindibili strumenti come le 5S, il lavoro a takt, il poka-yoke, la gestione dei materiali a kanban, la metodologia "fishbone", il visual management e il lavoro in team. Anche le premesse sottostanti il progetto, in seguito esposte, sono volte alla realizzazione di un processo snello. Esse riguardano l'assenza di scaffali in linea, la collocazione di un supermarket a bordo linea il più vicino possibile alle aree di utilizzo, l'applicazione del "fishbone concept" che si traduce nella disposizione delle aree premontaggio adiacenti alle relative stazioni di linea principale e l'utilizzo di carrelli materiali multistazione che meglio si adattano ad un ridotto takt time. Alla fine del capitolo vengono poste le basi per lo studio successivo attraverso il calcolo del takt time, l'identificazione del numero di operatori

necessari a far fronte a un tale volume produttivo e la determinazione del numero di stazioni sia di premontaggio che di linea; la suddivisione tra le stazioni è stata stimata prendendo a riferimento la situazione attuale in Gallardo.

Nel Capitolo 3, sono descritte le possibili soluzioni di layout della singola stazione di assemblaggio e poste a confronto rispetto ai criteri ritenuti importanti dai responsabili dei settori dell'area industriale. Tra i fattori, sono determinanti lo spazio per materiale e attrezzature, gli spostamenti e le interferenze tra gli operatori, la visibilità della vettura, il rischio di danneggiamenti e la possibilità di utilizzo dei carrelli commissionatori. Successivamente si esaminano diversi layout di linea con forme differenti, allo scopo di trovare quello che meglio risponde ai criteri logistici e produttivi caratteristici di un impianto industriale. Essi sono l'efficienza del flusso dei materiali, la flessibilità e adattabilità del layout, l'utilizzazione dello spazio, la vicinanza dei supermarket alle aree di premontaggio e la facilità di future espansioni; da non dimenticare, l'aspetto esterno e lo spazio per i visitatori che costituiscono fattori importanti per l'immagine di Automobili Lamborghini. Per la scelta dei layout preferiti ci si è avvalsi del metodo dell'analisi dei fattori (Value-Benefit Analysis).

Un ulteriore passo viene fatto nel Capitolo 4. Con l'obiettivo di definire i contenuti delle singole stazioni di premontaggio (PM) e di assemblaggio, sono stati determinati i tempi attraverso stime, rilievi cronometrici e l'applicazione del Methods-Time Measurement (MTM). Dopo la definizione di una sequenza di montaggio di massima, attraverso il bilanciamento dei tempi e la creazione di cartelle di lavoro rispettose del takt time, si è potuto assegnare con precisione le operazioni ad ogni stazione. Si è così pervenuti all'esatto numero di stazioni PM e di linea principale con la precisa indicazione della manodopera necessaria. Il dimensionamento del progetto è a questo punto completato.

Nel Capitolo 5, infine, è presentata una valutazione dei costi d'installazione e d'esercizio connessi al layout scelto e alle ulteriori due soluzioni preferite individuate dalla Value-Benefit Analysis, allo scopo di evidenziare eventuali differenze e verificare se la soluzione scelta è conveniente anche sotto il profilo economico.

Capitolo 1

L'azienda Automobili Lamborghini S.p.A.

1.1 Evoluzione storica e modelli prodotti

Ufficialmente la storia della “Lamborghini Automobili” inizia nel 1963 a Sant’Agata Bolognese.

Per capirne l’origine bisogna però tornare alle radici del fondatore Ferruccio Lamborghini. Nato il 28 Aprile 1916, sotto il segno del Toro, simbolo ancora oggi della casa automobilistica, fu il vero protagonista della nascita dell’azienda e delle fasi iniziali della sua storia. Era figlio di una modesta famiglia di agricoltori di Renazzo di Cento (Ferrara); aveva una passione innata per i motori e per le macchine che lo portano a Bologna a studiare Ingegneria Meccanica. Nel 1948, a Pieve di Cento, nasce la Lamborghini Trattori, capace di progettare e costruire autonomamente tutti i suoi automezzi; nel corso degli anni ‘50 e ‘60 la Lamborghini Trattori diventa una delle più importanti aziende nazionali, costruttrici di macchine agricole. Vengono anche altre attività che lo rendono un uomo di successo, forte e dalle idee chiare. E’ difficile pensare che Ferruccio possa aver rivolto la sua attenzione dalle macchine agricole alle auto sportive di lusso. Molti pensavano fosse impazzito. La leggenda racconta che l’idea gli venne dopo una discussione con il suo amico Enzo Ferrari quando ebbe delle noie con la frizione della sua nuova Ferrari. Sembra che Enzo gli disse di non essere in grado di guidare le Ferrari ma solo i trattori. Allora Ferruccio si impuntò e rispose: “Adesso la macchina me la faccio io”. Voleva costruire un’automobile confortevole, veloce, ben rifinita e senza difetti, insomma perfetta. Si mette così a lavorare al progetto alla fine del 1962 e già nel maggio del 1963 costituiva la società “Automobili Ferruccio Lamborghini”, acquistando un grande terreno a Sant’Agata Bolognese, a circa 25 chilometri dal capoluogo emiliano, per costruire una grande, modernissima fabbrica dove ancora oggi l’azienda ha la sua sede.



Figura 1.1 – Sede di Automobili Lamborghini S.p.A.

Ferruccio era un tipo bizzarro ma aveva già fatto bene i suoi conti: aveva smontato le sue automobili di prestigio e scoperto che alcuni dei pezzi di ricambio di queste auto erano esattamente quelli che lui utilizzava nei suoi trattori.

Il primo modello fu presentato nel novembre 1963 all'evento tradizionale dell'epoca: il salone di Torino. Un impegno notevole e in poco tempo ma ciò nonostante la **350 GTV** era già un capolavoro. Sebbene la carrozzeria si rivelò poco indovinata, la parte meccanica rispondeva perfettamente a ciò che aveva dichiarato inizialmente il fondatore, con un potente motore V12 da 3,5 litri che erogava senza sforzo ben 360 cavalli e la novità delle sospensioni indipendenti. Il disegno venne subito rivisto per renderla più appetibile al pubblico. Nacque così la **350 GT**, di cui il Museo Lamborghini conserva un esemplare assolutamente perfetto.



Figura 1.2 - 350 GTV



Figura 1.3 - 350 GT

L'evoluzione immediata e quasi inevitabile della 350 GT, di cui furono prodotti 120 esemplari, fu la **400 GT** con motore portato a 4 litri e il primo cambio

disegnato e costruito in casa dalla Lamborghini. Ne furono costruite 273 esemplari.

In quegli anni ed in quelli immediatamente successivi venne fuori l'identità delle auto Lamborghini Gran turismo che sotto quella carrozzeria un po' stravagante, fuori dai canoni classici, mostravano una qualità meccanica davvero superiore.

Il marchio Lamborghini incominciava così a farsi notare.

Al salone di Torino del 1965, venne presentato un telaio innovativo e originale che era destinato ad avere un profondo impatto sulla storia della Casa e dell'intero mondo dell'automobile. Questo telaio era stato ideato da due giovani ingegneri, Dallara e Stanzani, messi da Ferruccio alla guida della sua fabbrica, che volevano portare su strada non una GT ma una vettura da corsa. Il progetto prevedeva il motore della 400 GT piazzato dietro l'abitacolo, in posizione trasversale e il telaio di lamiera forata per ridurne il peso. Il carrozziere Bertone rimase colpito da quel telaio e, insieme a Gandini, creò in soli quattro mesi una carrozzeria unica e sensazionale, qualcosa che, nella sua miscela di aggressività, eleganza e classe fu poi destinata a rivelarsi irripetibile: la **Miura**.



Figura 1.4 - Miura



Figura 1.5 - Miura S

A Ginevra nel 1966, la Miura fu la regina incontrastata del Salone. Quel telaio che inizialmente sembrava una pazzia, era diventato l'automobile più bella del mondo. Anche il nome fu azzecato, infatti secondo gli intenditori, i tori Miura sono i più forti, i più intelligenti e astuti. Iniziò ad arrivare una pioggia di ordini: quell'auto aveva sconvolto tutti gli appassionati e il suo nome diventa un simbolo del mondo dell'auto, il simbolo dell'eccesso, dell'andare 'oltre' a ogni costo, del fare sempre di più e meglio di tutti i rivali. Questa diventa l'identità distintiva del marchio.

Il '67 si apre con una strabiliante vettura a quattro posti, la **Marzal**, con motore posteriore a sbalzo dietro l'assale e con sensazionali portiere a farfalla ad apertura

verticale. Questo tipo di apertura, era la prima volta che compariva e caratterizzerà, in modo sempre più evidente, le Lamborghini della fascia più alta.



Figura 1.6 - Marzal



Figura 1.7 - Espada

Sebbene questa vettura non fu destinata alla produzione, la peculiarità del suo design incrementò la notorietà del marchio. Nel '68 Ferruccio decide di proporre la **Miura Roadster** ma senza troppo successo: voleva saggiare le reazioni di clienti di fronte ad un modello scoperto. Viene poi presentata la **Islero GT** da 2+2 posti che però non genera alte vendite a causa della preferenza verso le forme della Miura. In seguito la **Espada**, come erede della Marzal con quattro veri posti comodi, dalla linea rivoluzionaria e innovativa, porta ad un grande numero di ordini. Una sua caratteristica era il grande lunotto vetrato che in realtà era il portellone del bagagliaio. La **Miura** viene migliorata offrendo un motore più potente da 370 cavalli, alzacristalli elettrici, interni in pelle naturale e più rifiniti con persino l'optional dell'aria condizionata. E' la **versione "S"** con cui la Miura termina la sua carriera. Con l'intento di creare una via di mezzo tra i quattro posti della Espada e i due 'secchi' della Miura, viene costruita la **Jarama**, una 2+2 troppo razionale per essere apprezzata dagli appassionati Lamborghini.

L'altro grande progetto che viene annunciato e presentato nel 1970 è quello per un'auto radicalmente nuova e diversa: la **P250 Urraco**: dalle prestazioni eccellenti con un prezzo di gran lunga inferiore a quello della Miura, ottiene un grande successo. Per la sua realizzazione, Lamborghini espande la fabbrica di Sant'Agata, facendo costruire un nuovo ampio capannone di 5000 m² dietro a quello già utilizzato.



Figura 1.8 – Urraco



Figura 1.9 – Countach

Viene anche pensato un prototipo da corsa, la **Jota**. E' un modello totalmente nuovo, con telaio più rigido, leggera, con prestazioni eccellenti (da 0 a 100 km/h in soli 3,6 secondi), finestrini scorrevoli laterali e cerchi in lega di magnesio. Questa auto precedette l'ingresso della Lamborghini nelle competizioni, ma purtroppo non ebbe seguito.

Al salone di Ginevra del 1971, viene presentata la versione definitiva e assoluta della leggendaria **Miura**, la **SV**, insieme ad un'auto rivoluzionaria: la LP 500, meglio nota come **Countach**. Essa era caratterizzata da un muso sottile e aggressivo, il parabrezza piatto e il tetto che continuava al di sopra del cofano motore, sempre in un'unica curva progressiva che va dal paraurti anteriore al pannello di coda della carrozzeria.

Nel frattempo qualcosa sta cambiando nella situazione sociale nazionale ed internazionale. Le agitazioni sindacali e popolari creano una difficile situazione all'interno delle fabbriche nelle quali il controllo proprietario viene apertamente contrastato. Per Lamborghini, da sempre abituato a una gestione diretta, talvolta ruvida e un po' paternalistica ma molto attenta delle sue fabbriche, questa nuova situazione non è più tollerabile. Nel 1972 vende quindi il pacchetto di maggioranza delle sue azioni a uno svizzero, Georges-Henri Rossetti, e, l'anno dopo, il resto delle sue azioni a René Leimer, suo amico. Esce quindi definitivamente di scena il fondatore dell'azienda, colui che ne aveva animato la straordinaria vitale esplosione dei primissimi otto anni.

L'attività dell'azienda continua comunque a pieno ritmo. Il '72 è anche l'anno nel quale viene messa in effettiva produzione la Urraco. La Countach davvero di serie (LP 400 perché riportata alla sua cilindrata ideale di 4 litri) arriva alla fine del '73.

Intanto nel mondo avanza la crisi petrolifera e la Lamborghini, a causa della sua collocazione nel segmento estremo delle automobili, viene duramente colpita. Cerca di reagire con due modelli Urraco con motori meno potenti; poi introduce la **Bravo**, con vetratura anteriore e laterale giuntata senza montanti in vista, e la **Silhouette**, con tetto asportabile. Le difficoltà commerciali e produttive portarono il responsabile della Lamborghini a cercare collaborazioni esterne per sfruttare gli impianti inattivi. Fu instaurata una collaborazione con BMW Motorsport e a seguito di contatti presi con l'ambiente dei fornitori militari di veicoli fuori strada, venne progettata e realizzata la **Cheetah**, un fuoristrada dalle grandi capacità, la cui produzione non venne mai avviata. Le collaborazioni così terminano. Nel 1979 rimane in produzione solo la Countach S che, nel frattempo, era diventata in tutto il mondo il simbolo della superautomobile sportiva 'definita'. Viene ideato un altro modello, la Athon, ma senza risultati. Si arriva alla liquidazione dell'azienda nel 1980.

Fortunatamente ha subito parecchi pretendenti che la vorrebbero rilevare. Il giudice affida l'azienda ai fratelli Mimran, ricchissimi proprietari di un impero dello zucchero in Senegal ed appassionati di automobili sportive. La nuova "Automobili Ferruccio Lamborghini SpA" viene formata nel 1981. La nuova gestione risollevò il nome dell'azienda dalla confusione degli ultimi 7 anni con la revisione di modelli precedenti (Countach e Cheetah), la progettazione di nuovi (la **Jalpa** e il fuoristrada **LM**) e l'inizio della progettazione dell'erede della Countach, la Tipo 132. Nel frattempo i nuovi proprietari trovarono nella Chrysler un partner industriale forte ed efficiente. Nel 1987, il team francese di formula1 Larrousse propose alla Lamborghini insieme all'ingegner Forghieri (progettista delle migliori Ferrari) di realizzare un nuovo motore. Anche la Lotus richiese una fornitura di motori per la stagione successiva. La scarsa sensibilità della proprietà americana Chrysler portò a un calo progressivo delle prestazioni delle vetture. La **F.1** modenese può essere ammirata all'interno del museo di Sant'Agata. La 132, nota come **Diablo** viene presentata nel 1990 nella versione a due ruote motrici.



Figura 1.10 – Diablo

Era eccessiva, spettacolare, violenta e inconsueta, degna di essere erede della Countach. Diablo, infatti, era il nome di un toro da combattimento particolarmente feroce del XIX secolo. Questa automobile è potentissima. Il motore, a 12 cilindri da 492 cavalli, permette di arrivare a una velocità di oltre 327 chilometri all'ora. Nel '93 viene presentata una versione a trazione integrale, che da quel momento diventerà una caratteristica della Lamborghini. Nel 1994 la Chrysler cedette inspiegabilmente la Casa bolognese a un gruppo di sconosciuti investitori indonesiani. Nonostante la grave destabilizzazione della direzione della Casa, la Diablo viene sviluppata e se ne ricavano molti modelli collaterali. La necessità di sviluppare nuovi modelli e quindi di effettuare importanti investimenti in questa direzione, è evidente. La Diablo ha già più di sette anni. La Lamborghini chiede allora collaborazione tecnica ad alcuni fabbricanti automobilistici di altissimo livello, fra i quali Audi. Ad acquisire la storica azienda Bolognese è l'**AUDI AG**, proprietario ancora oggi del leggendario marchio di Sant'Agata. Il contratto per la cessione completa e definitiva di tutte le azioni dall'ultimo azionista indonesiano alla Casa tedesca viene portato a termine il 27 luglio 1998.

L'entrata del gruppo tedesco ha determinato, a tutti gli effetti, una nuova vita della Lamborghini. Dopo anni di gestioni poco felici e momenti altalenanti, il subentrare dell'Audi significava poter contare su una proprietà ricca e famosa, una grande casa automobilistica, fra l'altro nota per il suo altissimo profilo tecnologico, senza però voler togliere alla casa di Sant'Agata neppure una briciola della sua leggendaria personalità.

1.2 La Lamborghini oggi

I caratteri distintivi di un'automobile Lamborghini sono: uncompromising, challenging, exclusive, extreme, sensuous, italian e aggressive. Il design e le prestazioni si uniscono nell'ottica dell'estremo. Ancora oggi non sono stati abbandonati quei concetti simbolo delle Lamborghini di Ferruccio: il motore trasversale dietro l'abitacolo, l'apertura alare delle porte, la trazione integrale.

Nonostante l'ingresso del gruppo automobilistico tedesco, dal 1998 ad oggi, la Lamborghini ha mantenuto lo stile e il design tipico del made in Italy; non è stata stravolta nei suoi caratteri distintivi bensì ha potuto usufruire delle competenze e tecnologie tedesche riposizionandosi ai fasti di un tempo.

L'azienda ha subito una profonda revisione del processo, ancora in corso, che ha come obiettivo quello di allinearsi progressivamente agli standard qualitativi tedeschi in modo da conseguire una standardizzazione tale da realizzare quelle sinergie fonti di sicuro vantaggio competitivo.

Il Gruppo Volkswagen racchiude marchi quali Bentley, Bugatti, Lamborghini, Scania, Seat, Skoda, Volkswagen, Audi e, l'ultima entrata, Porsche, tutti con una forte caratterizzazione di immagine e prodotti.

Dopo l'entrata di Audi, la prima grande novità arriva nel 2001, ed è l'erede della Diablo: la **Murciélago**.



Figura 1.11 – Murciélago

Non c'è quasi bisogno di dire che anche questo nuovo modello prende il suo nome da un famoso feroce toro da combattimento. Aumenta ancora la potenza, che ora arriva a 580 cavalli. Soprattutto aumenta la sensazione di qualità complessiva dell'intera automobile, il cui livello di rifinitura migliora ulteriormente rispetto ai

già ottimi risultati delle ultime Diablo. Il mercato reagisce bene e la Lamborghini può contare sulla vendita di ogni esemplare che riesce a produrre, prenotato dai clienti con largo anticipo. La Murciélago non è destinata a rimanere sola: se ne studia qualche variante. La prima è una Concept car di una versione 'Barchetta' a cui è stato tolto il tetto.

Nel 2003 arriva l'altra grande novità: si chiama **Gallardo** ed è la "piccola Lamborghini" adatta anche per una "guida giornaliera". Dire che la Gallardo è "piccola" fa un po' sorridere. Lo è, naturalmente, se la si confronta con la grande Murciélago ma, in assoluto, questo aggettivo mal si addice a un'automobile che ha un motore di 10 cilindri a V da 500 cavalli, con 50 valvole, trazione integrale permanente e una velocità massima che supera ampiamente i 300 km/h. Questa vettura può essere guidata piacevolmente sia in circuito sia su strade urbane ed extraurbane.

In occasione del 40° anniversario di Automobili Lamborghini, viene proposta una serie limitata di 50 esemplari della Murciélago nella esclusiva colorazione verde Artemis.

Nel 2004 venne presentata la **Murciélago Roadster**. Questa versione scoperta si differenzia dalla coupé per l'estetica della parte posteriore e per il prezzo di vendita più alto. Il motore è ovviamente un V12 di 6192 cm³. Per la prima volta, viene presentata una versione da corsa sulla base della supercar Murciélago: la Murciélago R-GT. Seguirà la versione limitata **Murciélago LP 650-4 Roadster** con un V12 da ben 650 CV.



Figura 1.12 - Murciélago LP650-4 Roadster



Figura 1.13 - Gallardo LP560-4 Spyder

Anche per la "piccola Lamborghini" si sono succedute interessanti ed estreme evoluzioni, sia per le motorizzazioni sia per il design, come la **Gallardo SE Special Edition** con l'inedita verniciatura bicolore, la **Gallardo Spyder** da 520

cavalli, la **Gallardo Superleggera** presentata nel 2007 e prodotta in soli 350 esemplari che con 100 kg in meno rispetto alla Gallardo di serie diventa la sportiva più veloce della categoria (con uno scatto da 0 a 100 km/h dichiarato in appena 3,8 secondi e 315 km/h di velocità massima). L'evoluzione prosegue con la versione da 560 cavalli presentata nel 2008 anche in versione Spyder: sorprendente nel design, tipicamente incisivo e tagliente, ma soprattutto dalle prestazioni esuberanti. La **Gallardo LP560-4 Spyder** ha una velocità massima di 324 km/h. Dopo la **Gallardo LP550-2 VB** dedicata a Valentino Balboni, si arriva alle più recenti versioni: la **Gallardo LP570-4 SL Superleggera** e la **LP570-4 SP Spyder Performante** che permettono un'accelerazione da 0 a 100 km/h fino a 3,4 sec, un vero e proprio lancio spinto.



Figura 1.14 - Gallardo Superleggera LP 570-4



Figura 1.15 - Gallardo LP 570-4 Spyder Performante

Nel 2009 Lamborghini completa la serie Murciélago con il nuovo modello top di gamma ancora più estremo: la **Murciélago LP 670-4 SV Superveloce**. Più potente, più leggera e più veloce della Murciélago LP 640. Con il suo V12 di 6,5 litri maggiorato in potenza di 30 cv e il peso ridotto di 100 kg, la Murciélago LP 670-4 Super Veloce fa segnare appena 3,2 secondi per scattare da ferma a 100 km/h, raggiungendo una velocità massima di 342 km orari.



Figura 1.16 - Murciélago LP 670-4 SV

I due modelli e le loro evoluzioni hanno portato ad una forte progressione delle vendite tanto che nel 2008 sono state vendute addirittura 2.430 vetture con un incremento del 15% rispetto all'anno precedente. Questo risultato costituisce la soglia di vendite più alta finora raggiunta in tutta la storia del marchio.

L'anno 2009, al contrario, rispecchia il difficile momento del settore automotive che ha portato ad una riduzione delle vendite in tutti i segmenti, compreso quello delle supersportive. Nonostante la difficile congiuntura economica, nel 2009 è entrata in produzione il nuovo gioiello della casa di Sant'Agata Bolognese: la **Reventón**.

L'ultima nata in casa Lamborghini, prodotta in soli 20 esemplari, presenta soluzioni estetiche e tecnologiche ispirate all'aeronautica. Questo bolide, con il suo motore da 6,5 litri, 12 cilindri e 650 cavalli, raggiunge i 340 km/h (0-100 km/h in 3,4 secondi).



Figura 1.17 - Reventón Roadster

Il rivestimento esterno è realizzato in CFC, un materiale composito a base di fibra di carbonio. Il colore utilizzato per questa super-macchina è proprio il "Reventón" (grigio opaco medio) che, grazie anche alla presenza di molte parti metalliche, crea un effetto molto particolare alla luce del sole. Anche i cerchi contribuiscono a questo gioco di luci. Il prezzo è fissato in circa 1,1 milioni di euro, iva esclusa.

Al salone di Francoforte del 2009 è stata inoltre presentata la serie roadster con 20 cavalli in più rispetto alla versione Coupè.

I prossimi mesi del 2011 si caratterizzeranno per la presentazione del nuovo modello che andrà a sostituire la Murcielago, ormai presente dal 2001. Sarà dotata

di un impressionante V12 da 7 litri in grado di erogare una potenza di 700 CV. Un netto passo avanti rispetto all'attuale modello, anche a livello di prestazioni: la velocità dovrebbe attestarsi sui 340 Km/h e nello scatto da 0 a 100 basterà lasciar trascorrere 3 secondi. A livello di materiali, la carrozzeria si presenterà interamente in carbonio con la possibilità di contenere enormemente il peso. Non resta che aspettare di vederla entrare in scena.

Capitolo 2

Lean Production: principi e applicazione al progetto

La Lean Production o Produzione Snella nasce presso l'azienda Toyota Motor Company dopo un pellegrinaggio di tre mesi intrapreso da Eiji Toyoda allo stabilimento di Rouge Ford a Detroit, caratterizzato dalla più grande e più efficiente struttura produttiva del mondo. Il crollo delle vendite alla fine del 1949, costrinse la Toyota ad un cambiamento. Eiji, dopo il suo viaggio, si rese conto che c'erano molte possibilità di miglioramento del sistema produttivo: la Toyota aveva prodotto 2685 automobili in tredici anni, contro le 7000 al giorno della Ford. Al ritorno a casa, Eiji Toyoda e il suo collaboratore Taiichi Ohno conclusero che la produzione di massa in Giappone non avrebbe mai funzionato in Giappone per i seguenti motivi:

- nonostante la domanda del Paese richiedesse un'ampia gamma di veicoli, il mercato interno era limitato;
- i lavoratori non volevano essere trattati come costi variabili o pezzi intercambiabili;
- l'economia giapponese, devastata dalla guerra, soffriva per la mancanza di capitali e non poteva acquistare tecnologie occidentali;
- l'estero traboccava di colossi automobilistici ansiosi di entrare in Giappone e pronti a difendere i loro consolidati mercati dalle esportazioni giapponesi.

Ohno capì che aveva bisogno di un nuovo approccio e lo trovò. Da questo tentativo iniziale, nacque quello che la Toyota chiamò il Toyota Production System e, alla fine, Lean Production. Con questo nome si è cercato di rendere una realtà estremamente complessa tesa, in ogni caso, ad accrescere la flessibilità dell'impresa attraverso strutture organizzative agili, un'attiva e intelligente partecipazione delle persone al processo produttivo, un uso delle tecnologie meglio integrato con l'attività umana. I criteri della produzione di massa di stampo fordista, infatti, erano ormai ampiamente superati, poiché il mercato richiedeva sempre maggiore qualità a tempi e costi più ridotti. Interessanti sono i

risultati di uno studio svolto nel 1986 che ha messo a confronto la linea di assemblaggio della General Motors a Framingham, Massachusetts e quella a Takaoka della Toyota. Takaoka era quasi il doppio più produttiva e tre volte più accurata di Framingham nello svolgere lo stesso set di attività su un'automobile standard. In termini di spazio di produzione, era il 40% più efficiente e i magazzini erano una piccola frazione di quelli presenti a Framingham. Si fanno quindi strada le idee guida del pensiero snello.

2.1 I principi applicativi del Lean Thinking

L'applicazione del *Lean Thinking* non è altro che la ricerca degli sprechi e la loro eliminazione allo scopo di produrre di più con un minor consumo di risorse.

Womack e Jones hanno individuato cinque principi applicativi dell'approccio *lean* che rappresentano gli elementi base per effettuare una efficace lotta allo spreco: *value, value stream, flow, pull, perfection*. Questi principi implicano: definire con precisione il *valore* dei singoli prodotti, identificare il *flusso di valore* per ciascun prodotto, far sì che il valore *scorra* senza interruzioni, lasciare che il cliente «tiri» il valore dal produttore e perseguire la *perfezione*. Il punto di partenza della caccia allo spreco non può essere che l'identificazione di ciò che vale, di ciò che è utile, che va prodotto, conservato e trasmesso. Il consumo di risorse è giustificato solo per produrre valore, altrimenti è *muda*. In giapponese, appunto, il concetto di spreco si traduce *muda*.

Analizziamo ora nel dettaglio i cinque principi applicativi.

2.1.1 La definizione del valore

Punto di partenza critico per il pensiero snello è il concetto di *valore*. Questo può essere definito esclusivamente dal cliente finale. E assume significato solo nel momento in cui lo si esprime in termini di uno specifico prodotto (bene o servizio o, spesso, entrambi) in grado di soddisfare le esigenze del cliente a un dato prezzo e in un dato momento. Il valore viene creato dal produttore. Per una serie di motivi è però molto difficile per i produttori definire accuratamente il valore. Il valore non sta nel sottrarre ricavi ai propri clienti a valle e prelevare profitti dai

fornitori a monte, né nella realizzazione da parte degli ingegneri di progetti complessi realizzati con impianti sofisticati, né nel concentrarsi sul *dove* il valore viene creato per esempio producendo tutto rigorosamente in patria per soddisfare le aspettative sociali di occupazione nel lungo periodo e di relazioni stabili con i fornitori. Queste sono le distorsioni nazionali del valore nei tre più importanti sistemi industriali del mondo cioè quello americano, tedesco e giapponese. Il pensiero snello deve quindi partire da un tentativo consapevole di definire con precisione il valore in termini di prodotti specifici con caratteristiche specifiche offerti a prezzi specifici attraverso un dialogo con clienti specifici. Fornire il prodotto o il servizio sbagliato nel modo giusto è *muda*.

Diviene quindi indispensabile definire il valore del prodotto per il cliente. Inoltre, deve essere chiaro che per cliente si intende, non solo quello finale, ma tutto ciò che sta a valle di ciascun processo.

2.1.2 L'identificazione del flusso di valore

Il *flusso di valore* è costituito dall'insieme delle azioni richieste per condurre un dato prodotto attraverso i tre compiti critici del management di qualsiasi business: la *risoluzione di problemi* dall'ideazione al lancio in produzione attraverso la progettazione di dettaglio e l'ingegnerizzazione; la *gestione delle informazioni* dal ricevimento dell'ordine alla consegna attraverso una programmazione di dettaglio; e la *trasformazione fisica* della materia prima in un prodotto finito in mano al cliente. L'identificazione dell'intero flusso di valore per ciascun prodotto rappresenta il passo successivo nel pensiero snello, un passo che le aziende hanno tentato raramente ma che quasi sempre rivela quantità enormi, addirittura sbalorditive, di *muda*. In particolare l'analisi del flusso di valore mostra quasi sempre che in esso si possono identificare tre tipi di attività:

- **Attività a valore aggiunto**, sulle quali l'impresa deve focalizzarsi e concentrare le proprie risorse al fine di ottenere un vantaggio competitivo.
- **Attività senza valore aggiunto ma necessarie**: individuano l'impiego di risorse per una operazione che in sé non crea direttamente valore per il consumatore, ma che nelle condizioni operative del momento risulta necessaria per attuarne altre che invece sono produttrici di valore. Si tratta

dello spreco riducibile. Ad esempio, il caso in cui un componente del prodotto finale deve essere cromato da un'azienda specializzata per il quale occorre il trasporto del componente al fornitore e viceversa, rappresenta uno spreco di questo tipo.

- **Attività senza valore aggiunto e non necessarie:** si tratta di un dispendio di risorse del tutto inutile, che già nella situazione di partenza può essere eliminato. Ad esempio, ogni trasporto interno all'azienda maggiore di quello strettamente necessario rappresenta uno spreco eliminabile. Quest'ultimo tipo, si vedrà nei prossimi capitoli che è centrale nella scelta del *layout* della linea di assemblaggio; può essere infatti eliminato semplicemente ridisegnando il *layout* delle macchine.

I principali sprechi identificati in Automobili Lamborghini sono 9: sovrapproduzione, scorte, tempi di attesa, spostamenti, lavoro non ergonomico, trasporto, processi non necessari, comunicazione insufficiente e infine i rework per correggere i difetti. Attraverso l'eliminazione degli sprechi è possibile ottenere una riduzione dei tempi ciclo e dei costi allegati, così come un miglioramento del ritorno economico.

Per abbracciare il pensiero del flusso di valore occorre, però, non fermarsi a guardare le singole attività e i singoli impianti ma vedere come essi interagiscono tra loro. Occorre anche andare oltre all'azienda per guardare al complesso: l'*impresa snella* è data da un incontro continuativo di tutte le parti coinvolte per creare un canale all'interno del quale far scorrere l'intero flusso di valore.

2.1.3 Far scorrere il flusso

Una volta che il valore è stato definito con precisione, che il flusso di valore per un dato prodotto è stato completamente ricostruito dall'impresa snella e che le attività chiaramente inutili sono state eliminate, si arriva al passo successivo: far sì che le restanti attività creatrici di valore *fluiscano*. Taiichi Ohno e i suoi collaboratori arrivarono alla conclusione che la vera sfida era quella di creare flussi continui nelle produzioni di piccoli lotti; riuscirono ad ottenerli, imparando a cambiare rapidamente le attrezzature da un prodotto all'altro e realizzando su

misura macchinari per far eseguire le diverse fasi del processo nelle immediate adiacenze l'una dall'altra. Per far fluire il valore quindi, occorre concentrarsi sul particolare prodotto, ignorare i confini tradizionali delle funzioni e ripensare le pratiche e le attrezzature riferite allo specifico lavoro per eliminare i flussi a ritroso, gli scarti e le fermate di qualsiasi genere.

Ci sono in particolare tre flussi a cui porre attenzione:

- Il flusso del materiale: il pezzo in lavorazione si deve spostare da una fase a valore aggiunto all'altra direttamente;
- Il flusso degli operatori: il lavoro degli operatori deve essere ripetibile e costante in ogni ciclo e devono poter passare efficientemente da una fase a valore aggiunto a quella successiva;
- Il flusso delle informazioni: tutti devono conoscere l'obiettivo di produzione oraria, i problemi e le anomalie vanno notati e risolti velocemente.

Perché il flusso scorra, occorre che il lavoro sia rigorosamente *standardizzato* e bilanciato in modo che ogni fase lavori con un tempo di ciclo uguale al tempo *takt*. Ai lavoratori deve essere insegnato a monitorare il proprio lavoro attraverso una serie di metodologie dette *poka-yoke*, o a prova di errore, le quali impediscono che anche una sola parte difettosa venga inviata alla fase successiva. Queste tecniche devono essere affiancate a *controlli visivi* che vanno dalle 5S a tabelle degli standard chiare e aggiornate, a display riportanti le informazioni misurabili chiave.

Al fine di garantire il flusso continuo, oltre alla coordinazione dell'uomo, bisogna considerare anche la sistemazione di impianti e posti di lavoro (macchine) ed il sistema di gestione dei materiali. Ecco che subentra il layout della stazione di lavoro e della linea completa di assemblaggio compresa la movimentazione dei materiali. Sono temi che verranno approfonditi in seguito per lo sviluppo del progetto.

2.1.4 Pull

Il flusso da solo non basta. Bisogna essere sicuri di star fornendo i servizi e i prodotti che la gente vuole veramente e quando essa li vuole. Questo concetto è

esprimibile con il termine *pull*. Esso sta a significare che nessuno a monte dovrebbe produrre beni o servizi fino al momento in cui il cliente a valle li richiede. E' necessario partire dalla richiesta di un prodotto avanzata da un cliente per procedere a ritroso lungo tutti i passaggi necessari affinché il prodotto desiderato venga consegnato al cliente. Si può permettere ai clienti di «tirare» il prodotto dall'azienda anziché spingere verso i clienti prodotti spesso indesiderati. Grazie all'introduzione dei flussi, i tempi di risposta si riducono drasticamente e le capacità di progettare, programmare e realizzare esattamente quello che il cliente vuole permette di buttare via le previsioni di vendita. Ma arrivati fin qui, cioè una volta definito il *valore*, identificato l'intero *flusso di valore*, fatto in modo che i passaggi della creazione di valore *fluiscono* con continuità e permesso ai clienti di *tirare* il valore dall'impresa tutto il potenziale è destinato a perdersi se non si fa proprio l'ultimo principio: la *perfezione*.

2.1.5 La perfezione

L'obiettivo di miglioramento è importante che sia visibile e concreto per tutta l'azienda. La perfezione deve essere resa chiara. Paradossalmente non esiste una rappresentazione perfetta della perfezione. Appena viene raggiunto un obiettivo, arriva immediatamente il momento di immaginare una nuova perfezione che vada oltre. La perfezione è come l'infinito. Cercare di immaginarsela è praticamente impossibile, ma la volontà di provarci dà l'ispirazione e le linee guida essenziali per compiere progressi lungo il cammino. Allora i primi quattro principi interagiscono tra loro in un circolo virtuoso e non c'è fine al processo di riduzione degli sforzi, del tempo, degli spazi, dei costi e degli errori se si vuole offrire un prodotto che sia sempre più vicino a quello che il cliente vuole veramente. Ci sono due approcci che qualsiasi azienda utilizza per perseguire la perfezione: il *kaikaku* o miglioramento drastico e il *kaizen* o miglioramento incrementale continuo a piccoli passi. Per perseguire il miglioramento, serve una direzione chiara di movimento, la decisione di quali forme di muda attaccare per prima, enunciando le politiche e rimandando a un momento successivo le altre attività. Solo attraverso una focalizzazione delle energie e dei piani temporali stringenti, si può tendere alla perfezione.

2.2 Implementazione dei principi di Lean Production in Lamborghini

Il mercato attuale richiede continui adeguamenti a logiche sempre più stringenti dal punto di vista della qualità, dell'efficienza dei processi produttivi e dell'affidabilità del prodotto. Automobili Lamborghini realizza un prodotto complesso, di nicchia, con elementi che la distinguono fortemente dalla produzione su larga scala. L'impiego delle risorse deve quindi evitare dispersioni ed essere mirato ad incrementare il valore finale del prodotto. L'applicazione del metodo organizzativo della Lean Production risponde perfettamente alle esigenze di Automobili Lamborghini. L'ottimizzazione delle risorse è un obiettivo concreto che si raggiunge attraverso azioni reali come l'individuazione di tutto ciò che aggiunge valore al prodotto finale e la conseguente eliminazione degli sprechi, ovvero di tutto ciò che, essendo superfluo, non crea valore. Lo snellimento dell'attività produttiva prevede dunque l'adozione di soluzioni che permettano di ridurre sforzo, spazio e tempo e di aumentare la soddisfazione delle persone che si trovano così a lavorare in un ambiente meglio organizzato. La filosofia Lean è diventata parte integrante dell'azienda tanto da portare alla costituzione del Lamborghini Production System (LPS). Il LPS assicura un alto grado di efficienza e competitività e porta a vantaggi sia all'azienda che alle persone.

Vantaggi per l'azienda:

- Maggior trasparenza dei processi;
- Produzione senza criticità, stabilizzazione dei processi;
- Miglioramento continuo della qualità di prodotto e di processo;
- Riduzione delle perdite lungo l'intero processo produttivo;
- Riduzione di qualsiasi tipo di spreco con conseguente aumento di qualità e produttività;
- Riduzione dei tempi ciclo e rispetto delle tempistiche con forte orientamento al cliente;
- Riduzione dei costi;
- Costante crescita aziendale attraverso l'apprendimento della organizzazione.

Rispetto alle persone, migliora i luoghi di lavoro, motiva i collaboratori coinvolgendoli attivamente nel miglioramento degli standard, riduce lo stress mediante un lavoro organizzato con eliminazione delle criticità e fornisce regole chiare attraverso un processo comunicativo efficiente.

2.2.1 La casa del LPS

Per aumentare la qualità, ridurre i costi o migliorare il rispetto delle tempistiche, innalzare la produttività o ridurre i tempi ciclo, è necessario introdurre metodi e strumenti appropriati per porre le basi di un sistema di produzione sincronizzato e orientato alla creazione di valore aggiunto.

Nella casa del LPS le fondamenta sono costituite dai metodi base (Produzione livellata e bilanciata, Eliminazione degli sprechi, Standardizzazione, Organizzazione del lavoro, Sicurezza e Ambiente) mentre Cadenza, Flusso, Pull e Perfezione ne rappresentano le colonne.



Figura 2.1 – La casa del Lamborghini Production System

I metodi base costituiscono le fondamenta perché le attività di Automobili Lamborghini non possono prescindere da essi. L'organizzazione è alla base di un sistema produttivo di successo. Lavorando con gli standard si può garantire la qualità e il processo di miglioramento continuo. Attraverso un'attenta e continua eliminazione degli sprechi si possono rimuovere le perdite che comportano

l'aumento dei costi di produzione. Una produzione livellata e bilanciata permette di raggiungere un'elevata e costante produttività sul lungo periodo. Di seguito sono descritti gli strumenti della Lean Production utilizzati da Lamborghini.

2.2.2 Gli strumenti del LPS

2.2.2.1 Le 5S: presupposto per il lavoro standardizzato

Il lavoro standardizzato permette lo sviluppo di un ritmo di lavoro costante e bilanciato, organizzato attraverso il takt; è così possibile seguire la stessa sequenza di lavoro ad ogni ciclo.

L'obiettivo generale è garantire luoghi di lavoro più sicuri, così come assicurare un alto livello di qualità e produttività. Per questo è importante gestire tempestivamente ogni scostamento dallo standard.

E' necessario quindi ricordare che:

- uno standard è valido per tutti;
- gli standard vengono periodicamente migliorati attraverso la riduzione degli sprechi e l'eliminazione dei problemi;
- lavorare con standard migliorati significa un aumento del livello di qualità e produttività.

Il metodo delle 5S consente di standardizzare la gestione della postazione di lavoro, in modo da definire con precisione le regole per rispettare gli standard definiti. Molte persone sottostimano il valore della sicurezza, dell'ordine, della pulizia nel posto di lavoro. Il 30% dei difetti di qualità, però, sono direttamente collegati a queste questioni.

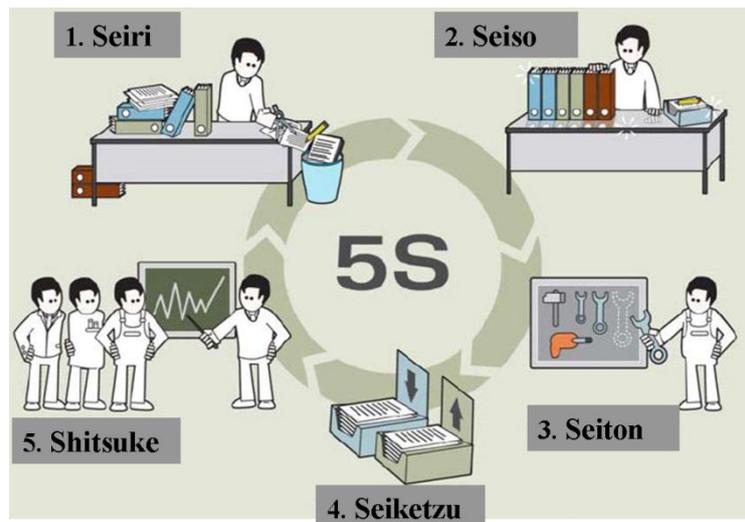


Figura 2.2 – Il metodo delle 5S

Le 5S sono le iniziali di 5 parole giapponesi coniate da Toyota:

- *Seiri* (Separare): identificare gli strumenti necessari per ciascuna area di lavoro a realizzare il prodotto e rimuovere qualunque altro materiale non necessario; la ricerca di un oggetto potrebbe comportare una perdita di tempo, e quindi uno spreco.
- *Seiton* (Ordinare): sistemare gli oggetti necessari che appartengono alla postazione. Tutti gli oggetti dovranno essere ordinati e contrassegnati nella loro ubicazione specifica. Se gli oggetti non sono importanti abbastanza per avere un'etichetta, allora significa che non sono importanti abbastanza per rimanere nell'area. Ciò rende le attrezzature e i materiali estremamente visibili.
- *Seiso* (Pulire): consiste nel mantenere l'ordine pulendo e raccogliendo gli oggetti periodicamente. L'area dovrebbe essere ordinata e pulita ad ogni passaggio. Niente dovrebbe mancare o essere fuori posto.
- *Seiketsu* (Standardizzare): ha a che fare con la gestione della disciplina per rinforzare l'attività standard; se le precedenti attività non diventano istituzionalizzate, le postazioni non saranno pulite e i lavoratori torneranno indietro velocemente ai vecchi modi. Un audit regolare e formale dovrebbe essere effettuato e le valutazioni per area assegnate.
- *Shitsuke* (Disciplina): è la responsabilità del management di rinforzare l'importanza dei lavori di pulizia e di dimostrare la leadership mettendo in

pratica esso stesso i principi precedenti. Le persone presteranno più attenzione a ciò che fa il management piuttosto che a quello che dice.

Il metodo delle 5S è stato efficacemente applicato per l'ordine delle postazioni di lavoro e dei carrelli operatori. Il risultato è un carrello ordinato come il seguente:



Figura 2.3 – Carrello operatore dopo l'applicazione delle 5S

Si può notare che nelle piccole cassetine sono contenuti materiali di normaleria; l'operatore una volta per turno va a riempirle all'isola.

2.2.2.2 Lavorare in takt

Il *takt time* è la velocità alla quale le parti devono essere prodotte per soddisfare la domanda; significa cioè produrre con lo stesso takt con il quale il cliente richiede i prodotti. E' una sorta di "battito cardiaco" dell'azienda: la cadenza fissa funge da regolatore per la produzione così come per tutti i processi ad essa collegati. Il takt time si calcola dividendo il tempo totale disponibile in un giorno per il numero di unità al giorno da produrre (o cadenza giornaliera) richiesto dalla domanda.

Il lavoro in takt rappresenta la base per un processo produttivo standardizzato e ciclico.

Il processo assegnato per ogni stazione di lavoro, descritto nella cartella di lavoro, deve essere completato all'interno della stazione stessa e nel rispetto del takt time. In un sistema cadenzato questo principio si applica a tutte le stazioni di lavoro.

In questo modo si migliora l'ergonomia (il rapporto tra uomo, macchina e ambiente), si riducono i tempi di attraversamento, si evitano le interferenze durante il processo produttivo e si evidenziano maggiormente gli sprechi.

Attraverso il lavoro a ciclo e l'introduzione di standard di processo, prodotto, attrezzature e infrastrutture si creano le basi per il lavoro in takt.

Sviluppare, progettare e produrre in takt sin dall'inizio è premessa per l'aumento di qualità e produttività.

2.2.2.3 Poka-yoke

Il poka yoke è uno strumento diretto alla prevenzione e alla rapida individuazione degli errori. Gli uomini possono fare errori. Non è possibile ricordare ciò che deve essere fatto ad ogni step della produzione per ogni prodotto. Gli errori non sono però la stessa cosa dei difetti. Un difetto è la conseguenza di un errore. Selezionando i prodotti buoni da quelli difettosi alla fine del processo, un'azienda non può sperare di raggiungere un ambiente senza difetti. Se invece gli errori sono intercettati prima che portino difetti, allora un ambiente libero da essi è possibile. Il poka-yoke si focalizza sul perseguimento della qualità alla fonte, cercando di catturare i feedback sui difetti il più vicino possibile alla radice del problema. Il poka-yoke è implementato attraverso la realizzazione di semplici ed economici dispositivi disegnati per catturare gli errori prima che diventino difetti. Questi dispositivi sono posti lungo il processo per assicurare all'operatore la facilità di svolgere il proprio compito correttamente o la difficoltà di svolgerlo in modo sbagliato.

Un esempio di attuazione di questo principio in Lamborghini è la realizzazione di carrelli materiali con l'indicazione della sequenza di assemblaggio attraverso dei cartellini numerati oppure con la presenza di una scheda operativa appesa con le istruzioni di montaggio.

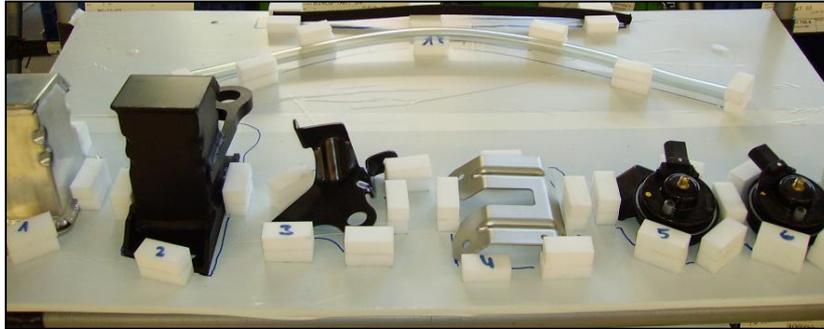


Figura 2.4 – Carrello con componenti numerati

Nel caso mostrato in figura, la possibilità di commettere errori è fortemente ridotta. L'operatore deve prelevare e montare i pezzi nell'ordine indicato dai numeri. Nella situazione peggiore, potrebbe rimanere un pezzo a carrello; alla fine del processo sarà facile accorgersi di aver commesso un errore.

2.2.2.4 Kanban e la gestione dei materiali

Per garantire un flusso continuo, oltre alla progettazione del layout degli impianti e all'organizzazione del lavoro, diventa indispensabile considerare anche il sistema di movimentazione dei componenti che permette alla linea di avere i materiali nel loro punto di utilizzo. Delle utili linee guida in merito alla gestione dei materiali sono le seguenti:

- Posizionare le parti il più vicino possibile al loro punto di utilizzo, ma non lungo il percorso dell'operatore;
- Cercare di tenere tutte le parti a portata di mano dell'operatore per eliminare dispendio di tempo senza valore aggiunto: quando non è possibile tenere tutte le parti vicine al loro punto di utilizzo perché sono troppo ingombranti o numerose, è bene incrementare la frequenza di consegna di tali parti o mettere in sequenza la loro consegna in modo da incontrare l'assemblaggio del prodotto finito;
- Per consegnare i componenti e portare via i prodotti finiti, usare un movimentatore di materiali, gestito secondo un percorso regolarmente schedato e standardizzato;
- Non aggiungere ulteriori spazi per lo stoccaggio delle parti nel processo o vicino ad esso perché questo rende difficile capire l'operatività della linea e incoraggia gli operatori a movimentare le loro parti;

- Dimensionare i contenitori delle parti per la convenienza degli operatori o secondo multipli della quantità di prodotto finito, e non per la convenienza del movimentatore dei materiali o del processo a monte;
- Non interrompere i cicli di lavoro dell'operatore per il rifornimento delle parti. Le parti dovrebbero essere rifornite in piccoli contenitori dall'esterno e dovrebbero scivolare verso il punto di utilizzo con scaffalature a gravità o a cascata.
- Utilizza i kanban per regolare il rifornimento delle parti. Il movimentatore dei materiali fornisce con regolarità, ma porterà solo quelle parti che sono state consumate come indicato dai kanban.

Il kanban è un metodo base per l'introduzione del principio pull e governa i flussi in modo tale da fornire solo le parti e le informazioni necessarie. E' possibile così il controllo e la riduzione del tempo di attraversamento mediante la riduzione delle scorte. Questo metodo viene utilizzato per il rifornimento dei materiali a scaffale siano essi dell'isola di normaleria che dei supermarket. All'ultimo prelievo da un contenitore viene inserito il cartellino kanban nell'apposito kanban-box situato a lato dello scaffale da parte della Produzione; il cartellino kanban viene preso in carico dalla Logistica che effettua la chiamata del relativo materiale; dal magazzino viene prelevato sempre dalla Logistica, un contenitore pieno completo di cartellino kanban e viene infine trasportato al punto di chiamata.

Alla base del progetto della linea, c'è la collocazione degli scaffali nelle immediate vicinanze della linea di assemblaggio includendo la preparazione dei kit e il trasporto in linea semplicemente spingendo dei carrelli. Questo permette un vero Just in time e la riduzione di costi di trasporto. L'area adibita a questo sarà il supermarket dei premontaggi. Dei sistemi versatili, che assistono il processo di miglioramento continuo, sono i LeanTek tools perché essi permettono una rapida implementazione di una nuova idea. Alla base ci sono dei sistemi tubolari (tubi multifunzionali, connettori e rulli che trascinano il materiale per gravità) che permettono di costruire qualsiasi tipo di scaffale, di carrello e di contenitore, riducendo lo spazio occupato, gli stock di materiale e quindi i costi logistici. Automobili Lamborghini si sta già servendo delle attrezzature realizzate da Trilogiq di cui si mostrano delle foto:



Figura 2.5 – Scaffali SMK e isole di normaleria



Figura 2.6 – Carrello speciale

2.2.2.5 La metodologia “fishbone”

La metodologia “fishbone” consegna alla linea il numero di parti necessarie Just in Time. Essa descrive l’ordine di fabbricazione come una connessione diretta delle operazioni produttive a monte con il rispettivo tratto di linea principale. Obiettivo di questa tecnica è preparare e fornire le parti secondo buffer standardizzati in maniera sincronizzata con la linea principale e utilizzando spazi ridotti. Si ottiene così una riduzione dei tempi di attraversamento e degli spazi utilizzati. Questa struttura “fishbone” (a lisca di pesce) è stata applicata nei layout che verranno analizzati nel prossimo capitolo cercando di collocare le zone di premontaggio il più possibile vicine alle stazioni di assemblaggio dei componenti in linea.

2.2.2.6 Il concetto “0 difetti” e l’intervento immediato in caso di anomalie

Gli errori commessi possono essere utilizzati come spunti di miglioramento per evitare che si ripetano. Più tardi l’errore viene riconosciuto, maggiore è il dispendio necessario per porvi rimedio. E’ importante allora un’organizzazione dei processi che permetta di riconoscere errori e risolverli immediatamente sul posto. L’obiettivo è l’avanzamento lungo tutto il processo del 100% delle parti conformi ai requisiti qualitativi. Ogni anomalia va immediatamente corretta.

2.2.2.7 Il visual management

Con il metodo del visual management si crea trasparenza in tutti i processi. E' inoltre possibile diffondere e rendere chiare le informazioni necessarie per mantenere il rispetto degli standard in modo da individuare immediatamente ogni scostamento. Rientrano in questo metodo anche la possibilità di individuare in pochi minuti, camminando nel reparto produttivo, lo status dell'operazione, come il materiale sta scorrendo, quale processo è in corso e quale sarà il prossimo, la collocazione dei materiali e dei carrelli. Include anche documenti, cartelli, report in modo che ogni individuo possa camminare all'interno dello stabilimento e fare un tour della linea di produzione.



Figura 2.5 – Un esempio di visual management

2.2.2.8 Il lavoro in team

L'esistenza di un sistema di produzione duraturo, sincronizzato e orientato alla creazione di valore aggiunto si basa su una leadership giusta e su una comunicazione efficace ed efficiente. Il lavoro di gruppo è un modello organizzativo applicato alle aree produttive basato sul contributo del singolo allo sviluppo strategico e operativo del processo produttivo. Il lavoro svolto dal team può sfruttare sia le differenze che le sinergie derivanti dal confronto e dall'interazione della conoscenza e della creatività dei singoli partecipanti. Le attività spesso svolte in team sono i Workshop organizzati con l'obiettivo di analizzare dei processi, identificare le possibilità di miglioramento e metterle in

atto. Un altro vantaggio conferito da queste attività in team è la gestione allargata delle informazioni che rende possibile una migliore comunicazione tra i vari reparti.

2.3 Premesse del progetto

Una linea di assemblaggio “alti volumi” per Automobili Lamborghini richiede la soddisfazione di una *produzione giornaliera* di 40 vett/g ognuna delle quali comporterà un *tempo effettivo* di assemblaggio di 25 h/vett. In condizioni di variabilità della domanda o di introduzione di nuovi modelli con conseguente minor volume complessivo (in fase di avvio produttivo), sarebbe problematico gestire grossi cali di cadenza lavorando su un solo turno al giorno. Per tali ragioni e anche per contenere l’investimento necessario, la linea è stata dimensionata su una produzione di 20 vett/turno con 2 turni di lavoro al giorno da 7 ore l’uno (420 minuti/turno). Prevedendo *pause* complessive di 20 minuti, giustificate da esigenze fisiologiche (normalmente si calcola almeno un 4,5% di fattore fisiologico), il tempo lavorato da ogni operatore è pari a 400 minuti/turno (6,7 h/turno). Questo tempo sarà la base di partenza per il calcolo del takt time.

Altri requisiti di progetto sono:

- *Nessun scaffale in linea* per non incoraggiare gli operatori ad accumulare materiale in eccesso, fonte di sprechi. Ciò che serve deve essere a supermarket nelle quantità strettamente necessarie per la produzione;
- *Supermarket a bordo linea*: le parti devono essere in zone dedicate più vicine possibili all’area di utilizzo per ridurre perdite di tempo ma non lungo il percorso dell’operatore;
- *Applicazione del “fishbone concept”* per servire le parti preassemblate in maniera sincronizzata con la linea principale, i premontaggi devono essere collocati a bordo linea vicino alle stazioni finali di assemblaggio in vettura. Questo principio permette di ridurre i tempi di attraversamento, semplificare i flussi con un conseguente ridotto o pressoché nullo costo di movimentazione;
- *Carrelli vettura multistazione*: una linea di assemblaggio ad alti volumi, e quindi a basso takt time, rende onerosa l’assegnazione di un carrello

commissionatore per ogni operatore; al fine di ottimizzarne il numero e di sfruttarli al meglio, una buona premessa è l'utilizzo di un carrello commissionatore per lato che segua almeno 3 stazioni (3 operatori).

- *Greenfield Project all'interno dello stabilimento*: l'unico vincolo di progetto in termini di spazio è dato dallo stabilimento di ubicazione della nuova linea di assemblaggio con dimensioni 150 metri x 120 metri. Greenfield Project significa che il progetto non ha alcun tipo di vincolo imposto dal lavoro svolto in precedenza; l'analogia riguarda un terreno verde ma in questo caso all'interno dell'edificio esistente. Non vengono considerate le attuali disposizioni dei reparti, anche perché una linea di queste dimensioni richiede una completa riprogettazione del layout. In questo modo si potrà cercare la soluzione migliore per eccellenza.

2.4 Definizione takt time, numero di operatori e stazioni

Il primo passo da fare per il dimensionamento di una linea di assemblaggio è la definizione del takt time. Il tempo totale disponibile al giorno è inteso come il tempo al netto di pause. Poiché la linea è dimensionata sulla base della produzione richiesta al turno, l'orizzonte temporale di calcolo del takt time sarà questo e non il giorno. Dalla definizione data in precedenza di takt time, per il progetto in questione, esso si calcola nel modo seguente:

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ tot.\ produzione}{N^{\circ}\ unità\ da\ produrre} = \frac{400\ min/turno}{20\ vett/turno} = 20\ \frac{min}{vett}$$

Questo dato indica che per ottenere una produzione di 20 automobili in un turno di 7 ore, la linea di assemblaggio dovrà scattare ogni 20 minuti.

Il secondo punto da affrontare riguarda la definizione del numero di stazioni: occorre prima determinare il tempo complessivo necessario per raggiungere il volume di produzione previsto in un turno e quindi il numero di operatori da impiegare.

Il tempo effettivo di 25 h/vett non è quello complessivo da considerare in fase di progettazione. Bisogna sempre pensare che un operatore difficilmente potrà

lavorare il 100% del tempo assegnato. Il tempo effettivo di lavoro sarà quindi inferiore all'assegnato di una misura percentuale chiamata mancata saturazione. La mancata saturazione è la misura del tempo “non attivo” o “non a valore” rispetto al tempo assegnato.

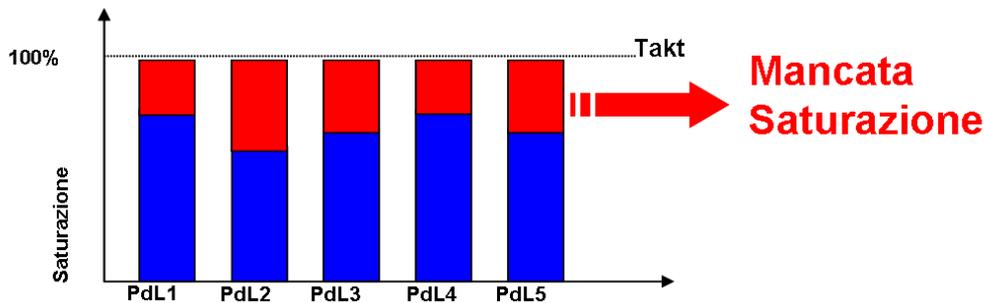


Figura 2.6 – Mancata saturazione

La mancata saturazione media degli operatori negli ultimi mesi si è aggirata intorno all'11%. La saturazione al contrario è un valore percentuale che misura il carico effettivo di lavoro rispetto al tempo assegnato (in figura è rappresentata con il colore blu). Con un tempo effettivo di 25 h/vett e una mancata saturazione dell'11%, il tempo assegnato sarà circa pari a 28 h/vett.

Se ogni automobile richiede 28 ore di tempo, allora:

$$20 \text{ vett} / \text{turno} * 28 \text{ h} / \text{vett} = 560 \text{ h} / \text{turno}$$

che divise per il numero di ore lavorate da ogni operatore, ci forniscono la manodopera necessaria:

$$\frac{560 \text{ h} / \text{turno}}{6,7 \text{ h} / \text{turno} * \text{operatore}} = 83,58 \sim 84 \text{ operatori}$$

Ponendo in via generale, due operatori per stazione (uno a sinistra, l'altro a destra della vettura oppure uno sulla parte anteriore, l'altro posteriore), serviranno complessivamente:

$$\frac{84 \text{ operatori}}{2 \text{ op} / \text{staz}} = 42 \text{ stazioni}$$

Il tempo di assemblaggio di 28 h/vett comprende sia le operazioni svolte in linea principale che quelle di premontaggio (PM). Prendendo a riferimento la linea

Gallardo (costituita da 24 stazioni di linea più 6 stazioni PM) si ipotizza la necessità di 9 stazioni di premontaggio e quindi 33 stazioni di linea per impianto ad alti volumi. Si tratta di numeri sommari, che verranno precisati in via definitiva in seguito, dopo un'analisi dettagliata dei tempi di produzione.

Capitolo 3

Definizione layout di stazione e di linea ideali

3.1 Layout di una stazione di assemblaggio

Determinato il takt time, il numero di operatori, e quindi di stazioni, necessari per soddisfare la cadenza richiesta di 20 vetture/turno, il terzo fattore da valutare nel dimensionamento di una linea di assemblaggio riguarda il lay-out della singola stazione.

Sono state confrontate diverse soluzioni che tengono conto di:

- Dimensioni della vettura;
- Request Workplace Area: area richiesta per il lavoro di ciascun operatore addetto (spazio anteriore, posteriore, a destra e a sinistra della vettura);
- Request Material Zone: aree adibite ai carrelli materiali;
- Aree adibite alle attrezzature (tools).

La superficie totale della singola stazione si ottiene come somma degli spazi richiesti dai precedenti elementi.

3.1.1 Possibili soluzioni di layout di linea

Vengono ora presentate le diverse alternative di lay-out in questa sede analizzate.

Soluzione A: la vettura è disposta nella direzione di marcia e avanza nel verso indicato dalla freccia. Il rettangolo grigio rappresenta il carrello materiali, contenente i pezzi da montare sulla vettura, posto in una zona laterale ad esso adibita di cui viene riportata la larghezza. La zona laterale opposta, a destra della vettura, è destinata a tutte le attrezzature necessarie presenti all'interno di una stazione. La zona centrale costituisce l'area di lavoro ovvero l'area occupata dalla vettura più lo spazio necessario per il lavoro degli operatori addetti (anteriormente e posteriormente pari a 1 metro).

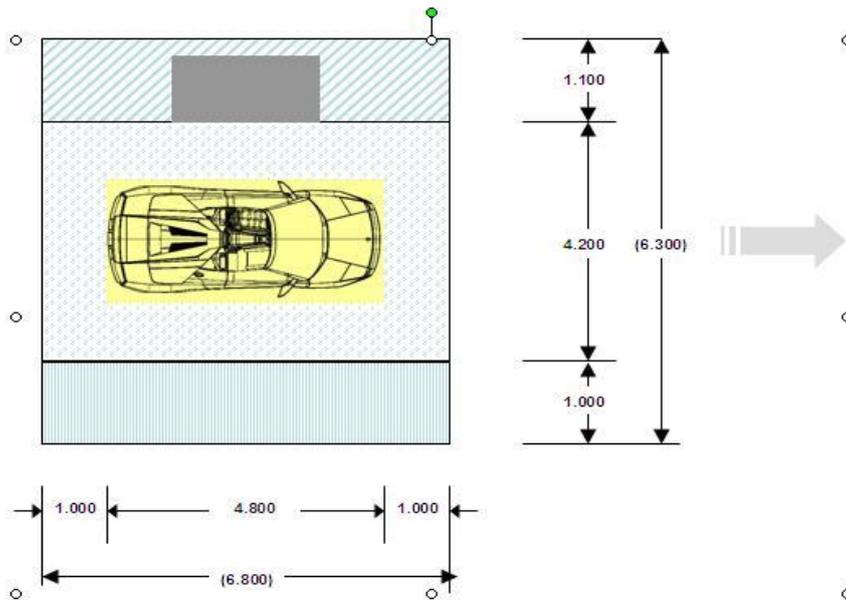


Figura 3.1 - Station layout A (42,84 m²)

Soluzione B: anche in questo caso la vettura avanza nel senso di marcia; il carrello materiali però non è posizionato lateralmente alla vettura, ma davanti ad essa. L'operatore si trova a dover percorrere una distanza maggiore per prelevare il materiale, basta pensare ad esempio al caso peggiore in cui debba eseguire un'operazione sulla parte posteriore della vettura dovendo rifornirsi al carrello situato esattamente dalla parte opposta della macchina. Nella figura sono raffigurati due carrelli materiali di cui uno è relativo alla stazione precedente, ma in parte occupa fisicamente anche la stazione non di sua competenza, così come il carrello riguardante la stazione considerata va ad ingombrare con una superficie pari alla sua metà la stazione successiva; i carrelli infatti sono posizionati a cavallo delle 2 stazioni adiacenti. Al momento dello scatto della linea, l'operatore deve spostare il carrello per permettere alla vettura di avanzare.

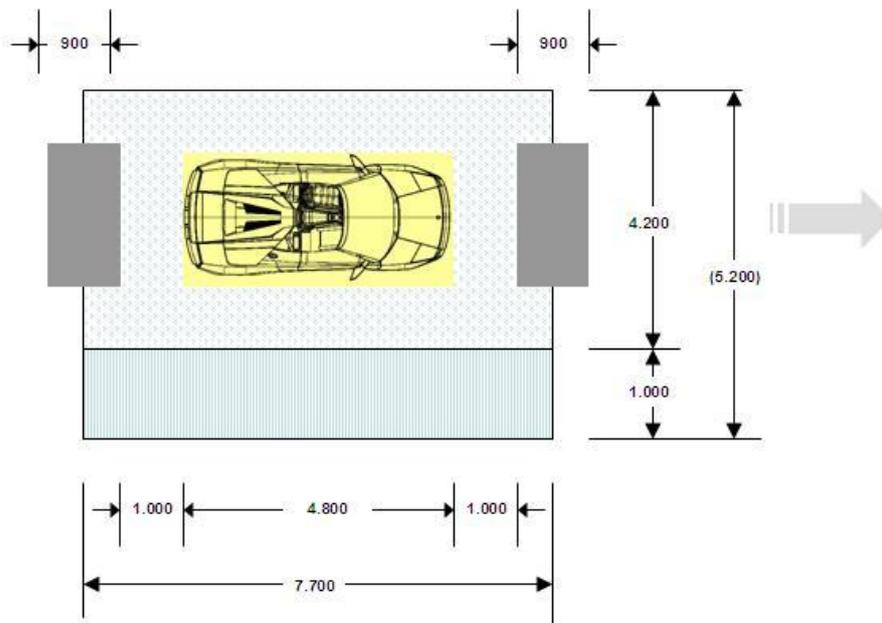


Figura 3.2 - Station layout B (40,04 m²)

Soluzione C: quest'alternativa si differenzia dalle precedenti poiché la vettura avanza di lato. Il carrello, come per la soluzione B, è situato a metà tra la stazione di competenza e quella successiva al lato della vettura e, allo stesso modo, va spostato dall'operatore al momento dell'avanzamento della vettura.

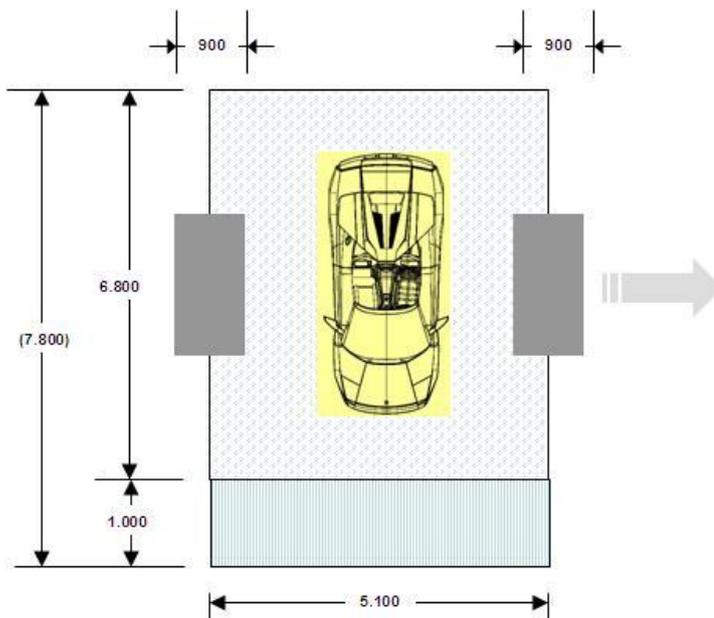


Figura 3.3 - Station layout C (39,78 m²)

Soluzione D: la vettura avanza di lato ma il carrello si trova in una zona laterale a quella di lavoro ovvero dietro la vettura. Si evita lo spostamento in fase di avanzamento ma sono richiesti più spostamenti all'operatore per il prelievo dei componenti necessari all'assemblaggio.

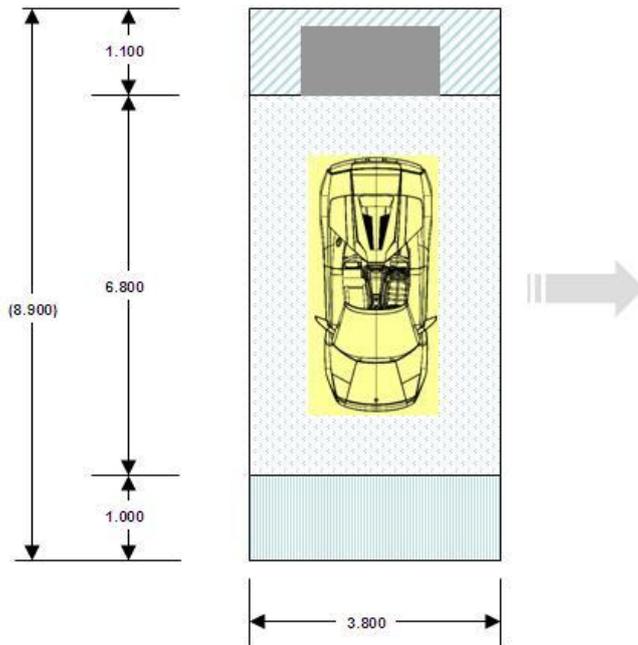


Figura 3.4 - Station layout D (33,82 m²)

Le soluzioni fin qui analizzate considerano un solo carrello materiali e non specificano la presenza di uno o due operatori per stazione; l'unico carrello considerato non è assegnato ad un operatore specifico, ma viene fatto fluire lungo la linea attraverso le stazioni delle quali contiene il materiale. Nel caso ci trovassimo in presenza di due operatori, un operatore dovrebbe più spesso recarsi dall'altro lato della vettura per prelevare il materiale di cui ha bisogno.

Soluzione E. Un'ultima configurazione di lay-out considera invece un carrello materiali per ogni operatore in stazione nel modo ottimale: la vettura avanza nel senso di marcia, i carrelli sono posizionati uno nella zona laterale di sinistra, l'altro nella zona di destra; entrambe le zone presentano una larghezza maggiore rispetto alle soluzioni precedenti (2,3 m contro 1 m – 1,1 m delle altre stazioni) perché devono contenere anche le attrezzature, mantenendo la lunghezza della stazione fissa (lunghezza standard dal lay-out A di 6,80 metri). I carrelli vengono

fatti avanzare allo scatto della linea alla stazione successiva, ma sarà ancora utilizzato da un solo operatore della stazione di lavoro.

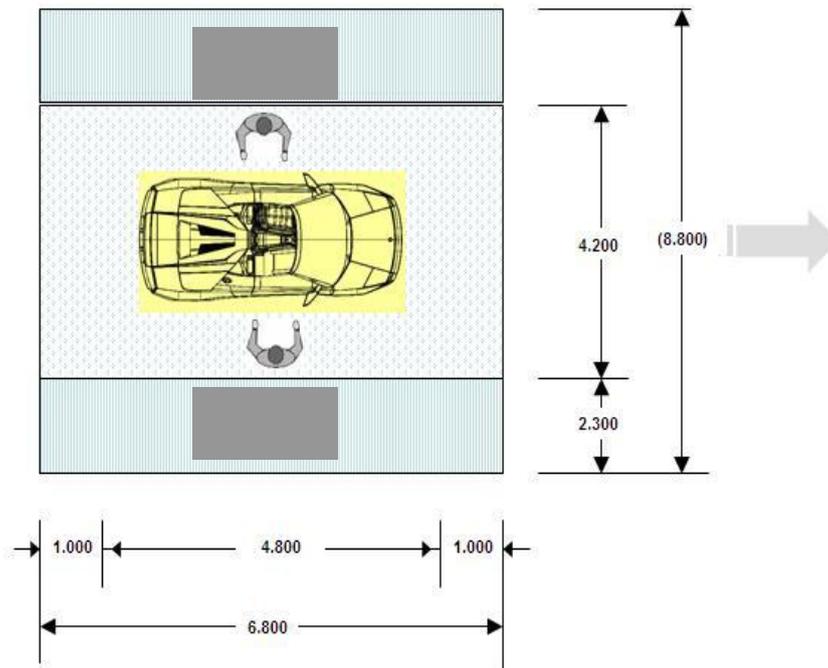


Figura 3.5 - Station layout E (59,84 m²)

3.1.2 Scelta del layout di stazione ottimale

Ottenute diverse alternative di layout, si tratta di pervenire alla scelta della soluzione ottimale. I metodi di scelta più largamente usati sono:

1. *Lista dei pro e dei contro* dei vantaggi e degli svantaggi per ciascuna soluzione alternativa: è il metodo più facile per valutare alternative di layout ma è anche il meno accurato, troppo qualitativo, soggettivo e sommario; è utile solo in quanto consente di eliminare fin dall'inizio le alternative che hanno troppi svantaggi, prevalenti comunque sui vantaggi;
2. *Classificazione delle alternative* di layout con riferimento a fattori e/o considerazioni opportunamente selezionate ritenute importanti: tutte le alternative vengono confrontate con riferimento allo stesso set di fattori e/o considerazioni;
3. *Analisi dei fattori* che completa il precedente metodo 2: ad ogni fattore è assegnato un peso numerico e poi ogni progetto di layout è classificato

rispetto a ciascun fattore; le *classificazioni pesate* sono totalizzate per ogni alternativa e si sceglie quella col maggior punteggio;

4. *Confronto dei costi*: tutti i costi associati ad ogni alternativa di layout sono identificati come pure i risparmi e viene scelta la soluzione più economica. Questo è il metodo che ha la maggiore consistenza; è però anche il più oneroso perché richiede calcoli e valutazioni quantitative. Se le differenze di costi fra i vari progetti sono trascurabili o il tempo a disposizione è scarso, questo metodo non è praticabile. Per il progetto di un nuovo layout occorre compiere una valutazione dei costi totali (investimento ed esercizio) per ciascuna alternativa di progetto.

Per la scelta del layout di stazione in oggetto, quest'ultimo metodo non è stato utilizzato, sia perché le differenze sono trascurabili sia per la mancanza di dati che ci permettessero di valutare quantitativamente i costi e i benefici che le diverse configurazioni determinano sull'operatività del lavoro.

La scelta del layout ottimale tra le diverse soluzioni è stata quindi compiuta avvalendosi del metodo 3: l'analisi dei fattori. Tutte le alternative vengono confrontate, come per il metodo 2, con riferimento allo stesso set di fattori, assegnando, in aggiunta, un peso p a ciascun fattore. Si segue la seguente procedura:

- a. Elencare tutti i fattori ($i=1, 2, \dots, m$) ritenuti importanti o significativi nella scelta del lay-out ottimale;
- b. Giudicare ciascuna alternativa ($j=1, 2, \dots, m$) di lay-out con riferimento allo stesso fattore (i) assegnando giudizi letterali o valori numerici g_{ij} in una scala numerica su intervallo. Nel nostro caso sono stati utilizzati i seguenti valori:

| | |
|---------|----------------------------------|
| 5 punti | soluzione assolutamente buona |
| 4 punti | soluzione soddisfacente |
| 3 punti | soluzione indifferente |
| 2 punti | soluzione non soddisfacente |
| 1 punto | soluzione decisamente inadeguata |
- c. Assegnare un punteggio o peso p a ciascun fattore, il che corrisponde a considerare l'importanza relativa di ciascun fattore rispetto agli altri facendo influire le valutazioni assegnate in maniera differente sul punteggio totale. In questo modo, si evita che alcuni fattori siano

sovrastimati ed altri sottostimati. Anche i pesi sono stati considerati avere un intervallo di valori da 1 a 5: 1 per un fattore pressoché irrilevante, 3 per un criterio mediamente importante rispetto agli altri quindi indifferente fino ad arrivare a 5 per un fattore di primaria importanza.

- d. Totalizzare per ogni lay-out (j) i punti conquistati con riferimento a ciascun fattore calcolando il punteggio P_j . Indicando ancora con i il fattore i-esimo, con p_i il suo peso e con g_{ij} il giudizio per il lay-out j-esimo con riferimento al fattore i-esimo, il punteggio pesato totalizzato dal progetto alternativo j-esimo sarà dato da:

$$P_j = \sum_{i=1}^m p_i \cdot g_{ij} \quad j=1, 2, \dots, n \quad \text{numero delle alternative di lay-out}$$

Il lay-out ottimale sarà quello con P_j massimo.

I fattori qui considerati nella scelta del lay-out della stazione, i pesi, le valutazioni e infine i risultati ottenuti sono riportati in tabella 3.1.

| Criteri | Peso | Soluzione A | | Soluzione B | | Soluzione C | | Soluzione D | | Soluzione E | |
|---|------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | Valutazione | Risultato |
| Visibilità Vettura | 3 | 1 | 3 | 4 | 12 | 3 | 9 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| Spazio per Materiale | 3 | 5 | 15 | 4 | 12 | 2 | 6 | 1 | 3 | 5 | 15 |
| Spazio per Attrezzature | 4 | 5 | 20 | 2 | 8 | 1 | 4 | 2 | 8 | 5 | 20 |
| Superficie totale richiesta | 3 | 2 | 6 | 3 | 9 | 4 | 12 | 5 | 15 | 1 | 3 |
| Spostamenti Operatore | 5 | 4 | 20 | 1 | 5 | 2 | 10 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| Interferenze tra Operatori | 3 | 4 | 12 | 1 | 3 | 3 | 9 | 3 | 9 | 5 | 15 |
| Rischio danneggiamenti | 5 | 4 | 20 | 2 | 10 | 2 | 10 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| Poka Yoke | 5 | 5 | 25 | 2 | 10 | 1 | 5 | 4 | 20 | 5 | 25 |
| Possibilità utilizzo carrelli commissionati multistazione | 5 | 5 | 25 | 2 | 10 | 2 | 10 | 5 | 25 | 5 | 25 |
| Value Benefit Complete | | | 146 | | 79 | | 75 | | 118 | | 156 |
| Value Benefit (Percentage) | | | 81% | | 44% | | 42% | | 66% | | 87% |
| Ranking | | 2 | | 4 | | 5 | | 3 | | 1 | |

| | |
|--|------------|
| Max Punteggio per Criterio | 5 |
| Max Punteggio disponibile (=100%) | 180 |

Tabella 3.1 – Station Layout

Note:

- è bene che i fattori vengano stabiliti da una sola persona (il progettista del lay-out) dopo discussioni con coloro cui il lay-out sarà sottoposto per l'approvazione;
- è bene non avere fattori ambigui che significano più o meno la stessa cosa;
- bisogna giudicare tutti i progetti alternativi con riferimento al medesimo criterio, ciò significa che la tabella va riempita per righe per facilitare le comparazioni; non procedere per verticali per non assecondare, nelle valutazioni, la tendenza ad avere un lay-out preferito;
- è bene coinvolgere nella formulazione dei giudizi le persone interessate al futuro lay-out.

Alla luce di quest'ultima nota, le valutazioni contenute nella tabella 3.1 sono state ottenute come medie dei giudizi forniti, per mezzo di un'indagine svolta in passato, dai capi reparto delle linee di assemblaggio esistenti e dai responsabili di produzione direttamente interessati e con un'adeguata esperienza maturata lavorando quotidianamente sul campo. Le valutazioni, essendo fornite dalle persone distintamente, sono soggettive e dipendenti dal singolo punto di vista. Non esiste una valutazione assolutamente corretta ma il valore medio delle valutazioni è mediamente condiviso.

I pesi invece sono stati decisi di comune accordo in un workshop finalizzato a stabilire gli obiettivi principali del progetto della nuova linea coinvolgendo i responsabili dei diversi reparti (produzione, production engineering, pre-series center, logistica). Si analizzano ora nel dettaglio i singoli fattori, i pesi stabiliti e le valutazioni ottenute.

- **Visibilità vettura:** è un criterio importante nel caso si voglia realizzare una show line, cui si dia cioè grande importanza all'aspetto estetico. Quest'aspetto è stato valutato con peso medio, in quanto la linea e, di conseguenza, le sue stazioni saranno aperte ai visitatori ma, allo stesso tempo, dovranno soddisfare criteri maggiormente prioritari. Si nota che la soluzione A, D e E sono totalmente inadeguate poiché la vettura è circondata dai carrelli ai lati dell'area di lavoro e coperta dalle vetture antecedente e successiva nella direzione di avanzamento. La soluzione C rende visibile la parte posteriore della macchina mentre, ancora meglio, la soluzione B permette di vederla dalla fiancata (soluzione soddisfacente).

- **Spazio per materiale:** trattandosi di una linea ad alti volumi, caratterizzata da un takt time contenuto, non occorre avere a disposizione troppo spazio per il materiale. Dall'altro lato però ci deve essere spazio sufficiente perché la produzione vada avanti senza problemi e rallentamenti. Anche qui si è assegnato un peso medio rispetto agli altri criteri. Le soluzioni migliori sono rappresentate dalle A e E avendo a disposizione due zone laterali ampie di cui almeno una adibita ai materiali.
- **Spazio per attrezzature:** è necessario un numero maggiore di attrezzature e/o attrezzature più avanzate che aiutino l'operatore a svolgere i propri compiti nel minor tempo possibile. L'importanza di questo fattore è alta (peso=4). Come nel caso precedente le soluzioni migliori sono la A e la E. La soluzione B ha un punteggio maggiore della soluzione C poiché dispone di un'area laterale adibita alle attrezzature più ampia (la vettura è disposta di punta). La soluzione D è posta alla pari della B perché, seppure abbia una piccola zona adibita alle attrezzature, in caso di necessità, permette di usufruire dell'esistente area materiale (non presente nelle soluzioni B e C).
- **Superficie totale richiesta:** una delle premesse di questo dimensionamento è che la linea possa essere contenuta nello stabilimento attuale. Questo studio mira ad ottenere la soluzione ottima per eccellenza senza badare all'attuale layout e quindi ad una precisa collocazione all'interno dello stabilimento; allo stesso tempo, non viene perso di vista il valore della superficie la cui occupazione comporta un costo. La superficie totale richiesta ha perciò un peso medio (pari a 3). Le valutazioni sono piuttosto oggettive e uniformi tra le persone dipendendo, questa volta, dalle dimensioni fisiche dei diversi lay-out.
- **Spostamenti operatore:** vanno il più possibile limitati trattandosi di una linea a basso takt time che costringe ad una maggiore efficienza; inoltre, già per i principi della lean Production, le attività senza valore aggiunto vanno eliminate o quantomeno ridotte al massimo. Sulla base di queste considerazioni, il peso è uguale a 5 mentre i lay-out sono stati così valutati: situazione ottimale nell'alternativa E con carrelli materiali nelle zone laterali e avanzamento vettura di punta (valutazione=5); a seguire, la

soluzione A con valutazione=4 con la presenza di un solo carrello materiale anche nel caso ci siano 2 operatori; valutazione=3 per la soluzione D con carrello posto dietro alla vettura che avanza lateralmente ma che svantaggia l'operatore durante lo svolgimento delle sue operazioni poiché lo costringe a recarsi sempre sul retro per prelevare un pezzo; le situazioni peggiori si hanno nei casi B e C dove i carrelli sono a cavallo delle stazioni e per l'avanzamento vanno ogni volta spostati e riportati alla posizione originaria determinando il massimo spostamento per l'operatore (la soluzione C è leggermente migliorativa, rispetto alla peggiore in assoluto B, dal punto di vista delle operazioni di montaggio grazie ai carrelli a lato della vettura).

- **Interferenze tra operatori:** anche questo elemento determina dei rallentamenti nel lavoro, pertanto si cerca di ridurlo anche se l'organizzazione del lavoro e degli spostamenti può aiutare in qualsiasi situazione ci si trovi. Vi è un'unica configurazione che non soddisfa per nulla questo criterio ed è la B poiché oltre ad esserci un solo carrello sul fronte o sul retro della vettura, questo è pure situato nel senso di avanzamento. Gli operatori prelevano il materiale dallo stesso carrello e lo devono pure spostare allo scatto della linea. L'interferenza è quindi massima, gli operatori non si trovano a lavorare in modo organizzato. A pari livello, si trovano le soluzioni C e D dove il carrello è posizionato a lato vettura, agevolando almeno un operatore che crea così meno intralcio, ma nel senso di avanzamento o il carrello si trova dietro la vettura dove entrambi gli operatori vanno ma non nel senso di avanzamento. Il massimo ovviamente è dato dall'alternativa E dove ogni operatore ha il suo carrello dedicato posto al lato della vettura che è libera di avanzare quando giunge il momento.
- **Rischio danneggiamenti:** costituisce un elemento da evitare per qualsiasi linea si voglia costruire. Le soluzioni più a rischio sono la B e la C ovvero quelle che richiedono lo spostamento dei carrelli prima dell'avanzamento della linea. Uno spostamento frequente, come in questi casi, aumenta la probabilità di provocare dei danni. Le altre soluzioni sono tutte buone, specialmente la E che considera un carrello dedicato per operatore con maggiore ordine, meno spostamenti, meno vulnerabilità.

- **Poka-yoke:** significa “a prova di sciocco” ed è uno degli strumenti della Lean Production diretto alla prevenzione e rapida individuazione degli errori. Esso consiste nella determinazione di condizioni operative tali per cui l'operatore è impossibilitato ad eseguire una manovra errata. In una linea che vuole rispettare le logiche lean e oltretutto ad alti volumi, rispettare questo criterio è essenziale per non allungare il tempo di attraversamento e quindi rispettare il takt time nella singola stazione. Anche qui le soluzioni migliori sono A e E le quali prevedono i carrelli a lato vettura più vicini all'operatore e non rendono laborioso l'avanzamento della vettura.
- **Possibilità utilizzo carrelli commissionati multistazione:** in una linea ad alti volumi sarebbe oneroso avere un carrello dedicato per operatore, mentre è conveniente utilizzare carrelli commissionati multistazione ottimizzandone il numero e sfruttandoli il più possibile con conseguenti vantaggi dal punto di vista del costo logistico. L'utilizzo di carrelli vettura multistazione è, infatti, una delle premesse di questo dimensionamento. Le soluzioni che più favoriscono l'avanzamento dei carrelli multistazione sono la A, D ed E che presentano delle zone laterali all'area di lavoro appositamente dedicate per i carrelli materiali. Nelle soluzioni B e C, il trasporto e prelievo dei carrelli sarebbe oneroso per la logistica a causa della loro posizione e quindi dello spostamento che richiedono rispetto al corridoio utilizzato per l'approvvigionamento.

Moltiplicando i pesi per le valutazioni si ottiene il risultato totale per ogni soluzione. Si possono avere i seguenti casi:

- a. Un progetto di lay-out prevale nettamente sugli altri, quindi viene scelto;
- b. Due progetti risultano molto vicini: in tal caso si procede ad una nuova valutazione più accurata dei pesi e dei giudizi invitando più persone interessate e dilatando il numero dei fattori (per esempio un ulteriore criterio potrebbe essere la valutazione sommaria dei costi se le differenze tra i vari progetti sono non trascurabili);
- c. Elaborare una combinazione dei due o tre progetti migliori ottenendo un'alternativa a cui nella fase di ricerca non si era pervenuti, valutarla e verificare se ottiene il punteggio massimo.

In questo caso, confrontando il risultato totale (Value Benefit Complete) di ogni possibilità si può notare che la soluzione E è la migliore con un punteggio totale in termini assoluti di 156 pari all'87% del massimo punteggio disponibile. Vi è anche la soluzione A che si avvicina alla prima con un punteggio pari a 146 (81%). Dal campo Ranking in tabella 3.1 si vede la classifica di tutte le soluzioni. Nonostante la notevole differenza di superficie occupata, il maggiore costo di occupazione non giustifica comunque la scelta della soluzione A piuttosto che la soluzione E. Quest'ultima infatti migliora gli spostamenti e riduce le interferenze tra gli operatori con un conseguente risparmio quantificabile di tempo e costi. La scelta finale del layout di stazione è stata effettuata attraverso la seguente analisi per verificare quale dei due aspetti (superficie occupata e spostamenti operatori) determina il maggiore vantaggio economico. In primo luogo, si è calcolata la differenza di superficie occupata tra le due soluzioni E e A:

$$\text{Superficie differenziale (E - A): } 59,84 - 42,84 = 17 \text{ m}^2$$

Poiché il costo di occupazione della superficie produttiva è pari a 60 €/m²*anno, il costo differenziale derivante dalla scelta E sarà dato da:

$$\text{Costo occupazione superficie differenziale: } \left(17 \text{ m}^2 \cdot 60 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{anno}} \right) * 33 \text{ staz.} = 33660 \text{ €/anno}$$

Per quanto riguarda la valutazione degli spostamenti operatore, si è ipotizzato che sulle 33 stazioni totali, mediamente in 16 stazioni gli operatori lavorino di fianco alla vettura, e nelle restanti 17 sulla parte anteriore e posteriore. Nella seguente figura è mostrato il layout A di una stazione di assemblaggio con un solo carrello commissionatore. L'operatore 1 non si deve spostare poiché il carrello è dal suo lato. L'operatore 2, dalla parte opposta, è costretto a fare il giro intorno alla vettura per raggiungere l'unico carrello materiali.

Nel caso di una stazione dove le operazioni sono svolte sulle parti anteriore e posteriore della vettura, ci si troverebbe nella situazione dell'operatore 3. Ci sarà un quarto operatore dietro alla vettura, non rappresentato perché nella stessa condizione dell'operatore 3, con le stesse distanze da percorrere per raggiungere il carrello.

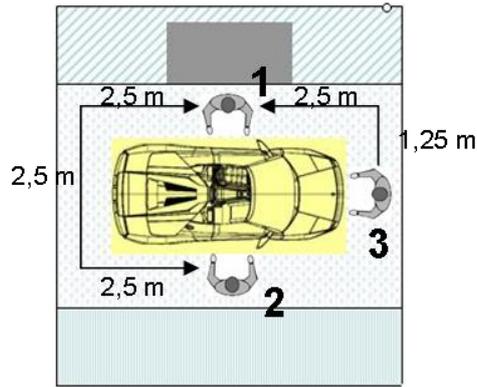


Figura 3.5 – Spostamenti operatori in una stazione con un carrello

Viene ora esaminato l'operatore 2. Il tragitto da percorrere (andata e ritorno) intorno alla macchina è circa pari a:

$$(2,5 + 2,5 + 2,5) * 2 = 15 \text{ m}$$

Si suppone una frequenza media (F) di prelievo del materiale di 5 volte/takt. In ogni stazione l'operatore impiega 1,24 min/takt.

| Descrizione | Codice | TMU | distanza [m] | F | Tempo base [TMU] | Tempo base [min] | Maggiorazione 10% | Tempo effettivo [min] |
|------------------|--------|-----|--------------|---|------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Camminare 2° op. | KA | 25 | 15 | 5 | 1875 | 1.13 | 0.113 | 1.24 |

Tabella 3.2 – Tempo di spostamento operatore 2 al carrello (andata e ritorno)

Poiché sono ben 16 le stazioni dove c'è un operatore come il 2 che lavora dalla parte opposta del carrello:

$$1,24 \frac{\text{min}}{\text{takt} \cdot \text{op.}} * 16 \text{ op.} = 19,84 \frac{\text{min}}{\text{takt}} \sim 20 \frac{\text{min}}{\text{takt}}$$

Il costo annuo di tale spostamento, sapendo che la manodopera costa 30 €/h, sarà dato da:

$$\frac{20 \frac{\text{min}}{\text{takt}} * 40 \frac{\text{takt}}{\text{g}} * 220 \frac{\text{g}}{\text{anno}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{min}}{\text{h}}} = 88000 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

L'operatore 3, non determina un costo differenziale tra le due alternative di layout E ed A: anche disponendo di due carrelli commissionatori, uno per lato, l'operatore davanti o dietro la vettura sarà costretto a spostarsi per prelevare il materiale. Pertanto questo elemento di costo può essere tralasciato in sede di

scelta del layout. L'utilizzo di due carrelli commissionatori permette di risparmiare 88000 €/anno in spostamenti degli operatori durante lo svolgimento delle loro attività. Questa cifra è superiore al costo aggiuntivo di 33660 €/anno per l'occupazione della superficie; il risparmio in costi d'esercizio dato dalla soluzione E è pari a 54340 €/anno.

I carrelli sono multistazione ovvero ognuno serve 3 stazioni da 1 op/staz; poiché l'ipotesi è di 2 op/staz., ogni carrello conterrà i componenti della vettura sufficienti a seguire 6 stazioni (un lato solo). Per la logistica posizionare i pezzi su uno stesso carrello o su carrelli diversi non cambia, quindi il tempo di preparazione e smistamento è ipotizzato uguale sia per il layout A che E.

Dall'altro lato, la presenza di due carrelli per stazione, piuttosto che uno, comporta però un costo aggiuntivo di acquisto dei carrelli stessi. Se le stazioni sono 33, serviranno 66 carrelli in linea. Per ogni carrello presente in linea, 2 sono in viaggio (dal centro logistico alla linea di assemblaggio e dal fornitore al centro logistico) e 1 è in via di preparazione all'interno del centro logistico Schnellecke. Quindi non sarà solo per 33 carrelli l'investimento aggiuntivo, ma per ben 132 carrelli commissionatori dal costo unitario di 1600 €/carrello.

$$\Delta \text{ Investimento Carrelli} = 1600 \frac{\text{€}}{\text{carrello}} * 132 \text{ carrelli} = 211200 \text{ €}$$

Il Pay-back period si riferisce al periodo di tempo richiesto per il ritorno dell'investimento cioè per ripagarsi la somma dell'investimento originale. In questo caso è pari a circa due anni e mezzo.

$$\frac{211200}{88000} = 2,4 \text{ anni} \cong 29 \text{ mesi}$$

Il risparmio totale dell'investimento, in due carrelli per stazione secondo il layout E, sulla vita utile del progetto stimata pari a 10 anni è una cifra importante:

$$\left(88000 \frac{\text{€}}{\text{anno}} * 7,6 \text{ anni} \right) - \left(33660 \frac{\text{€}}{\text{anno}} * 10 \text{ anni} \right) = 332200 \text{ €}$$

In conclusione, grazie al vantaggio operativo derivante dall'utilizzo in stazione di due carrelli commissionatori, economicamente quantificato pari a 332200 € per

tutta la durata del progetto, è stato confermato come migliore il layout emerso dalla Value-Benefit Analysis: il layout E.

3.2 Layout della linea di assemblaggio

Scelto il lay-out della stazione, il passaggio successivo consiste nell'analizzare i possibili layout della linea di assemblaggio.

Trattandosi di un Greenfield Project all'interno della stabilimento, non esistono altri vincoli da tener presenti oltre alle dimensioni dell'edificio, ma si devono confrontare liberamente i vari layout esaminandone i vantaggi e gli svantaggi intrinseci in ognuno di essi. Le dimensioni della stazione sono pari a 6,8 metri di lunghezza per 8,8 metri di larghezza; le ritroviamo in scala sui layout analizzati.

Sono state considerate le seguenti configurazioni:

- Linea a forma di "U";
- Linea a forma di "S";
- Linea a forma di "S ampia";
- Linea chiusa a forma rettangolare;
- Linea composta da 3 linee parallele;
- Linea composta da 3 linee parallele distanziate;
- Linea a forma di "L";
- Linea a forma di "C".

Per ognuna di esse, si sono identificati i pro e i contro, comprendendo il soddisfacimento dei principi di Lean Production, la migliore localizzazione dell'area premontaggi, i flussi fisici dei materiali e le routes percorse dalla logistica per l'approvvigionamento della linea.

Dalle premesse del progetto e nel rispetto del takt time calcolato, si era ottenuto un numero di massima di stazioni di linea. Si era pervenuti a 33 stazioni di linea ipotizzando di mantenere circa costante il rapporto n. stazioni di linea/n. di premontaggi presente in linea Gallardo. Il punto di partenza di ogni dimensionamento è, infatti, l'esperienza maturata nel tempo passato; questa è la

base di ogni nuovo studio che sarà in seguito modificato con l'applicazione degli opportuni miglioramenti.

Gli spazi principali che caratterizzano il layout di una linea e che ne determinano la superficie totale occupata all'interno dello stabilimento sono dovuti ai seguenti elementi:

- Final Assembly: linea di assemblaggio finale; è data dalla successione delle stazioni della tipologia ottimale E (6,8 m x 8,8 m) come determinato in precedenza. La forma della linea va a influire sulla disposizione degli altri elementi (premontaggi, supermarket e corridoi) intorno ad essa e quindi sulla superficie totale necessaria;
- Pre-Assemblies: spazio dedicato ai premontaggi. La superficie da essi occupata è stata stimata facendo un paragone con l'esistente linea Gallardo per la quale i premontaggi occupano complessivamente un'area pari a 730 m² (per 6 premontaggi: radiatori, sospensioni, plancia, paraurti, porte, cofano motore e spoiler). Con 9 premontaggi ci serviranno almeno 1100 m²;
- Isola di normaleria: superficie adibita agli scaffali contenente minuteria utilizzata sia in linea di assemblaggio che nei premontaggi. Questi scaffali sono riforniti dalla logistica secondo la logica a kanban. Nell'ipotesi di avere un'isola di normaleria unica che possa servire tutta la linea e tutti i PM, si potrebbe tenere circa la stessa quantità di minuteria e quindi di superficie occupata con solo un 20% in più di sicurezza; occorrerà però un incremento di chiamate per il rifornimento più frequente dell'isola a fronte di maggiori volumi di produzione. Se invece, è preferibile frammentare l'isola di normaleria per renderla più facilmente accessibile (come vedremo nella maggior parte dei layout analizzati), a causa della ripetizione dei codici utilizzati in ogni zona, sarà necessaria una superficie stimata pari a circa 3 volte l'attuale;
- Supermarket Premontaggi: spazio adibito a scaffali e contenitori (GLT) contenenti particolari standard della vettura da premontare (centraline, convogliatori, staffe, connettori, radiatori e tubazioni acqua e olio, cablaggi paraurti, motorino spoiler) non a carrello perché non strettamente

legati alla commessa. Gli scaffali, contenenti parti di piccole dimensioni, sono riforniti avvalendosi della logica a kanban; i contenitori invece vengono gestiti a chiamata con un tempo di anticipo variabile a seconda del componente (le dimensioni di quest'ultimo influiscono sul numero contenuto in ogni GLT) tale da permettere l'approvvigionamento di un contenitore pieno in tempo utile senza incorrere in stock-out; partendo dalla situazione attuale e utilizzando un fattore moltiplicativo, dato dal maggiore volume di produzione richiesto, si ipotizza la necessità di una superficie adibita a SMK PM per particolari da premontare di circa 800 m²;

- Logistic Lane: corridoi utilizzati dalla logistica per l'approvvigionamento dei premontaggi, dei supermarket e per il trasporto dei carrelli materiali in linea. La larghezza di queste corsie è stabilita da standard aziendali e può variare in base all'utilizzo:
 - corridoio a doppio senso di circolazione: 4,30 m;
 - corridoio a senso unico: 2,30 m;
 - corsia a senso unico con passaggio pedonale: 3,30 m.
- Guests Lane: passaggio, solitamente di larghezza 1 m, ricavato in un corridoio o ad esso affiancato, utilizzato dai pedoni, siano essi addetti o non ai lavori, ospiti o dipendenti dell'azienda, ma in qualsiasi caso passanti a piedi all'interno dello stabilimento. Le misure standard sono già state riportate al punto precedente. Quando possibile, il passaggio pedonale è previsto accanto ad un corridoio a senso unico o addirittura lontano dai corridoi per evitare troppo traffico e conseguente pericolo per i pedoni.

I Premontaggi sono ipotizzati essere pari a 9 così suddivisi:

- 2 stazioni per i PM Meccanica ovvero per i radiatori, serbatoi e centraline;
- 2 stazioni per la plancia;
- 2 stazioni per le porte;
- 1 stazione per i paraurti anteriore e posteriore;
- 1 stazione per le sospensioni;
- 1 stazione per il cofano motore.

I PM, che più si distribuiscono lungo la linea, sono i PM Meccanica: solitamente si montano nelle prime stazioni (ad esempio le centraline), fino a coprire l'intero primo tratto di linea con i radiatori e i serbatoi.

La plancia s'ipotizza sia assemblata in 13° stazione poiché di solito segue tutta la parte impiantistica della vettura, gli isolamenti interni e i tappeti.

Immediatamente dopo la plancia, s'inserisce il motore che però viene premontato dalla Linea Motori ed è trasportato a bordo linea poco prima del momento dell'inserimento in vettura.

Prima della Trasmissione per semplicità si montano i fari e i paraurti anteriori. Si colloca quindi il PM Paraurti Anteriore all'inizio della seconda metà della linea seguito da quello posteriore, con la possibilità quindi di concentrare i PM Paraurti. Successivamente ci sono i PM delle Sospensioni assemblate più o meno in 22° stazione. Solo nella parte finale della linea, la vettura si veste delle parti esteriori: pertanto collochiamo il PM Porte e il PM Cofano Motore in una delle ultime stazioni.

Le premesse alla base di ciascuna ipotesi di layout sono:

- Carrelli vettura multistazione (un carrello per lato ogni 6 stazioni);
- Passaggio pedonale nel posto meno pericoloso compatibilmente con l'idea alla base del layout e gli spazi disponibili;
- Premontaggi (PM) a bordo linea (fishbone concept) il più possibile vicini alle stazioni in cui vanno assemblati i premontati;
- SMK distribuito accanto alla linea;
- Nessuno scaffale in linea;
- Mancanza di vincoli spaziali all'interno dello stabilimento (greenfield project).

3.2.1 Possibili soluzioni di layout di linea

Si riportano di seguito i diversi layout analizzati nel dettaglio, con i relativi vantaggi e svantaggi e la pianta in scala 1:400.

3.2.1.1 Linea a forma di “U”

In questa configurazione, una sola stazione posta trasversalmente sul fondo permetterà alla vettura di avanzare percorrendo la traiettoria di una U stretta.

Il corridoio esterno per la logistica è previsto a doppio senso di circolazione per svincolare l’approvvigionamento dei supermarket e dei premontaggi dai carrelli vettura lato sinistro.

All’interno della linea un corridoio a senso unico sarà adibito al trasporto dei carrelli vettura situati sul lato destro delle stazioni di assemblaggio, lo sgancio dei carrelli pieni e l’aggancio di quelli vuoti.

I premontaggi sono situati a bordo linea il più possibile vicini alle relative stazioni di assemblaggio; i PM Meccanica sono circa a metà del primo tratto della linea, per consentire di fornire agevolmente i componenti premontati a tutte le stazioni di quel tratto che ne prevedono il montaggio.

I supermarket vanno a riempire gli spazi a bordo linea inutilizzati: non si riesce a concentrarli pertanto si prevedono tre zone per la preparazione dei componenti da fornire ai premontaggi. Le isole di normaleria sono due per permettere agli operatori di raggiungere in un tempo ragionevole la minuteria da qualsiasi parte della linea si trovino senza dover attraversare le altre stazioni. Per questo vi sarà un’isola di normaleria che servirà il primo tratto di linea e una per il secondo.

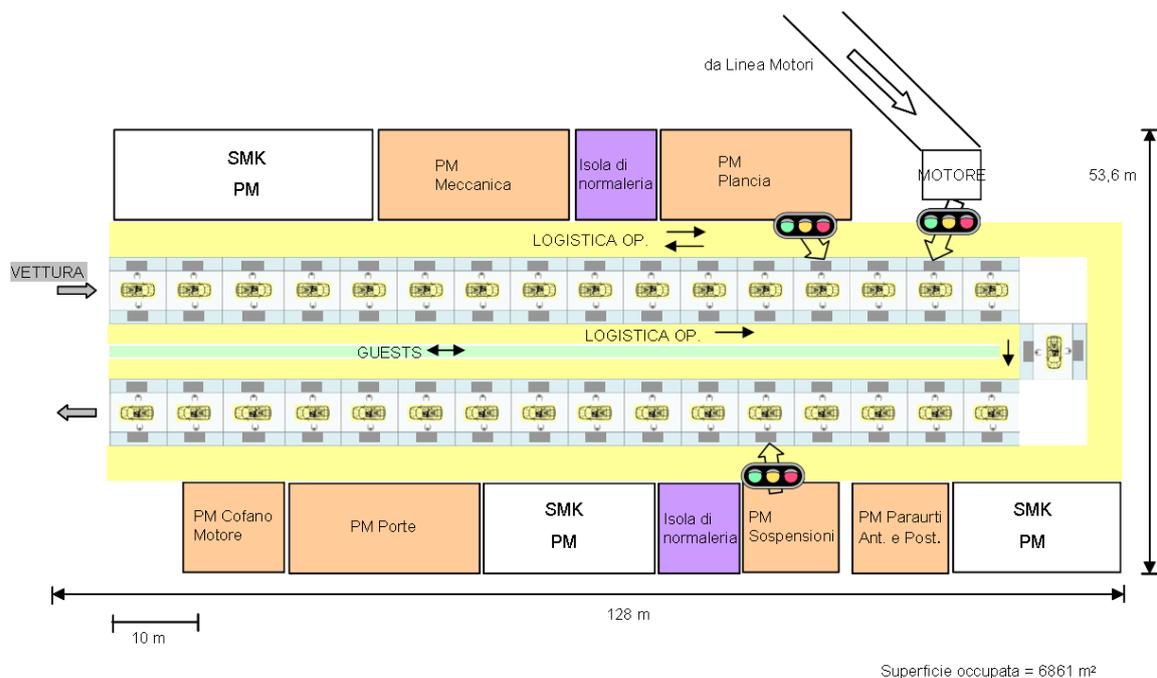


Figura 3.6 – Layout di linea a forma di “U”

I vantaggi di questa soluzione sono:

- Minima superficie richiesta;
- Spazio disponibile per tools nella linea;
- Spazio disponibile per materiali nella linea;
- Corridoio per logistica a doppio senso di circolazione separato dalla corsia per i visitatori;
- Spazio sufficiente per materiali, parti pre-assemblate;
- Possibile futura espansione della linea di assemblaggio aggiungendo nuove stazioni agli estremi;
- Isole di normaleria facilmente accessibili.

Mentre gli svantaggi:

- SMK frammentato in più zone;
- Poco spazio disponibile per un'eventuale espansione delle aree PM e SMK;
- Premontati di meccanica vengono assemblati lontano dalla relativa area PM;
- Nel corridoio interno, logistica costretta a fare tutto il giro anche solo per servire una particolare stazione.

3.2.1.2 Linea a forma di “U” ampia

La presenza di tre o più stazioni poste trasversalmente conferisce la forma di una “U ampia”. Si crea così, a differenza della soluzione precedente, dello spazio interno alla linea utilizzabile come isola di normaleria (caso 1) oppure come area adibita ai premontaggi e ai supermarket per la preparazione dei carrelli (caso 2).

Nel caso 1, l'isola di normaleria è in posizione centrale mentre i premontaggi e i SMK PM sono esterni a bordo linea. Vi è dello spazio disponibile per future eventuali espansioni sia dell'isola di normaleria che dei PM e SMK PM che potranno andare ad occupare anche l'area interna se necessario.

I corridoi sono entrambi a doppio senso di circolazione: quello esterno adibito ai PM, SMK PM e ai carrelli commissionatori lato sinistro, quello interno per il

rifornimento dell'isola di normaleria e il trasporto degli altri carrelli vettura. La logistica non è costretta a percorrere l'intera route per servire una particolare stazione, ma vi è la possibilità di invertire il senso di marcia.

L'isola di normaleria, grazie alla sua posizione, è facilmente raggiungibile da tutte le postazioni di linea; dai premontaggi la situazione è più complessa, costringendo gli operatori a passare tra le stazioni di linea o, in alternativa, a compiere il giro per raggiungere gli estremi ed entrare all'interno. Vengono essenzialmente a mancare due elementi: l'accessibilità all'isola di normaleria cioè la facile raggiungibilità da parte di tutti gli operatori, sia della linea sia dei premontaggi, senza dover attraversare due corridoi oppure altre postazioni di lavoro; l'utilizzo della superficie occupata che rimane scoperta soprattutto nella zona centrale.

Per il mancato soddisfacimento del primo elemento, questa soluzione è immediatamente scartata.

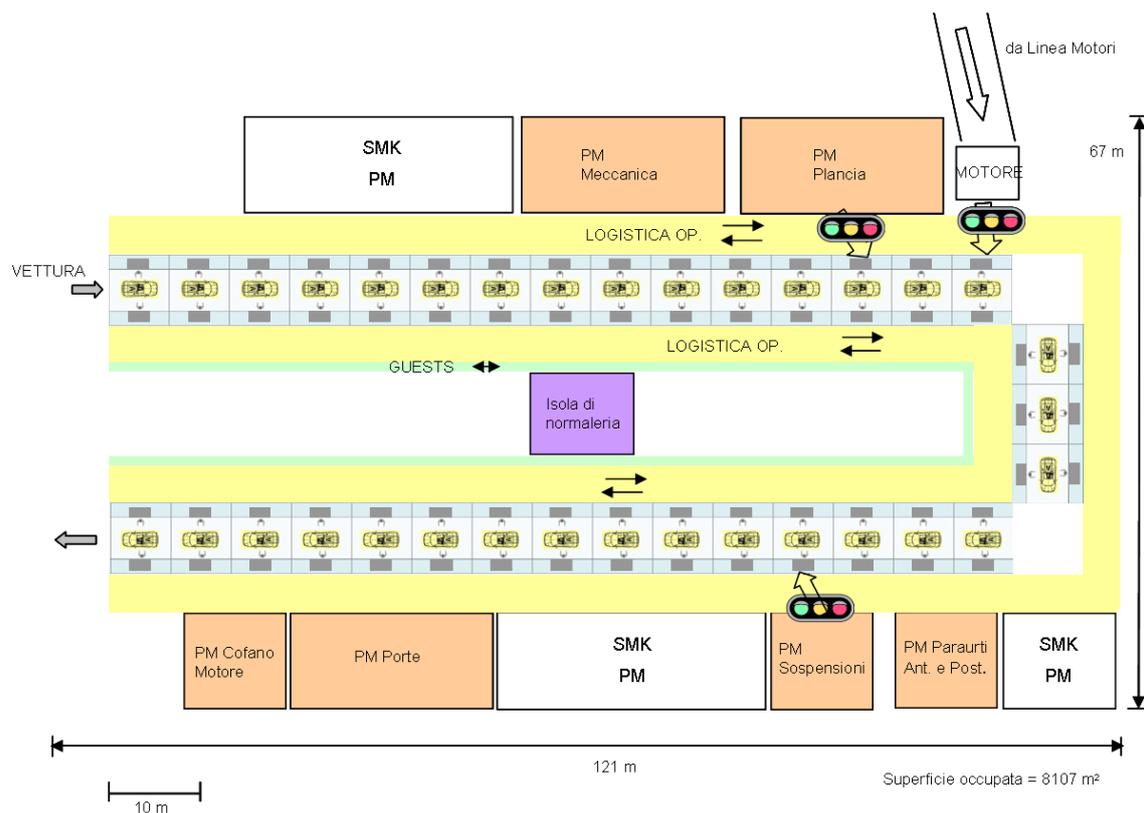


Figura 3.7 – Layout di linea a forma di “U ampia” (1)

Vantaggi:

- Possibile futura espansione della linea di assemblaggio;
- Spazio sufficiente per materiali, parti pre-assemblate;
- Possibile futura espansione delle aree PM e SMK;

- Isola di normaleria concentrata in un'unica area centrale.

Svantaggi:

- Superficie centrale inutilizzata;
- Corridoio per visitatori affiancato a una corsia a doppio senso di circolazione;
- SMK PM frammentato;
- Isola di normaleria difficilmente accessibile dalle aree PM.

Nel caso 2, si è ricavato uno spazio maggiore all'interno della linea portando ad una superficie complessivamente occupata notevolmente maggiore rispetto al primo caso. Quest'area può essere dedicata ai premontaggi e ai SMK PM. Non essendoci spazio sufficiente per collocare tutto all'interno, due aree di premontaggio con la relativa zona di preparazione carrelli e un'isola di normaleria a loro dedicata, sono stati posti sul fianco esterno dell'ultimo tratto di linea. Le isole di normaleria sono ben tre, favorendo l'accessibilità per tutti. I corridoi sono a doppio senso di circolazione come per il caso 1.

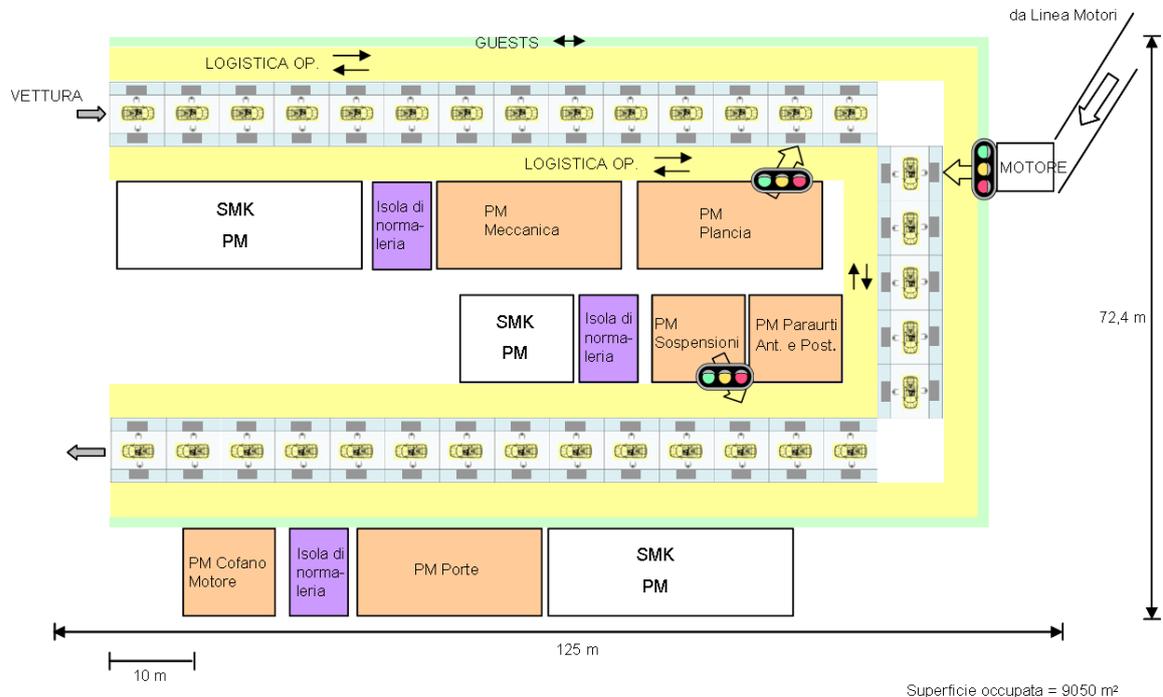


Figura 3.8 – Layout di linea a forma di “U ampia” (2)

I vantaggi sono quindi rappresentati da:

- Possibile espansione futura della linea di assemblaggio;
- Isole di normaleria facilmente accessibili sia dalle stazioni di linea sia dalle aree PM;
- Spazio sufficiente per materiali, parti pre-assemblate;
- Possibile espansione futura delle aree PM e SMK.

E gli svantaggi:

- Maggiore superficie occupata rispetto al caso 1;
- Corridoio per visitatori affiancato a una corsia a doppio senso di circolazione;
- SMK e Isola di normaleria frammentati.

3.2.1.3 Linea a forma rettangolare

L'idea alla base di questo tipo di layout è sfruttare al massimo lo spazio interno alla linea occupandolo quanto più possibile con i premontaggi e il supermarket.

I premontaggi sono situati a bordo linea il più possibile vicini alle relative stazioni di assemblaggio; i PM Meccanica sono collocati nell'angolo tra il primo e il secondo tratto della linea per consentire di fornire agevolmente i componenti premontati a tutte le stazioni interessate.

I supermarket vanno a riempire gli spazi inutilizzati: si riesce a concentrarli in un'unica area. Nel centro abbiamo il supermarket contenente i componenti da premontare e sui lati due isole di normaleria raggiungibili da qualsiasi stazione di linea o di premontaggio.

Il corridoio lungo tutto il perimetro interno della linea è utilizzato per il trasporto dei carrelli vettura lato destro; esso potrebbe anche essere utilizzato per approvvigionare le aree di premontaggio. Vi è un altro corridoio che inizialmente si sovrappone al primo, creando per un breve tratto un doppio senso di circolazione, e circonda tutto il supermarket permettendo il rifornimento di minuteria e del SMK PM e la preparazione dei carrelli per i premontaggi.

Il limite principale di questa soluzione, risiede nell'impossibilità di espandere la linea in futuro: la forma chiusa impedisce di aggiungere nuove stazioni di linea senza dover apportare notevoli modifiche all'infrastruttura e alle attrezzature presenti.

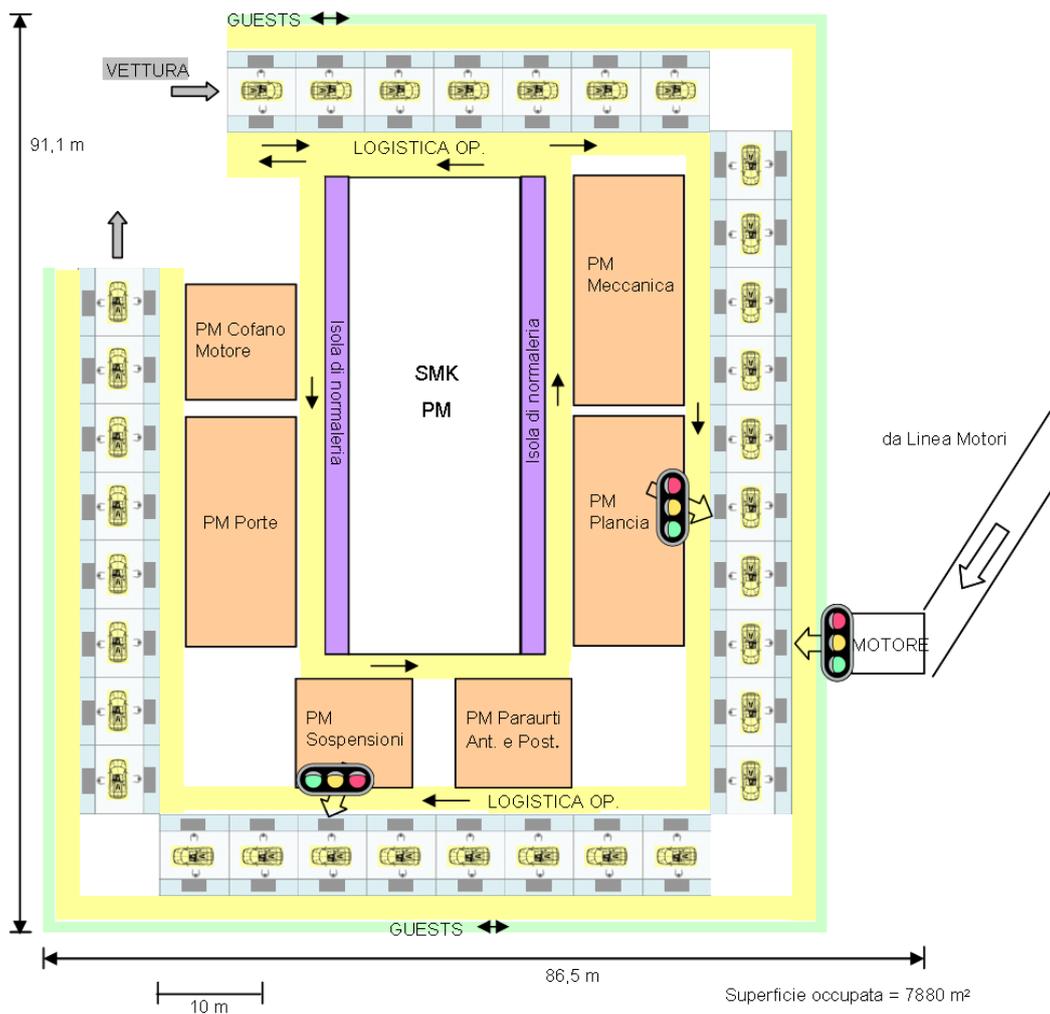


Figura 3.9 – Layout di linea a forma rettangolare

Vantaggi:

- SMK concentrato in un'unica area;
- Minima superficie totale occupata;
- Maggiore spazio per i visitatori in una corsia dedicata lungo il perimetro esterno della linea;
- Spazio sufficiente per i componenti premontati.

Svantaggi:

- Linea statica: la forma rende impossibile un ampliamento futuro in caso di maggiori volumi o adeguamento della linea ad altri modelli;
- Spazi ristretti per PM e SMK che ne rendono difficile una futura espansione;

- Nei corridoi perimetrali, la route della logistica è forzata al percorso completo nel trasporto dei carrelli commissionatori ;
- Minore spazio per materiali e attrezzature nella linea.

3.2.1.4 Linea a forma di “S”

Con questa configurazione, risulta impossibile inserire la plancia, il motore e anche le sospensioni in maniera automatica poiché le stazioni relative si trovano nel tratto centrale di linea non direttamente accessibile dai lati.

Persino i corridoi provocherebbero dei problemi d'intralcio: il corridoio interno utilizzato solo per il trasporto dei carrelli vettura risulta suddiviso in due tronconi all'interno delle curve della S e si trova a confluire nella corsia più grande utilizzata per l'approvvigionamento dei supermarket e dei premontaggi e per il trasporto degli altri carrelli commissionatori.

Sarebbe difficile anche collocare delle isole di normaleria facilmente raggiungibili da qualsiasi stazione della linea. Occorrerebbero almeno 3 isole di normale distinte: una davanti al primo tratto, una davanti all'ultimo e una di lato nel poco spazio lasciato libero dai premontaggi.

Pertanto questa soluzione è immediatamente da scartare.

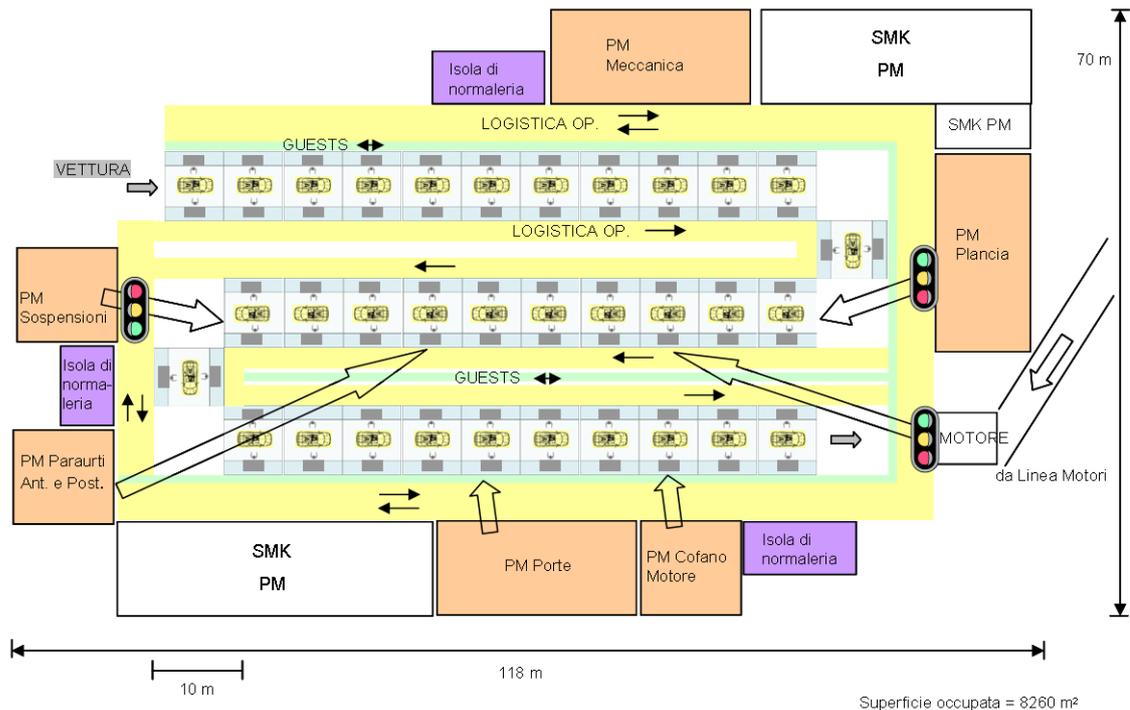


Figura 3.10 – Layout di linea a forma di “S”

Vantaggi:

- Possibile espansione futura della linea;
- Spazio sufficiente per materiali e componenti premontati;
- Superficie disponibile per un’eventuale espansione delle aree PM e SMK.

Svantaggi:

- Fishbone concept non rispettato: è impossibile l’inserimento automatico di Plancia e Motore (non vi è la possibilità di far sostare il motore in una zona adiacente alla stazione d’inserimento, in attesa di essere sollevato dal paranco);
- Isola di normaleria frammentata;
- Problemi d’intralcio tra corridoi interni ed esterni;
- Route forzata al percorso completo nei corridoi interni.

3.2.1.5 Linea a forma di “S ampia”

Rispetto all’ultima soluzione analizzata, vi sono 3 stazioni poste trasversalmente che permettono alla linea di curvare seguendo la forma di una “S ampia” e di ricavare della superficie disponibile all’interno della linea utilmente occupata con dei premontaggi, dei supermarket e delle isole di normaleria. Si riesce così a far fronte al limite principale di un semplice layout a “S”: il fishbone concept è rispettato e gli inserimenti automatici di Motore, Plancia e Sospensioni sono resi possibili.

Il motore viene trasportato dalla linea motori a bordo di un carrello da un operatore della logistica; raggiunta la linea viene trasportato e parcheggiato, servendosi del corridoio utilizzato dalla logistica per l’approvvigionamento dei SMK, in una zona di attesa a bordo linea adiacente alla stazione di inserimento (indicata dal rettangolo MOTORE). Al momento dell’inserimento un paranco afferra il motore sollevandolo dal carrello, il semaforo diventa rosso bloccando la circolazione sui corridoi e il paranco avanza portando il motore automaticamente sopra la vettura (fine corsa della rotaia del paranco). L’operatore comanda l’avvio del paranco attraverso un telecomando e può controllare i movimenti in direzione verticale (su/giù). Una volta inserito correttamente, si rilascia il motore, il paranco torna in posizione di riposo e il semaforo ridiventa verde.

Un altro punto a favore, rispetto al layout a forma di “S”, è rappresentato dall’indipendenza conferita ai corridoi, evitando situazioni di traffico particolare in prossimità di incroci tra più corsie.

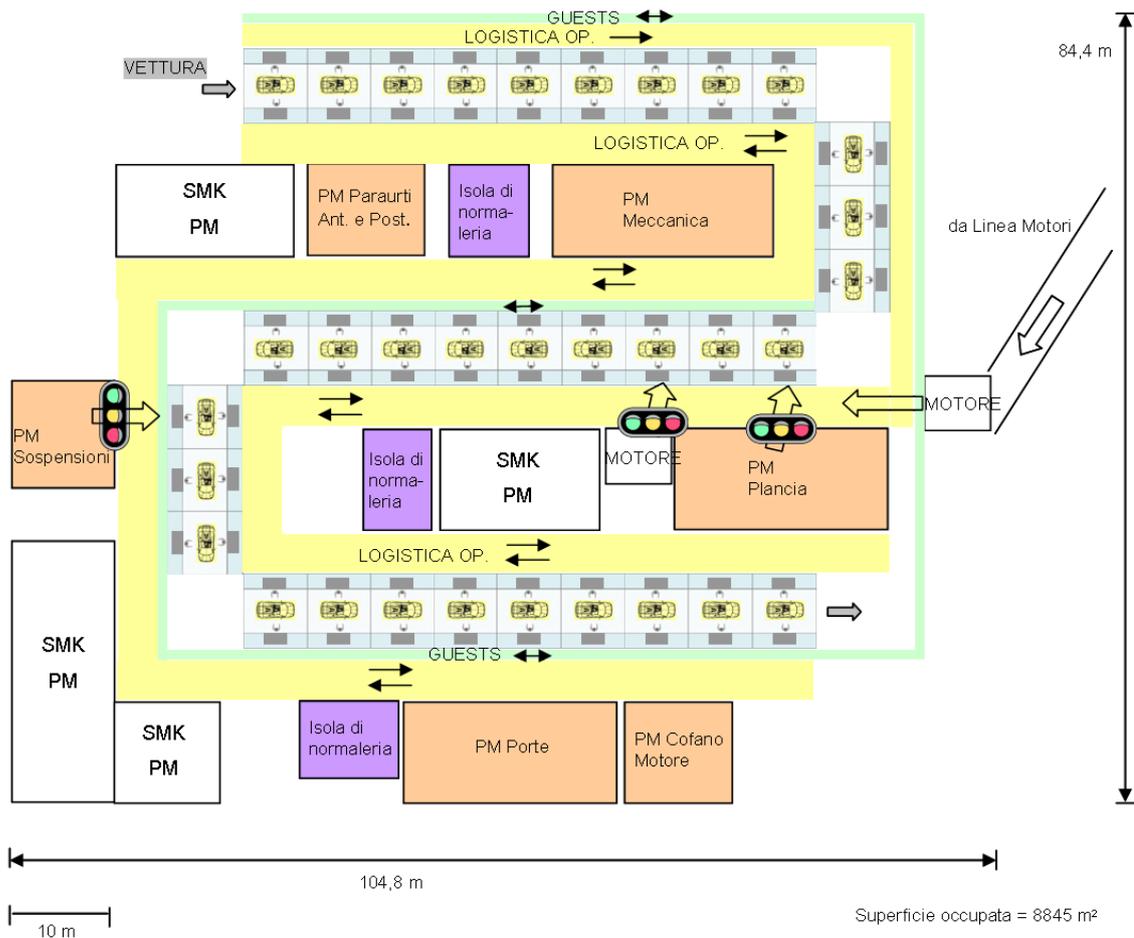


Figura 3.11 – Layout di linea a forma di “S ampia”

Vantaggi:

- Possibile futura della linea di assemblaggio;
- Fishbone concept rispettato;
- Spazio sufficiente per materiali, parti pre-assemblate;
- Superficie libera disponibile per eventuale espansione aree PM e SMK.

Svantaggi:

- Isola di normaleria frammentata in più zone;
- Trasporto del motore su corsia logistica: sarebbe preferibile che il motore fosse inserito in una stazione di linea direttamente raggiungibile dalla linea motori senza percorrere parte di una route utilizzata già dalla logistica per il flusso dei materiali verso le aree SMK e PM.

3.2.1.6 Linea composta da linee parallele

Questa soluzione riprende il layout a forma di “S” con la differenza che non ci sono stazioni poste trasversalmente atte a formare le curve e a unire i vari tratti della linea. Pertanto la vettura giunta all’ultima stazione del primo tratto dovrà essere sollevata e trasportata da un gancio all’inizio del secondo tratto; lo stesso accadrà tra il secondo e il terzo tratto. Il vantaggio di una simile configurazione, consiste nella possibilità per la logistica di servire una particolare stazione senza essere costretta a percorrere comunque l’intero percorso del corridoio interno come accadeva in una “U” o in una “S”; la logistica potrà uscire dalla parte opposta del corridoio con un guadagno di tempo e una maggiore flessibilità nei percorsi. La presenza di due ganci per il sollevamento e trasporto della vettura determinerà però un investimento maggiore in attrezzature.

Data la somiglianza con il layout a forma di “S”, anche in questo caso è impossibile inserire la plancia, il motore e le sospensioni in maniera automatica poiché le stazioni relative si trovano nel tratto centrale di linea non direttamente accessibile dai lati. Le aree di premontaggio non possono essere collocate accanto alle stazioni in cui si assemblano i componenti premontati in vettura. La metodologia fishbone non è perciò rispettata. Inoltre c’è un altro fattore da considerare: il layout deve garantire uno spazio sufficiente a bordo linea per i materiali, i componenti premontati nelle aree di premontaggio e le attrezzature; in questo caso, si dispone di una scarsa superficie a bordo linea. Per tutte queste considerazioni, questo layout è da scartare.

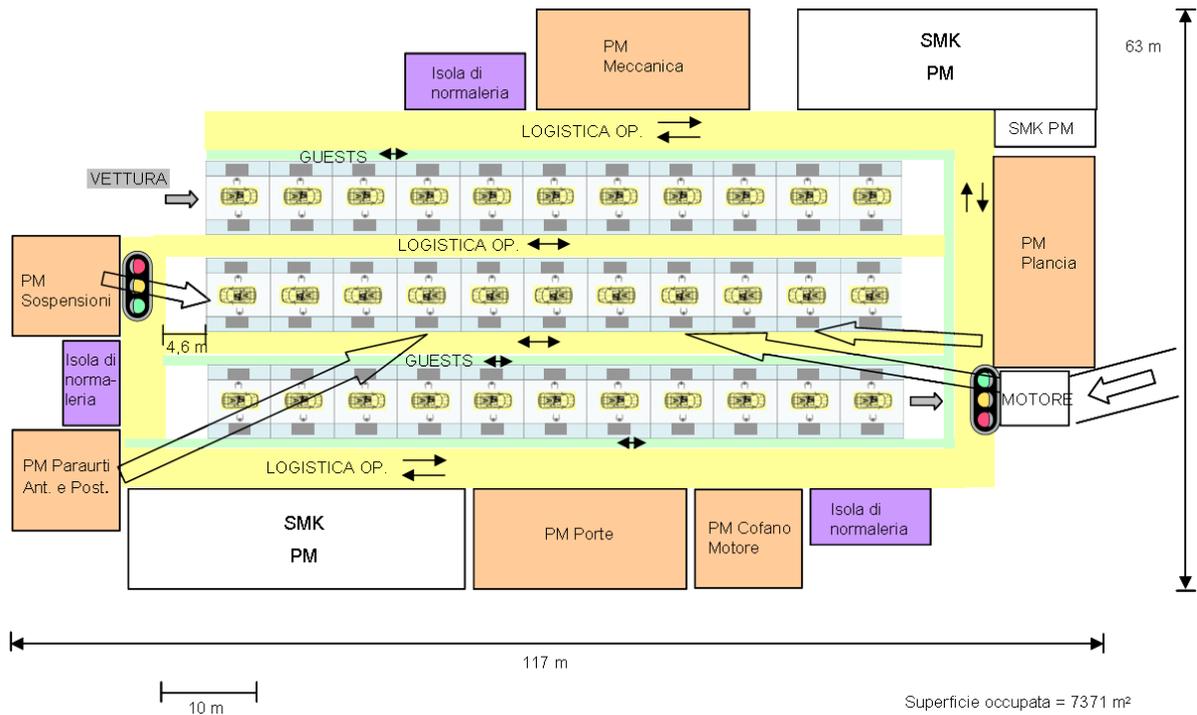


Figura 3.12 – Layout di linea composta da linee parallele

Vantaggi:

- Minima superficie occupata;
- Corsia dedicata per gli ospiti;
- Maggiore flessibilità per logistica: i corridoi interni hanno l'uscita dalla parte opposta dell'entrata, non forzando l'operatore della logistica a tornare indietro dopo aver servito una particolare stazione.

Svantaggi:

- Fishbone concept non rispettato;
- Isola di normaleria frammentata;
- Minore spazio per materiali e attrezzature nella linea;
- Poca superficie disponibile per un'eventuale espansione delle aree PM e SMK.

3.2.1.7 Linea composta da linee parallele distanziate

Questa variante di layout rispetto al precedente nasce con la stessa esigenza della variante a forma di "S ampia" rispetto al layout a "S": cercare di porre rimedio al

limite principale dei primi ovvero rispettare il più possibile il fishbone concept in base ai principi Lean. Le linee parallele sono quindi distanziate, in modo tale da lasciare una superficie sufficiente alle aree di premontaggio (ed eventuali SMK e Isole di normaleria) accanto alle stazioni di linea del secondo tratto.

Le corsie a doppio senso di circolazione sono indispensabili perché ogni tratto di linea deve essere servito con i carrelli materiali a commessa e i supermarket, le isole di normaleria e le aree di premontaggio devono essere approvvigionate. Non è possibile organizzare tutti questi flussi su corridoi a senso unico.

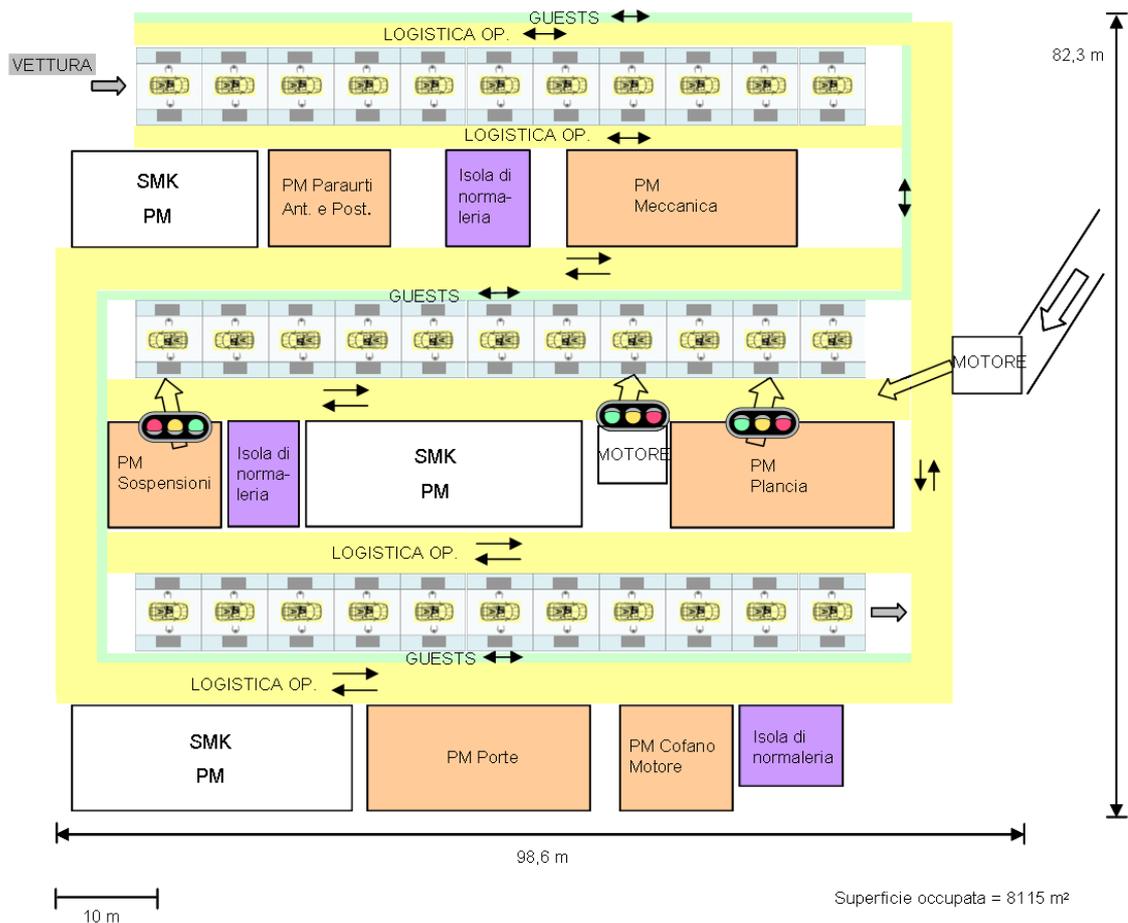


Figura 3.13 – Layout di linea composta da linee parallele distanziate

Vantaggi:

- Possibilità di espandere la linea in futuro;
- Flessibilità per la logistica soprattutto nei corridoi interni: possibilità di invertire il senso di marcia o di uscire dalla parte opposta all'entrata;
- Premontaggi vicini alle relative aree di assemblaggio: fishbone concept rispettato;

- Spazio sufficiente per materiali e componenti premontati;
- Possibile espansione delle aree di PM, SMK e isole di normaleria.

Svantaggi:

- Isola di normaleria frammentata;
- Trasporto del motore su corsia logistica.

3.2.1.8 Linea a forma di “L”

Questa forma può essere adottata per una linea di piccole dimensioni con un numero limitato di stazioni di assemblaggio. Per una linea ad alti volumi, si finisce per occupare tutta la lunghezza e larghezza dello stabilimento. Si crea così un'enorme superficie vuota al centro che andrebbe riempita con gli altri reparti di produzione. Questa soluzione comporterebbe un attento studio dei flussi reparto per reparto. Inoltre, in presenza di una linea così estesa occorrerebbe frammentare ancora di più i supermarket e le isole di normaleria per averli ad una distanza accettabile dalle stazioni di premontaggio e di linea ed evitare perdite di tempo dovute a spostamenti eccessivi degli operatori.

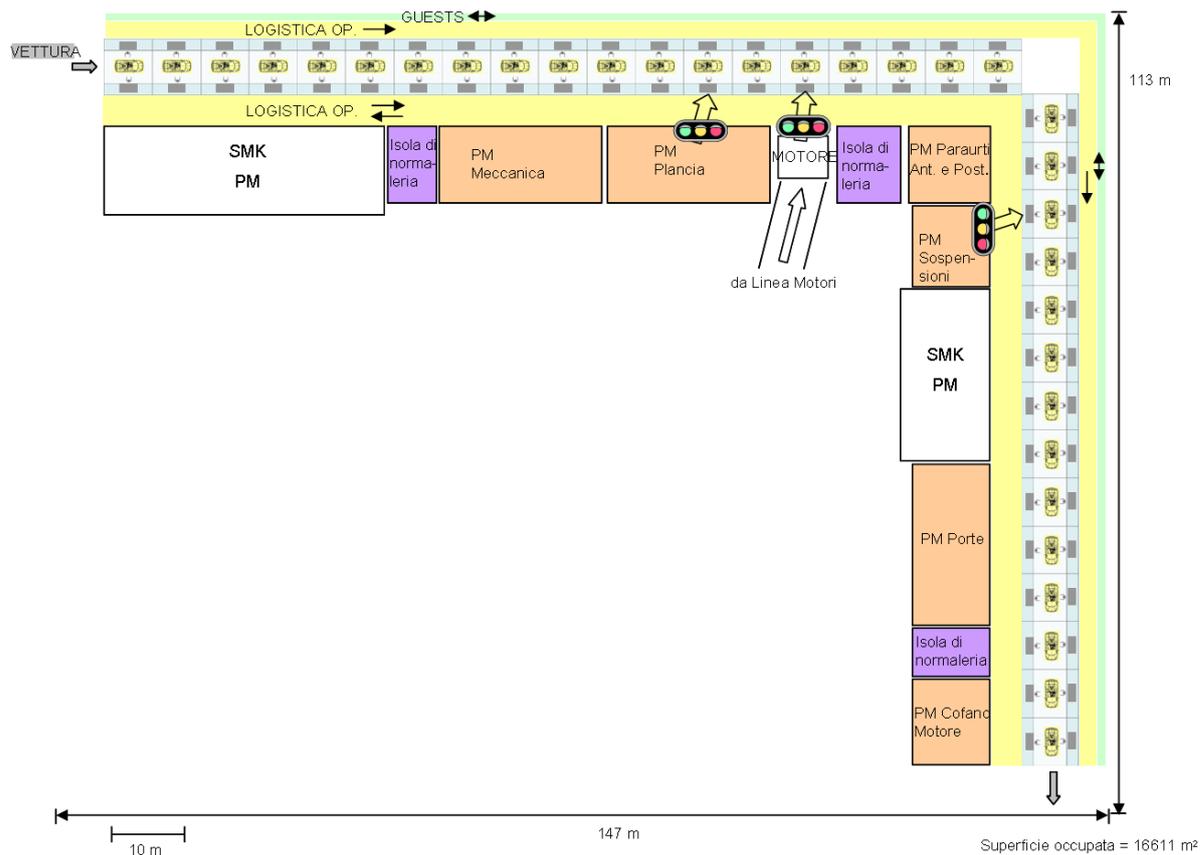


Figura 3.14 – Layout di linea a forma di “L”

Vantaggi:

- Spazio sufficiente per materiali e componenti premontati;
- Corsia dedicata solo per ospiti;
- Possibile espansione nell’area interna dei SMK e PM.

Svantaggi:

- Linea estesa: grandi distanze da percorrere per raggiungere le isole di normaleria, i SMK PM e le aree di premontaggio dai SMK PM;
- Linea estesa: conseguenti routes lunghe che la logistica si trova a dover percorrere per il trasporto sia dei carrelli commissionatori che del materiale per il rifornimento delle isole di normaleria e dei supermarket. Anche con la possibilità di fare inversione di marcia, la distanza per tornare all’entrata della corsia è comunque maggiore che nelle precedenti soluzioni di layout;

- Grande superficie inutilizzata all'interno della linea: dovrà essere destinata ad altri reparti di produzione;
- Espansione linea vincolata alle dimensioni di stabilimento: non sarà possibile aggiungere nuove stazioni agli estremi della linea per mancanza di superficie utile all'interno di uno stesso stabilimento; lo stabilimento attuale, infatti, ha dimensioni 150 m x 120 m. Dovrà probabilmente essere modificata la configurazione della linea, chiudendola per esempio con nuove stazioni secondo una forma tendente alla "U".

3.2.1.9 Linea a forma di "C"

Alla base di un layout a forma di "C" ci sono essenzialmente due caratteristiche:

1. Mantenere una linea aperta con l'indubbio vantaggio della flessibilità;
2. Concentrare i premontaggi, i supermarket e le isole di normaleria al centro cercando di sfruttare al massimo la superficie occupata e di favorire l'accessibilità da ogni parte della linea.

Le aree di premontaggio sono collocate il più vicino possibile alle relative stazioni di assemblaggio, internamente a bordo linea; nella zona centrale, circondati da un corridoio a doppio senso di circolazione, ci sono l'isola di normaleria e i supermarket per i premontaggi. Tale corridoio consente un agevole approvvigionamento dell'isola e dei SMK e il trasporto dei carrelli preparati alle vicine aree PM.

Il problema principale di questo layout è evidenziato dallo spaghetti chart in figura 3.15. Il diagramma a spaghetti consiste nella rappresentazione grafica degli spostamenti compiuti da operatori e materiali nel processo attuale. E' importante illustrare tutti i movimenti (di merci/materiali, persone, informazioni) con delle linee che congiungono i punti di partenza e di arrivo. Tali linee non devono necessariamente essere rettilinee: se schizzate a mano, possono assumere proprio la forma di "spaghetti". La ragione del nome "spaghetti diagram" è che, alla fine dell'esercizio di registrare il processo attuale, il disegno sembra un piatto pieno di spaghetti. Questo grafico cattura la situazione "as is" and mostra visualmente che cosa accade oggi nel processo. Identifica i punti dove occorre apportare dei

miglioramenti ovvero opportunità significative per l'eliminazione o riduzione di sprechi e fornisce dati reali sui quali prendere decisioni.

Nella figura seguente sono stati rappresentati i flussi di materiali con spostamento di operatori. Si può notare un'eccessiva concentrazione di flussi in prossimità dell'isola di normaleria, dove si recano sia gli operatori di linea sia gli addetti ai premontaggi; questi flussi si vanno a intersecare con gli approvvigionamenti, svolti dalla logistica, dell'isola, dei SMK e dei PM. Il pericolo è notevole soprattutto per gli operatori che dalla linea di assemblaggio si recano all'isola di normaleria, poiché si ritrovano a dover attraversare ben due corridoi. In definitiva, una soluzione di questo tipo è da scartare immediatamente perché compromette la sicurezza dei lavoratori e l'efficienza dal punto di vista logistico.

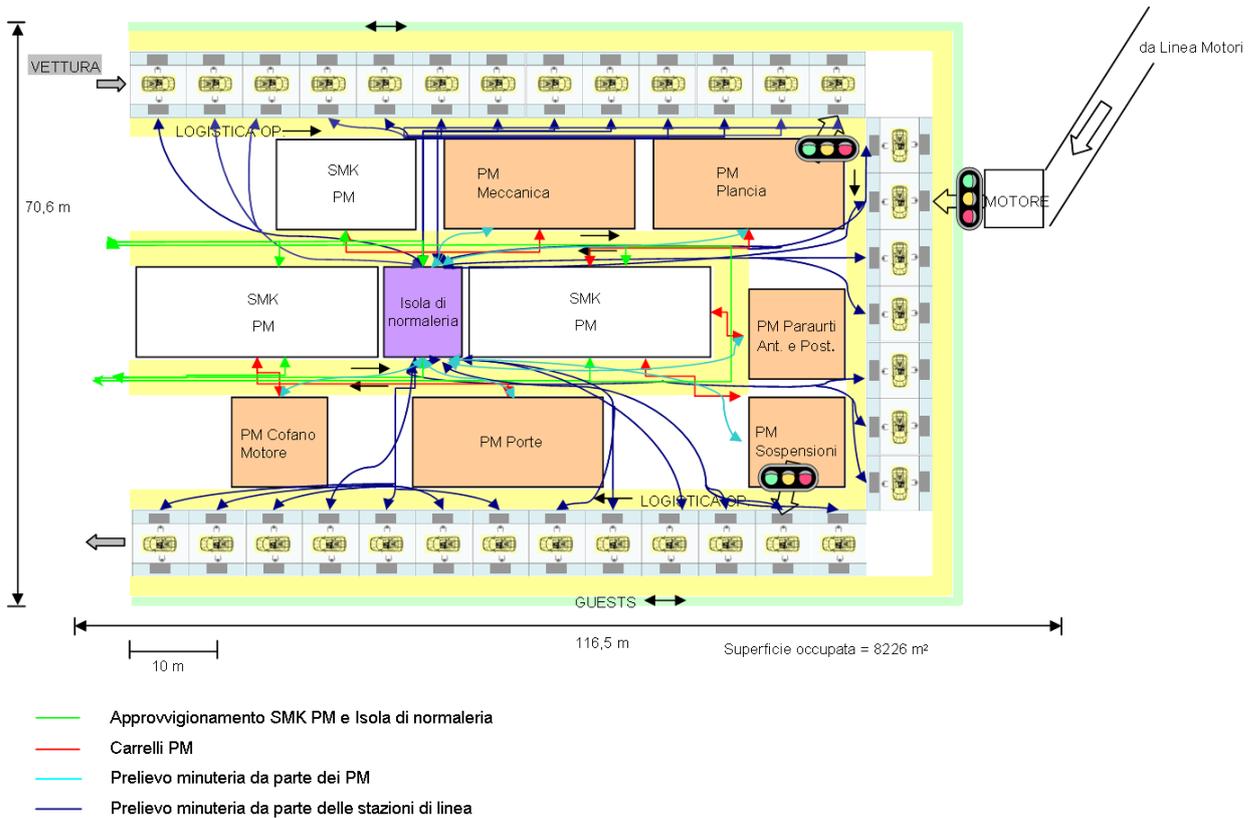


Figura 3.15 – Layout di linea a forma di “C” (1) e Spaghetti Diagram

Vantaggi:

- Possibile espansione futura della linea;
- Possibile espansione aree PM e SMK;
- Spazio sufficiente per componenti premontati;
- Corsia dedicata solo per ospiti;

- SMK concentrato;
- Buona utilizzazione della superficie occupata.

Svantaggi:

- Eccessiva concentrazione dei flussi nella zona centrale (specialmente in prossimità dell'isola di normaleria);
- Sicurezza degli operatori di linea compromessa nel recarsi all'isola di normaleria (attraversamento di due corridoi);
- Routes forzate al percorso completo nei corridoi per il trasporto dei carrelli vettura a bordo linea.

Per ovviare al problema precedente, si è pensato di modificare leggermente il layout, dividendo l'isola di normaleria in due aree collocate non più al centro affianco ai supermarket, ma accanto alle aree di premontaggio. I flussi sono più distribuiti, indirizzando gli operatori verso due isole distinte per l'approvvigionamento di minuteria (metà linea e premontaggi del primo tratto ad un'isola, linea e premontaggi del secondo tratto all'altra isola). La nuova posizione delle isole migliora la sicurezza dei lavoratori che attraversano un solo corridoio. Rimangono i vantaggi di accessibilità e buon utilizzo della superficie occupata. Tutti gli altri elementi sono lasciati invariati e valgono quindi le considerazioni fatte per il primo layout a forma di "C".

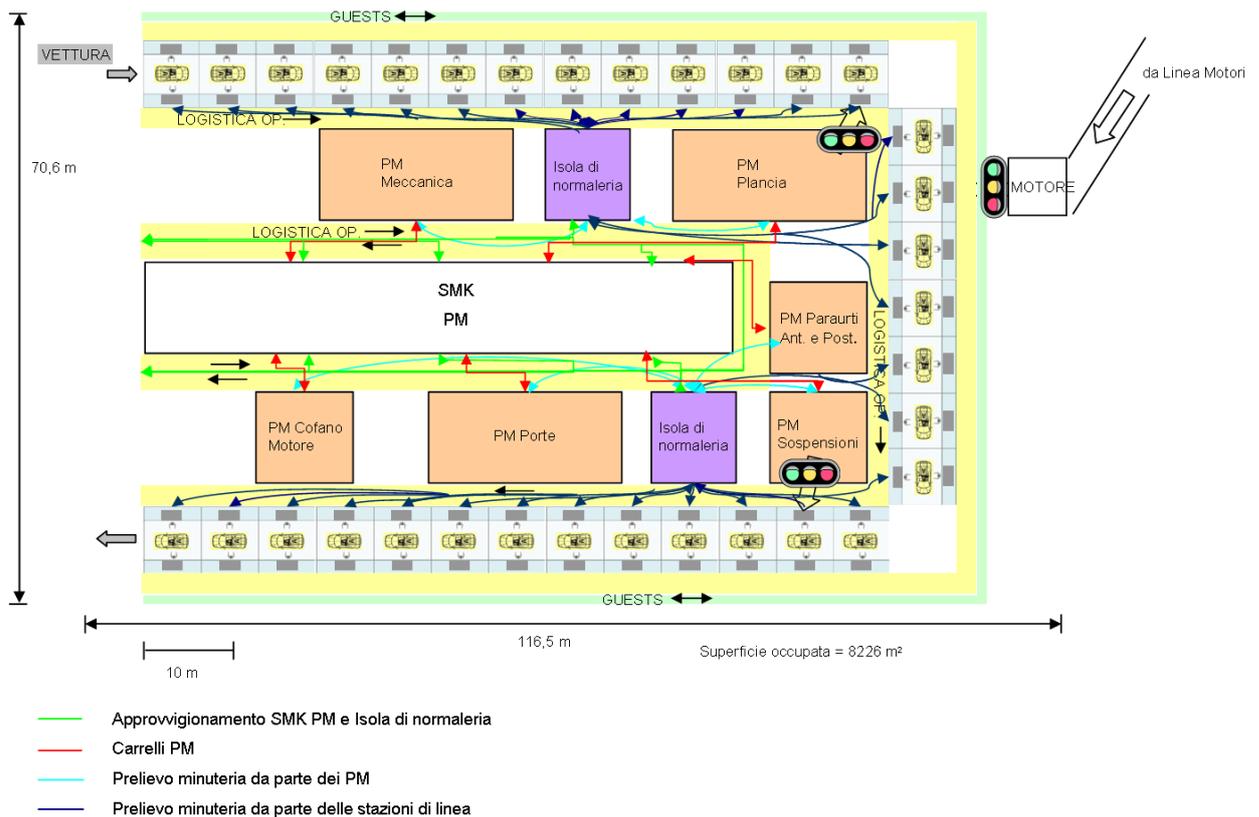


Figura 3.16 – Layout di linea a forma di “C” (2) e Spaghetti Diagram

I flussi dovuti al trasporto dei carrelli commissionatori non sono stati rappresentati nello spaghetti diagram, essendo identici per entrambe le configurazioni a “C”.

Vantaggi:

- Possibile espansione futura della linea;
- Isole di normaleria raggiungibili con minori rischi;
- Possibile espansione aree PM e SMK;
- Spazio sufficiente per componenti premontati;
- Corsia dedicata solo per ospiti;
- SMK concentrato;
- Buona utilizzazione della superficie occupata.

Svantaggi:

- Routes forzate al percorso completo nei corridoi per il trasporto dei carrelli commissionatori a bordo linea.

3.2.2 Scelta del layout di linea ottimale

Come per il layout di stazione, anche qui si è utilizzato il metodo dell'analisi dei fattori. Sono state poste a confronto le soluzioni di linea non immediatamente scartate in prima analisi, evidenziate nel paragrafo precedente: layout a forma di "U", "U ampia", "S ampia", "Linee parallele distanziate", "C". I pesi e le valutazioni sono stati attribuiti come prima con un range di valori da 1 a 5.

I fattori significativi per il layout di linea sono i seguenti:

- **Facilità di future espansioni della linea:** nello studio di un nuovo progetto, qualsiasi esso sia, è fondamentale mantenere una certa flessibilità per consentire di adeguarlo a esigenze future (senza dover compiere nuovamente un ingente investimento) e non renderlo fine esclusivamente all'idea attuale. Potrebbe auspicabilmente presentarsi, ad esempio, la necessità di una futura espansione a seguito di un aumento del volume di produzione o dell'introduzione di un nuovo modello di prodotto simile all'attuale, tale da poter essere assemblati sulla stessa linea (model-mix line). L'importanza di tale fattore è evidenziata dal peso 5. Il miglior layout a tale scopo sembra essere quello a "Linee parallele distanziate" poiché consente di aggiungere stazioni alle linee senza dover troppo modificare gli impianti o eventualmente creare una nuova linea parallela. A seguire, la soluzione "C" e i layout a "U" e "U ampia" permettono aggiunte di stazioni agli estremi entro i limiti di lunghezza dello stabilimento; se si vuole andare oltre, sarà necessaria una curva delle linee. La soluzione a "S ampia", presenta le difficoltà più evidenti, consentendo un'espansione della linea, al principio o al suo termine, con conseguente spazio inutilizzato ai lati; creare un nuovo ramo lateralmente, potrebbe complicare i flussi rendendo sconveniente questo tipo di layout ai fini della flessibilità.
- **Facilità di future espansioni dei supermarket premontaggi e delle aree di premontaggio:** questo fattore può essere originato da un cambiamento della tecnologia o del ciclo di produzione. Può esserci l'esigenza di utilizzare un particolare impianto per il montaggio di un componente, da ritenere conveniente effettuarlo fuori linea in area PM; oppure semplicemente si vuole spingere il fishbone concept e premontare la

maggior parte possibile dei componenti in modo da rendere più veloce l'assemblaggio in vettura e quindi l'avanzamento della linea. Ovviamente in caso di espansione della linea di assemblaggio (fattore precedente), occorrerà espandere anche i SMK PM e le aree PM per far fronte a un maggior volume di produzione. L'importanza è media perché non deve comunque comportare un'eccessiva inutilizzazione della superficie occupata.

- **Flessibilità e adattabilità del layout:** in parte questo fattore si collega alla facilità di espansione della linea e in parte considera eventuali cambiamenti che potrebbero verificarsi nel ciclo di produzione e per i quali il layout deve essere adattabile. Per esempio potrebbe essere richiesta una modifica nella sequenza di montaggio e un pezzo prima assemblato in una stazione può essere spostato a un'altra; in questo caso, la rispettiva area di premontaggio deve essere non troppo lontana dalla nuova stazione e i flussi rimanere comunque efficienti a fronte di una lieve variazione. Layout, come quelli a "U" e a "C", non troppo dispersivi e lineari favoriscono la flessibilità e l'adattabilità.
- **Efficienza del flusso dei materiali.** I flussi principali all'interno di una linea di assemblaggio riguardano:
 - l'approvvigionamento dei SMK PM e dell'isola di normaleria;
 - il trasporto dei carrelli preparati all'interno dei SMK PM alle aree PM;
 - il prelievo di minuteria da parte degli operatori delle aree PM i quali si recano periodicamente alle isole di normaleria;
 - il prelievo di minuteria da parte degli operatori delle stazioni di linea che si recano anch'essi alle isole;
 - il trasporto a bordo linea dei carrelli commissionatori contenenti i pezzi a commessa.

Il layout deve permettere che tale complesso di flussi sia efficiente, fluido e ben distribuito in modo da non rallentare o congestionare l'intero processo di produzione. Senza i materiali al tempo giusto, il lavoro rallenta o si ferma; per questo motivo il peso è massimo (5). La peggiore soluzione è la linea a forma di "S" con un giudizio minimo a causa di flussi disordinati, complessi con percorsi lunghi. A seguire con valutazioni pari a

3, il layout costituito da linee parallele distanziate, con flussi distribuiti e flessibili ma ancora con routes lunghe, e la linea a forma di “U”, caratterizzata da flussi lineari ma concentrati e costretti a seguire particolari percorsi. La soluzione “U ampia” è migliore con un’efficienza uguale a 4 perché i flussi sono sia lineari che distribuiti. La migliore alternativa è la linea a forma di “C” con un SMK PM unico interno e un corridoio dedicato, flussi lineari e ben distribuiti.

- **Utilizzazione dello spazio:** è importante che la superficie occupata non sia “sprecata” cioè lasciata libera senza utilità. Sotto questo punto di vista, la più alta utilizzazione si ha nel caso a “U” dove tutte le aree sono più ravvicinate. Si vedrà in seguito che è anche la scelta con la minore superficie complessiva occupata. All’estremo opposto, la “U ampia” presenta la maggiore superficie occupata con più spazi inutilizzati. Le altre soluzioni si collocano ad un livello intermedio.
- **Aspetto esterno e spazio per ospiti:** come già detto nell’analisi del layout di stazione, l’aspetto estetico sarebbe di primario interesse nel caso si voglia realizzare una show line. Le premesse del progetto attuale non considerano questo elemento come prioritario; la linea sarà comunque aperta agli ospiti, i quali dovranno poterla visitare tutta, percorrendo un corridoio a loro dedicato. In Automobili Lamborghini questo aspetto non è mai trascurato, poiché grande è l’importanza dell’immagine, essendo anche fonte di notevoli guadagni. Il peso del fattore è quindi considerato medio. Le soluzioni a “S ampia” e a “Linee parallele distanziate” sono poco estetiche e il corridoio dei visitatori si trova in posizioni più scomode, per l’operatività degli addetti ai lavori, rispetto alle “U”, “U ampia” e alla “C”. Le ultime due, in particolare, forniscono uno spazio maggiore per gli ospiti, avendo la corsia a loro dedicata che circonda appieno tutta la linea.
- **Superficie occupata:** i giudizi espressi sono per questa caratteristica oggettivi, dipendendo dai m² occupati dalla linea all’interno dello stabilimento. Come già accennato, la più compatta è sicuramente l’alternativa a forma di “U”. In ordine crescente, abbiamo le “Linee parallele distanziate”, la “C”, la “S ampia” e infine la “U ampia” come più

onerosa. La superficie occupata va ad incidere sui costi d'esercizio, quindi il criterio ha un peso notevole pari a 4.

- **Vicinanza SMK PM alle aree PM:** è di notevole importanza che i supermarket, dove sono preparati i carrelli per i premontaggi, si trovino vicino alle relative aree PM. Il flusso da SMK PM a PM avviene tante volte al giorno quante sono le vetture da produrre e quindi influisce sul tempo impiegato e sui conseguenti costi di movimentazione. E' preferibile il layout a forma di "C" perché, grazie alla centralità e all'estensione del supermarket, ogni area di premontaggio è sicuramente vicina ad esso. Le altre soluzioni sono all'incirca allo stesso livello, caratterizzate da alcuni premontaggi adiacenti al SMK e da altri leggermente distanti comunque con un buon compromesso. Il layout a "S ampia" è il più svantaggioso per la maggiore distanza del supermarket laterale dai premontaggi.
- **Concentrazione SMK:** questo fattore influisce sul numero di fermate che l'operatore della logistica deve compiere in fase di approvvigionamento. In un layout con un supermarket concentrato, la fase di approvvigionamento sarà sicuramente più agile. Il peso dato a questo criterio è però minimo perché il costo di fermata dell'operatore logistico è irrisorio. Il layout a forma di "C" è comunque il migliore, data la centralità e concentrazione in un'unica area del suo supermarket.

I fattori sopra esposti considerati nella scelta della linea, i pesi e le valutazioni attribuiti a ogni soluzione di layout in relazione ad ogni criterio sono di seguito mostrati in tabella 3.2.

| Criteri | Peso | Soluzione "U" | | Soluzione "U ampia" | | Soluzione "S ampia" | | Soluzione "Linee parallele distanziate" | | Soluzione "C" | |
|---|------|---------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|---|------------|---------------|------------|
| | | Valutazione | Risultato | Valutazione | Risultato | Valutazione | Risultato | Valutazione | Risultato | Valutazione | Risultato |
| Facilità di future espansioni linea | 5 | 3 | 15 | 3 | 15 | 2 | 10 | 5 | 25 | 4 | 20 |
| Facilità di future espansioni SMK e aree PM | 3 | 3 | 9 | 5 | 15 | 4 | 12 | 4 | 12 | 5 | 15 |
| Flessibilità e adattabilità del layout | 5 | 4 | 20 | 5 | 25 | 2 | 10 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| Efficienza del flusso dei materiali | 5 | 3 | 15 | 4 | 20 | 1 | 5 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| Utilizzazione dello spazio | 5 | 5 | 25 | 2 | 10 | 3 | 15 | 4 | 20 | 3 | 15 |
| Aspetto esterno e spazio per ospiti | 3 | 3 | 9 | 4 | 12 | 2 | 6 | 2 | 6 | 4 | 12 |
| Superficie occupata | 4 | 5 | 20 | 1 | 4 | 2 | 8 | 4 | 16 | 3 | 12 |
| Vicinanza SMK PM alle aree PM | 4 | 3 | 12 | 3 | 12 | 2 | 8 | 3 | 12 | 5 | 20 |
| Concentrazione SMK | 2 | 3 | 6 | 3 | 6 | 2 | 4 | 3 | 6 | 5 | 10 |
| Value Benefit Complete | | | 131 | | 119 | | 78 | | 127 | | 154 |
| Value Benefit (Percentage) | | | 73% | | 66% | | 43% | | 71% | | 86% |
| Ranking | | 2 | | 4 | | 5 | | 3 | | 1 | |

| | |
|--|------------|
| Max Punteggio per Criterio | 5 |
| Max Punteggio disponibile (=100%) | 180 |

Tabella 3.2 – Layout di linea

Dai risultati totali ottenuti, emerge, come migliore layout, la linea a forma di “C” con un punteggio totale di 154, in termini percentuali pari all’86% del massimo punteggio raggiungibile. Buone anche le soluzioni a “U” e a “Linee parallele distanziate” che si mantengono sopra il 70%. Il layout vivamente sconsigliato per il progetto in questione è quello con la linea a forma di “S ampia” con un punteggio minore del 50% disponibile.

Nel prossimo capitolo, sarà presa come riferimento la migliore linea risultante dall’analisi effettuata ovvero quella a forma di “C”. Nel Capitolo 5 sarà valutato l’investimento occorrente per essa e confrontato con quello eventualmente necessario per le linee a forma di “U” e a “Linee Parallele distanziate”, con lo scopo di verificare che, anche sotto il profilo economico, la soluzione scelta sia effettivamente quella più vantaggiosa.

Capitolo 4

Contenuti dei premontaggi e delle stazioni di linea

Dall'analisi del ciclo di produzione delle vetture in produzione, si nota che l'assemblaggio inizia dalla parte impiantistica della macchina che ne costituisce lo scheletro (cablaggi, impianti sottoscocca, scatola guida e trasmissione, radiatori) per poi passare al cuore con l'inserimento del motore e assumere sempre di più forma attraverso il montaggio degli interni (plancia, sedili) e del vestito esteriore (paraurti, fari, porte, cofano motore). La sequenza ovviamente può subire delle variazioni in funzione delle particolarità costruttive del modello; di seguito viene descritta la sequenza di massima, delle parti da premontare (nelle stazioni di premontaggio) e di assemblaggio di una vettura standard (nelle stazioni di linea), adottata per il dimensionamento della linea. In parallelo si evidenziano i risultati di una analisi dettagliata dei tempi di produzione con la quale è stato rivisto il numero reale di stazioni di premontaggio e di linea, in precedenza solo ipotizzato. I dati riguardanti i tempi sono stati raccolti nell'ufficio Analisi Tempi e Metodi; i metodi di determinazione sono descritti nel seguente paragrafo.

4.1 Metodi di determinazione dei tempi

Vi sono principalmente tre metodi che congiuntamente sono stati utilizzati per la determinazione dei tempi delle operazioni di assemblaggio e premontaggio:

1. **Preventivi di stima:** possono andare da valutazioni approssimative a valori documentati e tuttavia ancora incerti; la stima è stata effettuata per quelle operazioni delle quali non si disponeva di maggiori informazioni.
2. **Rilievi cronometrici:** viene affidato ad analisti il compito di rilevare con un cronometro il tempo impiegato dall'operatore ad effettuare un'operazione. Si è tenuto conto dei tempi risultanti da questo metodo

quando si trattava di operazioni identiche a quelle già svolte per modelli passati di prodotto.

3. **Sistemi a tempi predeterminati:** si tratta di sistemi che consentono di definire tempi preventivi standardizzati a priori per l'operatore medio che lavora con capacità e sforzi medi in condizioni normali. Tali metodi analizzano solo operazioni influenzabili completamente dall'uomo. L'attenzione viene posta sui metodi con cui tali operazioni vengono eseguite e non solo sulla determinazione del tempo. La direzione, verso cui si sta tendendo, è quella di sostituire gradualmente tutti i tempi stimati e rilevati con quelli analizzati, di maggiore accuratezza e attendibilità. Dove disponibili, sono stati quindi considerati i tempi ricavati con quest'ultimo metodo.

I *preventivi di stima* sono un sistema approssimativo di valutazione dei tempi di lavoro che viene utilizzato quando non si ha la possibilità di valutare l'operazione direttamente ma se ne conoscono solo gli elementi fondamentali (es.: disegno particolare, numero e tipo di fissaggio) oppure si hanno i dati di processi analoghi (es.: montaggio sedile a 4 punti di fissaggio).

Il *rilievo cronometrico* viene svolto osservando l'operazione da tempificare direttamente nella postazione di lavoro. Il tempo così rilevato con il cronometro deve essere rettificato in base alla velocità di svolgimento dell'operazione; questo metodo comporta, infatti, la necessità di dare un giudizio soggettivo del livello di rendimento tenuto dall'operatore. Si ottiene un tempo detto "livellato" o normalizzato a 133 (che è la velocità standard di svolgimento dell'operazione). A questo tempo, si sommano due fattori di maggiorazione:

- Fattore di affaticamento o di Riposo (FR): tiene conto del tipo e della condizione della mansione lavorativa e varia in base alla postura dell'operatore (seduto, in piedi, in ginocchio, coricato, in marcia), all'atteggiamento del tronco e degli arti (normale o disagiata, fermo o in movimento) e alla resistenza opposta dal mezzo meccanico utilizzato o dal peso da movimentare in kg (maggiore è il carico, maggiore è il fattore di riposo % di cui avrà bisogno l'operatore prima di iniziare una nuova operazione). Varia dall'1% al 23%.

- Fattore Fisiologico (FF): tiene conto delle necessità fisiologiche degli operatori; è generalmente fissato pari al 4,5%.

Si ottiene così il tempo “effettivo” ovvero il tempo “livellato” comprese le maggiorazioni.

Di seguito, è riportata la tabella delle maggiorazioni per fattori di riposo:

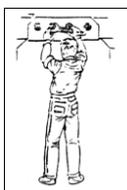
| TABELLA DELLE MAGGIORAZIONI PER FATTORI DI RIPOSO | | | | | |
|--|---|--|---------|---------|---------|
| POSIZIONE BASE | ATTEGGIAMENTO DEL TRONCO E DEGLI ARTI | Resistenza opposta del mezzo meccanico o dal peso (Kg) | | | |
| | | 0<L?2 | 2<M?10 | 10<P?20 | 20<PP |
| FATTORI DI RIPOSO IN % | | | | | |
| 1  | a) Tronco ed arti in atteggiamento normale, con tronco quasi fermo. | 1 | 2 - 3 | -- | -- |
| | b) Tronco od arti in atteggiamento disagiata con tronco quasi fermo. | 3 | 4 - 6 | -- | -- |
| 2  | a) Tronco ed arti in atteggiamento normale, con tronco quasi fermo. | 3 | 4 - 5 | 6 - 8 | 9 - 13 |
| | b) Tronco ed arti in atteggiamento normale con tronco in movimento | 5 | 6 - 8 | 9 - 11 | 12 - 16 |
| | c) Tronco od arti in atteggiamento disagiata, con tronco quasi fermo. | 7 | 8 - 10 | 11 - 14 | 15 - 19 |
| | d) Tronco od arti in atteggiamento disagiata con tronco in movimento. | 9 | 10 - 12 | 13 - 16 | 17 - 21 |
| 3  | a) Tronco ed arti in atteggiamento normale, con tronco quasi fermo. | 4 | 5 - 6 | 7 - 9 | -- |
| | b) Tronco od arti in atteggiamento disagiata con tronco quasi fermo. | 8 | 9 - 11 | 12 - 15 | -- |
| 4  | a) Tronco ed arti in atteggiamento normale, con tronco quasi fermo. | 6 | 7 - 9 | -- | -- |
| | b) Tronco od arti in atteggiamento disagiata con tronco quasi fermo. | 10 | 11 - 14 | -- | -- |
| 5  | a) In piano con o senza carico. | 6 | 7 - 10 | 11 - 15 | 16 - 20 |
| | b) In salita e in discesa con o senza carico. | 9 | 10 - 13 | 14 - 18 | 19 - 23 |
| | c) Tirando o spingendo carrelli in piano. | 7 | 8 - 11 | 12 - 16 | 17 - 21 |
| NB: I fattori di riposo (FR) sopraindicati non sono comprensivi della maggiorazione per fatiche fisiologiche (FF) . Il fattore fisiologico (FF) è definito complessivamente per tutti gli addetti pari al 4,5 % | | | | | |

Tabella 4.1 – Maggiorazioni per fattori di riposo

Impulsi sostanziali per lo sviluppo dei sistemi a tempi predeterminati furono dati da F. W. Taylor e da F. B. Gilbreth. Taylor aveva iniziato i suoi studi sui tempi con lo scopo di determinare i tempuscoli corrispondenti ai movimenti più semplici

nei quali è possibile scomporre qualunque movimento complesso. Il Gilbreth anagrammando il suo cognome chiamò i therbligs i 10 movimenti fondamentali di ogni movimento complesso, da lui isolati.

Prendendo le mosse dagli studi classici del Taylor e del Gilbreth, parecchi studiosi hanno cercato di eliminare la necessità del cronometraggio che disturba l'operaio, comporta la necessità di dare un giudizio soggettivo del livello di rendimento tenuto dall'operatore e si rivolge a lavorazioni esistenti, risultando pertanto inefficace come strumento di progettazione di metodi di lavoro. Dei vari sistemi proposti meritano attenzione i seguenti: MTA (Motion-Time Analysis), MTD (Motion-Time Data for assembly Work), WFS (The Work-Factor System), MTM (Methods-Time Measurement), BSC (Basic Motion Timestudy), DMT (Dimensional Motion Times), PHW (Predetermined Human Work Times), TE (Temps élémentaires).

MTM è il metodo che ha avuto maggiori applicazioni in Italia ed è quello adottato da Automobili Lamborghini.

4.1.1 Methods-Time Measurement (MTM)

Il sistema MTM è una procedura che analizza e scompone qualsiasi operazione manuale (influenzabile dall'uomo) in movimenti elementari necessari per eseguire l'operazione stessa e assegna a ciascun movimento un tempo standard predeterminato che è stabilito in base alla natura del movimento e alle condizioni sotto cui esso è stato eseguito.

Il principio dell'MTM è molto semplice: è stato dimostrato attraverso la ricerca empirica e la sperimentazione che, a parità di abilità e impegno di chi esegue un dato ciclo di lavoro, il tempo di esecuzione è funzione del metodo di lavoro adottato. Il sistema MTM è un sistema empirico, non nato da una teoria ma in modo sperimentale. Al fine di misurare il lavoro è necessario quindi saperne determinare il suo contenuto piuttosto che il tempo di esecuzione. Si è notato che circa l'85% delle attività manuali possono essere efficacemente descritte da soli 5 movimenti elementari che sono i movimenti manuali delle dita, delle mani, delle braccia nonché degli occhi, del corpo, delle gambe e dei piedi dell'operatore. I valori di tempo relativi a ciascun movimento elementare sono influenzati dalla sua

natura (grado di controllo muscolare, mentale, visivo e accuratezza richiesti) e dal verificarsi di determinate condizioni di esecuzione (restrizioni sul cammino; il grado di attenzione o precisione che deve essere esercitato, condizioni relative all'oggetto che deve essere mosso come l'essere in mischia, la dimensione, la forma). Per esempio, raggiungere un oggetto isolato su superficie piana, richiederà certamente meno tempo, a parità di distanza, rispetto al raggiungere uno spillo contenuto in una scatola piena di altri spilli.

Caratteristiche fondamentali del sistema MTM

I 5 movimenti elementari fondamentali, costituenti le operazioni manuali, sono i seguenti:

- Raggiungere: muovere la mano vuota o con un oggetto leggero semplicemente posato nel palmo verso un oggetto;
- Afferrare: portare un oggetto sotto controllo per sollevarlo o trasferirlo;
- Muovere: muovere un oggetto con la mano per portarlo verso una posizione;
- Posizionare: accostare o inserire degli oggetti in un alloggiamento;
- Rilasciare: lasciare il controllo di un oggetto aprendo le dita o abbandonando il contatto.

Altri movimenti elementari delle mani sono: applicare pressione, disaccoppiare, ruotare la mano. Inoltre si conoscono due azioni visive: muovere gli occhi (da un punto all'altro per controllare un'operazione) e fissare lo sguardo (accomodamento, messa a fuoco e percezione visiva). Infine ci sono i movimenti del corpo: movimento del piede e della gamba (senza spostare l'asse del corpo); passo laterale, girare il corpo, camminare (spostando o ruotando l'asse del corpo); Inclinando l'asse del corpo: piegarsi, rialzarsi, inginocchiarsi, sedersi, rialzarsi da sedere.

Un esempio di codifica del movimento elementare Raggiungere in funzione della distanza dell'oggetto in cm e della sua posizione (che ne determina la codifica RA se in posizione stabile, RB se leggermente variabile, RC se l'oggetto è nel mucchio ecc... e con la 'm' davanti se la mano ha un oggetto leggero posato nel palmo), si può vedere nella seguente tabella:

| Tabella M T M | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------------|------|------------------------|--------|---------------|----------------|-----------------|-------------------|------------------|
| Azione | Simbolo | Distanza cm | TMU | Fattore peso TMU | Coeff. | TMU totale | Tempo in m' | N° azioni/m' | Velocità mt/m' | Velocità Km/h |
| Raggiungere | RA | 10 | 6,1 | | | 6,10 | 0,004 | 273 | 27,32 | 1,639 |
| | | 20 | 7,8 | | | 7,80 | 0,005 | 214 | 42,74 | 2,564 |
| | | 30 | 9,6 | | | 9,60 | 0,006 | 174 | 52,08 | 3,125 |
| | | 40 | 11,3 | | | 11,30 | 0,007 | 147 | 59,00 | 3,540 |
| | | 50 | 13,0 | | | 13,00 | 0,008 | 128 | 64,10 | 3,846 |
| | | 60 | 14,8 | | | 14,80 | 0,009 | 113 | 67,57 | 4,054 |
| | | 70 | 16,5 | | | 16,50 | 0,010 | 101 | 70,71 | 4,242 |
| | | 80 | 18,2 | | | 18,20 | 0,011 | 92 | 73,26 | 4,396 |
| | RB | 10 | 6,5 | | | 6,50 | 0,004 | 256 | 25,64 | 1,538 |
| | | 20 | 10,0 | | | 10,00 | 0,006 | 167 | 33,33 | 2,000 |
| | | 30 | 12,8 | | | 12,80 | 0,008 | 130 | 39,06 | 2,344 |
| | | 40 | 15,6 | | | 15,60 | 0,009 | 107 | 42,74 | 2,564 |
| | | 50 | 18,4 | | | 18,40 | 0,011 | 91 | 45,29 | 2,717 |
| | | 60 | 21,3 | | | 21,30 | 0,013 | 78 | 46,95 | 2,817 |
| | | 70 | 24,1 | | | 24,10 | 0,014 | 69 | 48,41 | 2,905 |
| | | 80 | 26,9 | | | 26,90 | 0,016 | 62 | 49,57 | 2,974 |
| | RC - RD | 10 | 8,4 | | | 8,40 | 0,005 | 198 | 19,84 | 1,190 |
| | | 20 | 11,4 | | | 11,40 | 0,007 | 146 | 29,24 | 1,754 |
| | | 30 | 14,1 | | | 14,10 | 0,008 | 118 | 35,46 | 2,128 |
| | | 40 | 16,8 | | | 16,80 | 0,010 | 99 | 39,68 | 2,381 |
| | | 50 | 19,6 | | | 19,60 | 0,012 | 85 | 42,52 | 2,551 |
| | | 60 | 22,3 | | | 22,30 | 0,013 | 75 | 44,84 | 2,691 |
| | | 70 | 25,0 | | | 25,00 | 0,015 | 67 | 46,67 | 2,800 |
| | | 80 | 27,7 | | | 27,70 | 0,017 | 60 | 48,13 | 2,888 |
| | RE | 10 | 6,8 | | | 6,80 | 0,004 | 245 | 24,51 | 1,471 |
| | | 20 | 9,2 | | | 9,20 | 0,006 | 181 | 36,23 | 2,174 |
| | | 30 | 11,6 | | | 11,60 | 0,007 | 144 | 43,10 | 2,586 |
| | | 40 | 14,1 | | | 14,10 | 0,008 | 118 | 47,28 | 2,837 |
| 50 | | 16,5 | | | 16,50 | 0,010 | 101 | 50,51 | 3,030 | |
| 60 | | 18,9 | | | 18,90 | 0,011 | 88 | 52,91 | 3,175 | |
| 70 | | 21,4 | | | 21,40 | 0,013 | 78 | 54,52 | 3,271 | |
| 80 | | 23,9 | | | 23,90 | 0,014 | 70 | 55,79 | 3,347 | |
| Raggiungere (senza acceler.) | mRA | 10 | 4,9 | | | 4,90 | 0,003 | 340 | 34,01 | 2,041 |
| | | 20 | 6,5 | | | 6,50 | 0,004 | 256 | 51,28 | 3,077 |
| | | 30 | 8,0 | | | 8,00 | 0,005 | 208 | 62,50 | 3,750 |
| | | 40 | 9,6 | | | 9,60 | 0,006 | 174 | 69,44 | 4,167 |
| | | 50 | 11,2 | | | 11,20 | 0,007 | 149 | 74,40 | 4,464 |
| | | 60 | 12,8 | | | 12,80 | 0,008 | 130 | 78,13 | 4,688 |
| | | 70 | 14,3 | | | 14,30 | 0,009 | 117 | 81,59 | 4,895 |
| | | 80 | 15,9 | | | 15,90 | 0,010 | 105 | 83,86 | 5,031 |
| | mRB | 10 | 4,3 | | | 4,30 | 0,003 | 388 | 38,76 | 2,326 |
| | | 20 | 7,1 | | | 7,10 | 0,004 | 235 | 46,95 | 2,817 |
| | | 30 | 9,4 | | | 9,40 | 0,006 | 177 | 53,19 | 3,191 |
| | | 40 | 12,8 | | | 12,80 | 0,008 | 130 | 52,08 | 3,125 |
| | | 50 | 15,6 | | | 15,60 | 0,009 | 107 | 53,42 | 3,205 |
| | | 60 | 18,5 | | | 18,50 | 0,011 | 90 | 54,05 | 3,243 |
| | | 70 | 21,3 | | | 21,30 | 0,013 | 78 | 54,77 | 3,286 |
| | | 80 | 24,2 | | | 24,20 | 0,015 | 69 | 55,10 | 3,306 |

Tabella 4.2 – Il movimento elementare Raggiungere

L'unità di misura del tempo è il TMU abbreviazione di "Time Measurement Unit". Il TMU è definito come la centomillesima parte di un'ora (0,00001 ORE).

Ci sono 100000 TMU in un'ora e conseguentemente:

1 TMU = 0,00001 Ore = 0,0006 Minuti = 0,036 Secondi = 0,06 Centesimi di Minuto

L'unità di misura è estremamente breve poiché molti movimenti elementari richiedono tempi limitatissimi, che se fossero rappresentati in secondi richiederebbero il costante utilizzo di numeri decimali.

Vantaggi del sistema MTM

- Sposta il focus sui metodi di lavoro (Motion Economy);
- Possibilità di definire i tempi senza rilevamento;
- Obbliga l'analista a fissare in forma dettagliata il metodo di lavoro prima della determinazione dei tempi;
- È diffuso e riconosciuto in tutto il mondo;
- È supportato in tutto il mondo da organizzazioni locali che ne garantiscono la corretta applicazione e l'insegnamento;
- È un sistema oggettivo e scientifico per cui la deviazione dell'applicatore è molto limitata;
- Assicura una migliore accuratezza, oggettività e uniformità dei tempi standard di lavorazione;
- Consente di pianificare il lavoro a priori;
- È trasparente nella sua applicazione facilitando ogni tipo di relazione sindacale;
- Ha rilevanti sinergie con le tecniche di analisi ergonomica.

4.2 Contenuti dei premontaggi e ridefinizione del numero di stazioni

L'ipotesi fatta nei capitoli precedenti per determinare il numero di stazioni di linea, a partire da 42 stazioni complessive, era di avere 9 stazioni di premontaggio così suddivise:

- PM Meccanica: 2 stazioni;
- PM Plancia: 2 stazioni;
- PM Paraurti Anteriore e Posteriore: 1 stazione;
- PM Sospensioni: 1 stazione;
- PM Porte: 2 stazioni;
- PM Cofano Motore: 1 stazione.

Come riferimento, si era presa la linea esistente della vettura Gallardo. Erano state previste 2 stazioni per le parti di meccanica, la plancia e le porte perché sono i

premontaggi che solitamente richiedono più tempo e risorse. per il maggior numero di componenti di base.

Una delle premesse del progetto, è l'applicazione della metodologia "fishbone". Volendo spingere questo concetto, si cerca di premontare il più possibile i componenti nelle apposite aree di premontaggio; per le parti che non necessitano di essere assemblate in linea e di essere immediatamente a contatto con la vettura, è possibile alleggerire e snellire il carico di lavoro della linea principale riducendo il tempo di attraversamento del prodotto.

Vengono di seguito descritti nel dettaglio i contenuti delle stazioni PM, con l'indicazione del tempo effettivo necessario per completare il premontaggio del componente, il numero di operatori impiegati e il conseguente numero reale di stazioni. Spingendo il fishbone concept, sarà necessario dedicare un maggior numero di risorse ai premontaggi rispetto a quanto inizialmente ipotizzato.

- **PM Meccanica.** Principalmente in questa area vi è il premontaggio dei radiatori (olio motore, acqua, olio differenziale, scambiatore acqua/olio, gruppo impianto pompa diagnosi), dei serbatoi (olio idroguida, impianto spurgo acqua, serbatoio pompa diagnosi, vaschetta servofreno) e delle centraline (centraline sulla panchetta posteriore, centralina gestione pompe benzina, ABS e altre varie). Per i radiatori servirà all'incirca un tempo effettivo di 36 minuti che si traduce in una stazione da 2 operatori (36 minuti/20 min di takt time = 1,8 op. cioè 2 operatori). I macroblocchi serbatoi e centraline potranno essere montati in un'unica stazione da 2 operatori con un tempo complessivo di circa 38 minuti.
- **PM Plancia.** Questo premontaggio richiede da solo molto tempo dato l'elevato numero di componenti che vanno a costituire la plancia. Essa, suddivisa in una parte superiore e inferiore, è composta da: antenne, centraline, cablaggi, piantone sterzo, moduli airbag, bocchette aria, cupolotto, consolle centrale con pulsantiere per i vari optional e cassetto passeggero. Dall'analisi dei tempi, occorrerà impiegare circa 87 minuti per il suo completamento che significa 5 operatori. Sarà necessario predisporre 3 stazioni di lavoro, di cui due da 2 op./staz. e una da un operatore. Sarebbe infatti difficile collocare 3 operatori in una stessa stazione che lavorano sullo stesso pezzo.

- **PM Paraurti Anteriore e Posteriore.** L'assemblaggio dei paraurti con spoiler, sensori di parcheggio, cornici e griglie laterali e centrali, fregi con scritta Lamborghini impiega circa 3 operatori per un tempo effettivo totale di 54 minuti. Occorreranno quindi due stazioni sempre per la difficoltà di far maneggiare contemporaneamente la stessa parte da 3 persone contemporaneamente.
- **PM Sospensioni.** Alcuni elementi di una sospensione sono: portamozzo, bimandrino, disco freno, paraspruzzi, sensore ABS, pinza freno e tubi freni. Le sospensioni richiederebbero 39 min, comportando la saturazione quasi completa di 2 operatori. Gli operatori possono lavorare su sospensioni diverse (essendo 4 per vettura) e quindi avere le postazioni di lavoro in un'unica stazione.
- **PM Porte.** In quest'area vengono sostanzialmente assemblati: i riscontri delle porte, i sostegni delle maniglie, i cablaggi delle porte, i raschiavetri, gli specchietti retrovisori, i meccanismi alzavetro, i vetri, gli altoparlanti, i sensori airbag, le guarnizioni porta, le luci di ingombro e di cortesia, i pannelli di copertura interni e le maniglie esterne. Per le porte occorreranno 83 minuti, per i quali 4 operatori potrebbero non essere sufficienti. Pertanto si è scelto di aggiungere 2 operatori assegnando loro anche la preparazione dei carrelli per tutti i premontaggi, operazione che richiede almeno 30 minuti. In totale avremo 6 operatori occupati per 113 minuti complessivi nel premontaggio delle porte e nel picking.
- **PM Cofano Motore.** Si tratta del cofano posteriore sopra il motore che comporta delle operazioni di premontaggio di circa 36 minuti a cui verrà dedicata una stazione con 2 operatori. Il PM Cofano Motore si colloca affianco ad una delle ultime stazioni di linea, prima del check e accensione della vettura.

In sintesi, avremo 3 stazioni aggiuntive rispetto alle ipotesi iniziali (+1 stazione PM Plancia, +1 stazione PM Paraurti, +1 stazione PM Porte):

- PM Meccanica: 2 stazioni;
- PM Plancia: 3 stazioni;
- PM Paraurti Anteriore e Posteriore: 2 stazioni;
- PM Sospensioni: 1 stazione;

- PM Porte: 3 stazioni;
- PM Cofano Motore: 1 stazione.

Totale complessivo: 12 stazioni di premontaggio con 22 operatori contro le 9 ipotizzate con 18 operatori (2 op./staz.). Tutti gli operatori (a parte il caso delle sospensioni) hanno un carico di lavoro circa del 90% che rispetta la mancata saturazione ipotizzata. Da notare, che si tratta di tempi approssimativi in parte stimati e quindi da rivedere e perfezionare quando in futuro si disporrà del ciclo di produzione vero e proprio. Questa stima è più che sufficiente in sede di dimensionamento della linea.

Gli stessi ragionamenti valgono anche per la definizione dei contenuti della linea discussa nel prossimo paragrafo.

4.3 Sequenza di montaggio

I main contents sono stati distribuiti come di seguito esposto per cercare di mantenere la sequenza di montaggio di una vettura semplice (rispetto ad altri modelli realizzati da Lamborghini) come la Gallardo, cercando di implementare al meglio i principi della Lean Production, la fishbone structure (PM il più possibile vicini alla stazione dove verranno assemblati in vettura), di assegnare un carrello dedicato per operatore (quindi al massimo 2 carrelli/stazione) riducendo gli spostamenti e quindi il tempo non a valore aggiunto cioè gli sprechi.

All'inserimento di una nuova vettura in linea, occorre posizionare su di essa la scheda dati anagrafici contenente le informazioni identificative quali la destinazione e le specifiche principali. In particolare la scheda anagrafica è suddivisa in diverse sezioni:

- la sezione principale con il n° e la data dell'ordine, il riferimento del cliente concessionario, il n° di commessa, il colore esterno e interno;
- la sezione dei dati generali descrive il tipo di modello (ad es. spyder o coupé), il paese di destinazione, il tipo di guida (sinistra o destra), il tipo di cambio (es. selespeed), il tipo di letteratura di bordo e se possiede gli equipaggiamenti e particolari requisiti legali per alcuni paesi (come richiesto ad es. negli USA);

- la sezione meccanica contiene i dati tecnici riguardanti il motore (n° cilindri e potenza), il tipo di cerchi, di pneumatici, di freni (es. freni in ceramica) e di ammortizzatori ed eventualmente la dotazione di un sistema di antinquinamento (per paesi come gli USA);
- infine la sezione elettronica fornisce informazioni sulla dotazione di altoparlanti, radio, strumenti combinati, riscaldamento sedili, dispositivo di apertura garage e ogni altro optional.

La scocca viene quindi spostata manualmente dalla zona di parcheggio della logistica alla pre-line, viene rimosso il telo protettivo e dalla pre-line viene fatta avanzare in 1° stazione utilizzando il sistema di movimentazione della linea.

Sistematizzate le protezioni sulla carrozzeria, comunemente le operazioni caratterizzanti le prime stazioni sono: il montaggio degli ammortizzatori di sostegno cofano anteriore, la marcatura VIN sul telaio ovvero del codice identificativo della vettura, il montaggio di alcuni isolamenti (su panca, parafiamma e sotto panchetta lato motore), il montaggio dei cablaggi centrali, dei serbatoi carburante, della centralina gestione pompe benzina e della scatola guida (cremagliera).

In seguito, si procede ai principali collegamenti sottoscocca facendo attenzione a organizzare il lavoro in modo che gli operatori non s'intralcino a vicenda. I tubi sottoscocca appartenenti agli impianti freni, frizione, servofreno, idroguida, riscaldamento, d'ingresso ai radiatori e di spurgo del circuito di raffreddamento del motore, sono montati con la vettura posta su un attrezzo di rotazione, detto comunemente "Girarrosto", attraverso il quale la macchina può essere ruotata fino a 180° favorendo il lavoro degli operatori in posizioni ergonomiche con conseguente facilità e velocità di montaggio dei componenti della vettura. Il cablaggio batteria e il differenziale anteriore sono di solito montati con la vettura su un sollevatore in posizione alta mentre le prese d'aria mobili in posizione bassa.

Dopo il montaggio dei voletti e del lunotto, si prosegue con gli impianti servofreno, il montaggio di alcune centraline tra cui la centralina ABS, si termina il montaggio dei tubi rigidi freni e si serrano le masse dell'abitacolo. Vi sono poi dei montaggi non vincolanti come i serbatoi lavavetro, il motorino tergicristallo e il montaggio del gruppo acustico. La linea continua con altri impianti di base: i radiatori acqua, impianto olio motore, impianto olio cambio, idroguida con le

relative tubazioni e i tubi clima. I premontati di Meccanica, come preannunciato, sono quelli che più si distribuiscono lungo la linea e di cui si ha necessità per tutto il primo tratto: solitamente si montano nelle prime stazioni la centralina gestione pompe benzina, i motorini prese aria mobili, i tubi riscaldamento, le centraline; a seguire (in una linea di queste dimensioni potrebbero essere nelle 9° e 10° stazioni) i radiatori acqua, olio motore, lo scambiatore acqua/olio, il servofreno; ancora più avanti (all'incirca 17° e 18° stazione), il serbatoio olio motore.

Non avendo particolari vincoli costruttivi, si passa alla costruzione degli interni partendo da moquette, tappeti, posapiedi, imperiale, montanti e inserendo la plancia premontata. La Plancia s'ipotizza venga assemblata in 13° stazione poiché di solito segue tutta la parte impiantistica della vettura, gli isolamenti interni e i tappeti.

Si arriva così all'inserimento del cuore della vettura cioè del motore (premontato dalla linea Motori e trasportato a bordo linea poco prima del momento dell'inserimento in vettura); questo consente la successiva connessione di tutti i cablaggi e il montaggio dei semiassi e dell'albero di trasmissione (la trasmissione è collegata al motopropulsore). Prima della Trasmissione, per semplicità si montano i fari e i paraurti anteriori. Si colloca quindi il Paraurti Anteriore in 19° stazione seguito da quello posteriore, con il vantaggio di avere l'unica stazione di premontaggio dedicata a entrambi i paraurti, vicina alle due postazioni di linea. Le Sospensioni sono assemblate più o meno in 22° stazione.

A questo punto, nella parte finale della linea, si montano tutte le restanti parti esteriori della vettura: parabrezza, fanali posteriori, side covers (coperture parafanghi posteriori), sedili, porte (in 28° stazione), ruote, cofano motore (in 31° stazione) e mostrina. Ovviamente ci sono anche i riempimenti per la conseguente accensione e per il Check della vettura.

4.4 Bilanciamento e cartelle di lavoro

Dalla definizione della sequenza di montaggio, per determinare il contenuto di ogni stazione di linea e quindi il ciclo di produzione nel dettaglio, occorre fare un bilanciamento di massima dei carichi di lavoro, ai fini di un buon dimensionamento della linea.

In ogni postazione di lavoro, ogni operatore deve avere un carico di lavoro che non superi il takt time; si evitano così sovraccarichi di lavoro che provocherebbero colli di bottiglia oppure tempi morti che si tradurrebbero in spreco di risorse. Il processo di lavoro assegnato per ogni stazione deve essere completato all'interno della stazione stessa e nel rispetto del takt. La cadenza fissa rende possibile un processo a flusso continuo, stabile e solido, permettendo di individuare gli sprechi.

Il bilanciamento deve rispettare, oltre al takt time, i vincoli tecnici e tecnologici, la sequenza di montaggio, la sovrapposizione di operazioni e la densità degli operatori (spesso non è possibile far lavorare due operatori contemporaneamente sulla stessa parte della vettura). Il processo del bilanciamento è rappresentabile con la seguente figura:

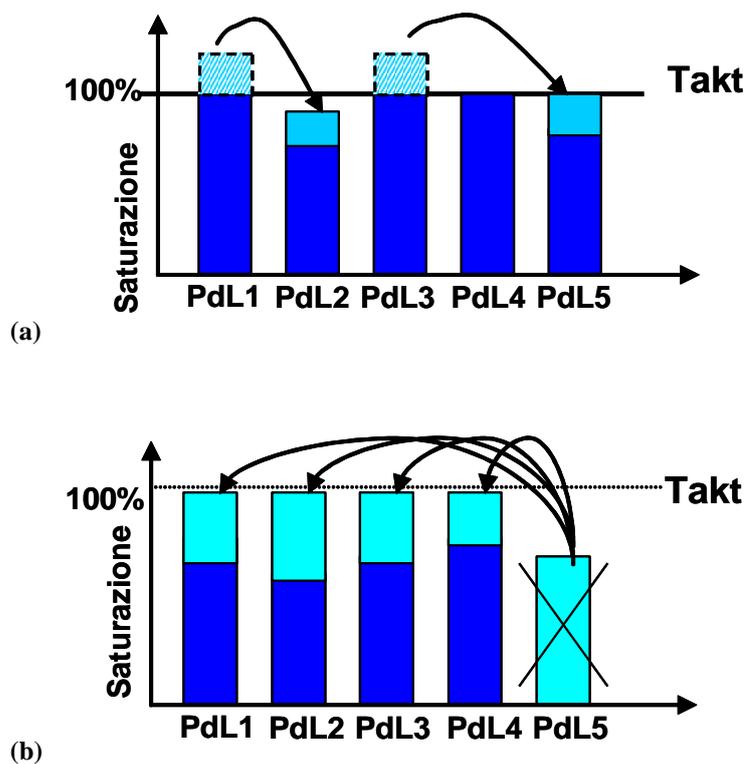


Figura 4.1 – Bilanciamento dei carichi di lavoro

Nel caso (a), gli operatori situati nelle postazioni PdL1 e PdL3 erano sovraccarichi. Bilanciare ha significato assegnare la parte di lavoro eccedente il takt time agli operatori in PdL2 e PdL5 che invece avevano una bassa saturazione. Il bilanciamento evidenzia anche gli sprechi; nel caso (b), ben 5 risorse erano assegnate al processo ma tutte erano scariche rispetto al takt time a disposizione.

Eliminare il PdL5 e ridistribuire i suoi compiti tra gli altri operatori ha permesso di migliorare la saturazione media e di ottenere un buon bilanciamento. Esso, infatti, non consiste solo nel rispettare il takt mantenendosi al di sotto, ma anche nell'utilizzare al meglio le risorse. L'Ufficio Tempi e Metodi effettua il bilanciamento e come output fornisce le cartelle di lavoro ad ogni singolo operatore.

Le cartelle di lavoro contengono l'elenco delle operazioni da eseguire in sequenza e, per ognuna di esse, la descrizione e l'indicazione del tempo effettivo da rispettare per compierla. Informazioni utili per l'operatore, eventualmente inseribili nella cartella di lavoro, sono la zona di lavoro in cui deve lavorare e la posizione della vettura per ogni operazione. Ogni operatore possiede così una traccia dettagliata da seguire. Sono state redatte delle cartelle di lavoro approssimative per la linea di assemblaggio in progetto sulla base dei tempi a disposizione (in parte stimati, in parte rilevati e altri analizzati con l'MTM, come spiegato all'inizio di questo capitolo).

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, due cartelle di lavoro per gli operatori assegnati ad una stessa stazione, uno addetto al lato sx (11A), l'altro al lato destro (11B):

| | |  | | <i>automobili</i> Lamborghini | | | | |
|-----|------|---|--|--|-----------------------|----------|-----------------------|----------------|
| | | REDAZIONE: Emanuela Brighi AGG.: 04/11/2010 | | CICLO DI MONTAGGIO 140 | | | | |
| | | | | Cadenza = 20 vett/turno Takt time= 20 min/vett | | | | |
| PrN | Seq. | Oper. | Descrizione | Tempo | Tempo effettivo (min) | Stazione | Tempo (Sat) Operatore | |
| | | | | | | | 11A Interni+Tappeti | |
| | 120 | 0207 | Montaggio isolamenti interno abitacolo lati sx/dx (fianchi tunnel e pianali) | r | 1.464 | 11 | 0.732 | |
| | 124 | 0301 | Montaggio moquette e tappeti lato sx | s | 1.875 | 11 | 1.875 | |
| | 128 | 0217 | Montaggio staffa pedale acceleratore su scocca | a | 0.570 | 11 | 0.570 | |
| | 134 | 0208 | Montaggio staffa per posapiedi pilota | a | 0.683 | 11 | 0.683 | |
| | 136 | 0642 | Montaggio pedale acceleratore | r | 0.510 | 11 | 0.510 | |
| | 138 | 0865 | Montaggio posapiedi lato pilota | a | 0.848 | 11 | 0.848 | |
| | 140 | 1450 | Montaggio staffa maniglia apertura porta lato sx | a | 0.570 | 11 | 0.570 | |
| | 146 | 1752 | Montaggio staffa serratura maniglia apertura cofano anteriore | a | 0.608 | 11 | 0.608 | |
| | 150 | 1784 | Montaggio serratura cofano anteriore | r | 0.968 | 11 | 0.968 | |
| | 154 | 1662 | Montaggio maniglia serratura cofano anteriore compresa fissaggio cavo bowden su maniglia | s | 2.250 | 11 | 2.250 | |
| | 158 | 1700 | Serraggio masse in abitacolo e in vano anteriore | r | 1.155 | 11 | 1.155 | |
| | 162 | 2110 | Montaggio guarnizione interna giroporta lato SX | r | 1.110 | 11 | 1.110 | |
| | 166 | 2154 | Montaggio copricurvano sellato lato SX | r | 1.450 | 11 | 1.450 | |
| | 176 | 2235 | Preparazione imperiale | s | 3.000 | 11 | 3.000 | |
| | 178 | 2240 | Montaggio rivestimento imperiale | s | 1.500 | 11 | 1.500 | |
| | | | | | | | Totale (min) | 17.827 |
| | | | | | | | Saturazione | 89.134% |

| | |  | | <i>automobili</i> Lamborghini | | | | |
|-----|------|---|--|--|-----------------------|----------|-----------------------|----------------|
| | | REDAZIONE: Emanuela Brighi AGG.: 04/11/2010 | | CICLO DI MONTAGGIO 140 | | | | |
| | | | | Cadenza = 20 vett/turno Takt time= 20 min/vett | | | | |
| PrN | Seq. | Oper. | Descrizione | Tempo | Tempo effettivo (min) | Stazione | Tempo (Sat) Operatore | |
| | | | | | | | 11B Interni+Tappeti | |
| | 120 | 0207 | Montaggio isolamenti interno abitacolo lati sx/dx (fianchi tunnel e pianali) | r | 1.464 | 11 | 0.732 | |
| | 122 | 0203 | Montaggio staffa posapiedi lato passeggero | a | 1.515 | 11 | 1.515 | |
| | 126 | 0500 | Montaggio moquette e tappeti lato dx | s | 1.875 | 11 | 1.875 | |
| | 130 | 0305 | Montaggio piastra posapiedi passeggero (incollare moquette) | a | 2.603 | 11 | 2.603 | |
| | 142 | 1722 | Montaggio staffa maniglia apertura porta lato dx | a | 0.570 | 11 | 0.570 | |
| | 160 | 1786 | Montaggio leva maniglia apertura cofano motore con cavo e compresa preparazione | s | 2.910 | 11 | 2.910 | |
| | 164 | 2112 | Montaggio guarnizione interna giroporta lato DX | r | 1.155 | 11 | 1.155 | |
| | 168 | 2158 | Montaggio copricurvano sellato lato DX | r | 1.450 | 11 | 1.450 | |
| | 172 | 1800 | Montaggio amplificatori antenna radio compreso connessione cablaggio antenna radio e serraggio masse | a | 0.833 | 11 | 0.833 | |
| | 180 | 2242 | Aiuto montaggio rivestimento imperiale | s | 1.695 | 11 | 1.695 | |
| | 184 | 9000 | Pulizia vettura con aspirapolvere | r | 2.348 | 11 | 2.348 | |
| | | | | | | | Totale (min) | 17.684 |
| | | | | | | | Saturazione | 88.421% |

Tabelle 4.3 - 4.4 – Esempi di cartelle di lavoro

La colonna “Seq,” contiene la sequenza di svolgimento dell’operazione mentre “Oper.” il codice identificativo dell’operazione affiancato dalla descrizione; “Tempo” indica se il dato riportato in “Tempo effettivo” è stato: a-analizzato, r-rilevato o s-stimato. “Stazione” contiene il numero di stazione di linea dove deve essere effettuata l’operazione; infine, l’ultima colonna intestata ad esempio “11A Interni+Tappeti” (che significa il primo operatore della stazione 11 addetto principalmente agli interni e tappeti), contiene i tempi che sommati concorrono a saturare l’operatore. Infatti un’operazione come la prima (codice 0207) per la quale occorrerebbero 1,464 minuti, può essere svolta dai due operatori insieme impiegando così 0,732 minuti a testa. Sotto l’indicazione del tempo totale in minuti compare anche la corrispondente percentuale di saturazione dell’operatore calcolata sul takt time di 20 minuti.

Come si vede dagli esempi, all’interno della stessa stazione, dove possibile, si è cercato di assegnare in maniera distinta le operazioni da effettuare sul lato sinistro della vettura da quelle riguardanti il lato destro. In questo modo, ogni singolo operatore si trova nella sua zona di lavoro senza intralciare l’altro operatore e le operazioni sono svolte con maggiore efficienza, senza sprechi di tempo e spostamenti inutili.

Per motivi di riservatezza rispetto alle operazioni e sequenze di montaggio di una vettura Lamborghini, le altre cartelle di lavoro non vengono mostrate in questo elaborato di tesi.

Una breve notazione circa i tempi considerati per la linea principale. L’obiettivo del miglioramento continuo, in linea con i principi della Lean Production, va a toccare anche l’aspetto dei tempi necessari per eseguire tutte le fasi dell’assemblaggio e quindi il tempo ciclo complessivo della vettura.

I tempi considerati in questo dimensionamento sono stati determinati prendendo come riferimento il minor tempo impiegato nei modelli di vettura attualmente in produzione: il minor tempo ora raggiungibile rappresenta infatti la base di miglioramento per una futura linea di assemblaggio ad alti volumi.

4.5 Contenuti della linea principale e ridefinizione del numero di stazioni

Poiché dall'analisi dei tempi dei premontaggi, è emersa la necessità di un maggior numero di operatori rispetto al previsto (22 operatori invece di 18), a parità di tempo totale assegnato di 28 h/vett, sarà necessario un tempo minore per l'assemblaggio della vettura sulla linea principale. Dovremo quindi andare a rettificare il numero di operatori assegnati alla linea di assemblaggio e, se è possibile avere 2 operatori in ogni stazione, il numero di stazioni inizialmente pari a 33.

Dall'analisi dei tempi e dal successivo bilanciamento effettuato, si è giunti al seguente ciclo di assemblaggio. Non sono mostrate nel dettaglio le cartelle di lavoro, ma è possibile vedere a grandi linee l'assegnazione dei compiti agli operatori e quindi i contenuti di ogni stazione di linea. Per ogni stazione è anche indicato l'attrezzo necessario se occorre sollevare o ruotare la vettura per alcuni montaggi.

Staz. 1

Op.A **VIN, Isolamenti**: Scheda dati anagrafici, spostamento vettura da pre-line a 1° stazione, montaggio protezioni, VIN, isolamenti su panca + zona anteriore abitacolo + parafanghi e tunnel, ammortizzatori cofano anteriore.

Op.B **Cablaggi**: Inserimento scocca in pre-line, rimozione telo, rimozione traversa motore, applicazione fasson bianco, cablaggi centrali abitacolo.

Staz. 2 (Gancio sollevamento)

Op.A **Serbatoi**: Isolamenti parafiamma e sotto panchetta, centralina gestione pompe benzina, serbatoi carburante.

Op.B **Scatola Guida**: Avanzamento vettura da 1° a 2° stazione, guarnizioni tappo, cablaggio iniezione, PM e montaggio cremagliera.

Staz. 3 (Girarrosto = Attrezzo di rotazione)

Op.A **Impianti sottoscocca**: Tubi rigidi impianto freni/frizione, tubo vuoto servofreno, tubi idroguida, tubo spurgo circuito raffreddamento motore,

Op.B **Impianti sottoscocca**: Avanzamento vettura da 2° a 3° stazione, inserimento scocca su attrezzo rotazione e rotazione vettura, tubi collegamento serbatoi carburante sotto tunnel, tubi ingresso radiatori.

Staz. 4 (Girarrosto)

Op.A **Sottoscocca sx**: Montaggio motorino, cablaggio e presa d'aria mobile lato sinistro; tubi riscaldamento (gruppo premontato), traversa inferiore telaio zona serbatoi comprese paratie riparo calore, staffe trattenimento serbatoi e tappi chiusura fori sottoscocca lato sx.

Op.B **Sottoscocca dx**: Avanzamento vettura, inserimento scocca su attrezzo rotazione e rotazione vettura; montaggio motorino, cablaggio e presa d'aria mobile lato destro; traversa inferiore telaio zona serbatoi comprese paratie riparo calore, staffe trattenimento serbatoi e tappi chiusura fori sottoscocca lato dx.

Staz. 5 (Gancio Sollevamento)

Op.A **Trasmissione Anteriore**: Avanzamento vettura, PM differenziale anteriore, montaggio gruppo trasmissione anteriore (differenziale ant), cablaggio batteria, montaggio batteria, preparazione scocca per montaggio voletti e lunotto, montaggio clip per canalina e per frame engine intake.

Staz. 6

Op.A **Voletti**: Preparaz. voletti e gocciolatoi, montaggio voletti, montaggio cornici finitura voletti/porta, stesura cablaggio centrale vano motore, triggers e antenna posteriori TPMS (Tire-pressure monitoring system).

Op.B **Lunotto**: Avanzamento vettura, montaggio gocciolatoi, preparazione e incollaggio lunotto, sistemazione cablaggio sedili, cinture di sicurezza con serraggio arrotolatore.

Staz. 7

Op.A **Abitacolo**: Pedaliera freno, coperchi pompe benzina, sensori laterali air bag, serraggio masse abitacolo.

Op.B **Abitacolo**: Montaggio centraline (Air Bag, RVC e altre a seconda del modello), fissaggio gruppo centraline panchetta e collegamento cablaggi, staffe copertura panchetta posteriore e fissaggio panchetta.

Staz. 8

Op.A **ABS**: Pompa elettrica servofreno; centralina elettroidraulica ABS; tubi rigidi freni, serraggio su centralina ABS e sistemazione cablaggi.

Op.B **Lavavetro**: Avanzamento vettura, servofreno, stelo sterzo su scatola guida, serbatoio lavavetro, PM e montaggio motorino tergicristallo, tubi spruzzini lavafari, gruppo avvisatore acustico.

Staz. 9 (Sollevatore linea)

Op.A **Radiatori sx**: Avanzamento vettura, convogliatore presa aria mobile sx, radiatore acqua completo lato sx + collegamento tubi, impianto spurgo acqua lato sx, manicotti e tubi rigidi radiatore acqua lato sx, collegamento tubi spurgo a radiatori acqua, gruppo pompa diagnosi.

Op.B **Radiatori dx**: Convogliatore presa aria mobile dx, radiatore acqua completo lato dx + collegamento tubi, impianto spurgo acqua lato dx, manicotti e tubi rigidi radiatore acqua lato dx, gruppo scambiatore acqua/olio, gruppo radiatore olio differenziale.

Staz. 10 (Sollevatore linea)

Op.A **Radiatori sx**: Avanzamento vettura, radiatore impianto olio motore, radiatore e convogliatore idroguida, convogliatori/prese aria paraurti anteriori lato sx, montaggio tubi clima.

Op.B **Radiatori dx**: Collegamento tubi benzina, convogliatori/prese aria paraurti anteriori lato dx, supporti antivibranti cambio e serbatoio olio, bocchettone introduzione carburante con sportello e tubo scolo.

Elementi indispensabili per passare all'assemblaggio di tutti gli interni della macchina, avendo già steso i cablaggi centrali nell'abitacolo, sono gli isolamenti interni, le moquette e i tappeti. Una volta rivestito l'abitacolo, si può iniziare ad inserire all'interno tutto il necessario, come mostrato nelle seguenti stazioni di linea.

Staz. 11

Op.A **Interni + Tappeti sx**: Avanzamento vettura, isolamenti interno abitacolo lato sx, moquette e tappeti lato sx, staffa pedale acceleratore, staffe posapiedi

pilota, pedale acceleratore, posapiedi pilota, staffa maniglia apertura porta lato sx, staffa serratura maniglia apertura cofano anteriore, serratura cofano anteriore, maniglia serratura cofano anteriore, guarnizione interna giro porta lato sx, copricurvano sellato lato sx, preparazione imperiale, montaggio rivestimento imperiale.

Op.B Interni + Tappeti dx: Isolamenti interno abitacolo lato dx, staffa posapiedi passeggero, moquette e tappeti lato dx, piastra posapiedi passeggero, staffa maniglia apertura porta lato dx, leva maniglia apertura cofano anteriore, guarnizione interna giro porta lato dx, copricurvano sellato lato dx, pulizia vettura con aspirapolvere, amplificatori antenna radio, connessione cablaggio antenna radio e serraggio masse, aiuto montaggio rivestimento imperiale.

Staz. 12

Op.A Interni + Montanti sx: staffe supporto cover lock, paratie riparo calore vano motore, gruppo leva apertura porta sx, pannello copribrancardo interno posteriore lato sx, maniglia apertura porta sx su brancardo, pannelli vani voletto lato sx (montanti B), ossature montanti A ed A2 lato sx, pannelli vano voletto lato sx (montanti C), gancio appendiabiti lato sx.

Op.B Interni + Montanti dx: Avanzamento vettura, sensori crash per airbag zona vano anteriore, gruppo leva apertura porta dx, pannello copribrancardo interno posteriore lato dx, maniglia apertura porta dx su brancardo, pannelli vani voletto lato dx (montanti B), ossature montanti A ed A2 lato dx, pannelli vano voletto lato dx (montanti C), gancio appendiabiti lato dx.

Staz. 13 (manipolatore Plancia)

Op.A Ins. Plancia: Avanzamento vettura, aggancio al manipolatore e prelievo da area PM, inserimento plancia, regolazione e fissaggio plancia, rimozione manipolatore, collegamento stelo sterzo su piantone.

Op.B Ins. Plancia: prelievo materiale preparazione interno abitacolo, aiuto inserimento plancia in vettura, aiuto regolazione e fissaggio plancia in vettura, posizionamento cablaggi zona posapiedi lato passeggero e fianco tunnel + connessione cablaggio airbag, montaggio staffe trattenimento tunnel frontali, fissaggio massa e connettore su centralina air bag, fissaggio staffa supporto cross member, staffa main unit, sensori laterali air bag, antenna keyless.

Solo dopo l'avvenuto inserimento della plancia, è possibile montare i seguenti componenti che altrimenti ne impedirebbero il perfetto incastro e ostacolerebbero gli operatori nella sistemazione dei cablaggi: gli ammortizzatori anteriori, il copri tunnel con le relative unità (main unit e radio unit), la vaschetta servofreno e il gruppo box aspirazione. A seguito del montaggio degli ammortizzatori anteriori, è poi possibile passare al Lifting System e all'inserimento della barra stabilizzatrice anteriore. Questi sono i main contents della stazione 14.

Staz. 14

Op.A Copri tunnel + Amm.Ant. sx: Avanzamento vettura, staffa trattenimento copri tunnel, montaggio copri tunnel, montaggio main unit e radio unit, ammortizzatore anteriore sx compreso serraggio, antenna frontale TPMS, triggers frontale TPMS, barra stabilizzatrice anteriore, pulizia con aspirapolvere.

Op.B Amm.Ant. dx + Lifting System: Aiuto montaggio copri tunnel, montaggio gruppo box aspirazione in vettura, serraggio masse su gruppo plancia, ammortizzatore anteriore dx compreso serraggio, vaschetta servofreno, tubo lifting system, collegamento tubi clima, spurgo Lifting System, centralina Lifting System.

Nella stazione successiva, dopo la preparazione del motore in area PM e la contemporanea preparazione della vettura, si passa al montaggio dei rocker delle sospensioni posteriori che altrimenti risulterebbe difficoltoso dopo aver già inserito il motopropulsore e collegati i cablaggi.

Staz. 15 (Sollevatore linea e paranco PWT)

Op.A Ins. Motore: Avanzamento vettura, montaggio protezioni su carrozzeria per inserimento motore, preparazione vettura per inserimento motopropulsore, montaggio rocker sospensione post. sx, inserimento motopropulsore in vettura, controllo posizione motore e controllo routing tubazioni/cablaggi dopo inserimento motopropulsore in vettura, riposizionamento paranco in posizione di carico, collegamento masse motore lato sx.

Op.B Ins. Motore: Prelievo motopropulsore in linea montaggio motori e trasporto in area preparazione motore, preparazione motopropulsore per inserimento in vettura, montaggio rocker sospensione post. dx, aiuto inserimento

motopropulsore, aiuto controllo posizione motore e controllo routing tubazioni/cablaggi, collegamento masse motore lato dx.

Staz. 16 (Sollevatore linea)

Op.A Cablaggi Motore sx: Avanzamento vettura, posizionamento cablaggio motore su traverse telaio lato sx, montaggio staffe e paratia Engine Bay zona sottolunotto, collegamento tubazioni carburante da tubazioni iniettori a filtro benzina lato sx, tubazione ritorno carburante da motore a serbatoio sx, montaggio parte inferiore filtro aria lato sx.

Op.B Cablaggi Motore dx: Posizionamento cablaggio motore su traverse telaio lato dx, tubazioni rigide acqua a scambiatore acqua/olio, collegamento tubazioni carburante da tubazioni iniettori a filtro benzina lato dx, tubazione ritorno carburante da motore a serbatoio dx, montaggio parte inferiore filtro aria lato dx.

Staz. 17 (Sollevatore linea)

Op.A Cablaggi motore sx: Avanzamento vettura, montaggio coperchio scatola filtro aria sx con collegamento tubi aria alimentazione motore, montaggio gruppo traversa motore/sospensioni compreso serraggio con serbatoio olio idroguida, collegamento tubi A/C su compressore, fissaggio masse motore e collegamento cablaggio elettroventola lato sx, montaggio paratia estetica su parte superiore collettori alimentazione motore, montaggio telaietto rinforzo zona superiore vano motore ("X" orizzontale).

Op.B Cablaggi motore dx: Montaggio coperchio scatola filtro aria dx con collegamento tubi aria alimentazione motore, serbatoio supplementare acqua (nourice) comprese staffe e collegamento a relative tubazioni, posizionamento e collegamento centraline varie lato dx, collegamento tubi A/C, montaggio centralina e-gear su staffa.

Prima di assemblare le parti riguardanti la trasmissione posteriore, è indispensabile terminare il montaggio degli impianti direttamente collegati al motore come il serbatoio olio motore e le tubazioni blow by. Li poniamo nella seguente stazione, dove si assembla anche la marmitta.

Staz. 18 (Sollevatore linea)

Op.A **Marmitta + Blow by**: Avanzamento vettura, collegamento tubazioni idroguida su serbatoio, montaggio tubazioni blow by, preparazione marmitta con operatore B (premontaggio traversino posteriore marmitta con staffa serbatoio olio motore, staffa sx + clip tubi blow by, staffe sostegno superiore marmitta e sensori pressione con staffe), inserimento marmitta da zona posteriore compreso fissaggio traversa e collegamento a scarichi con anelli di fissaggio.

Op.B **Marmitta + Serbatoio olio motore**: Montaggio staffe e serbatoio olio motore, tubazioni olio scambiatore e loro staffa di trattenimento, preparazione marmitta con operatore A, montaggio paratia anticalore su tubone marmitta lato dx, montaggio tubazioni flessibili acqua a scambiatore acqua/olio.

Per una maggiore semplicità di montaggio, prima di montare le parti della trasmissione, è preferibile inserire i fari anteriori che richiedono un certo spazio di movimentazione per l'operatore ai fini di un corretto incastro e fissaggio. La presenza delle sospensioni anteriori creerebbe qualche difficoltà in più, pertanto viene posticipata. Ai fini del bilanciamento, ai fari si è affiancato il paraurti anteriore, che non presenta alcun tipo di criticità e non crea problemi ad altri montaggi; può essere quindi inserito in qualsiasi momento.

Staz. 19

Op.A **Paraurti e fari anteriori sx**: Avanzamento vettura, telaietto posteriore ad "X" verticale lato sx, montaggio e allineamento paraurti anteriore, montaggio fano anteriore sx compreso allineamento.

Op.B **Paraurti e fari anteriori dx**: telaietto posteriore ad "X" verticale lato dx, aiuto allineamento paraurti anteriore, allineamento cofano anteriore con paraurti/parafanghi, montaggio fano anteriore dx compreso allineamento.

Per favorire la localizzazione dei premontaggi dei paraurti sia anteriore che posteriore nello stesso tratto di linea, si inserisce subito anche il paraurti posteriore.

Staz. 20

Op.A **Paraurti posteriore:** Avanzamento vettura, montaggio staffe inferiori supporto paraurti posteriore, montaggio traversa crash box posteriore, montaggio paraurti posteriore, montaggio gruppo elettroventola A/C (chiocciola), aiuto montaggio traversa spoiler in vettura, allineamento complessivo spoiler posteriore.

Op.B **Paraurti posteriore:** aiuto montaggio traversa crash box posteriore, aiuto montaggio paraurti posteriore e allineamento, montaggio staffa connettori cablaggi RVC/paraurti posteriore, montaggio complessivo traversa spoiler compreso allineamento a parafanghi posteriori e serraggio, montaggio cornici e griglie uscita aria su paraurti posteriore.

E' possibile ora passare alla trasmissione anteriore e posteriore e successivamente all'albero di trasmissione.

Staz. 21 (Gancio Sollevamento)

Op.A **Trasmiss. Anteriore e posteriore sx (Semiassi):** Avanzamento vettura, montaggio e serraggio ammortizzatore posteriore sx, montaggio attuatore sportello benzina e gruppo vaschetta carburante, montaggio e fissaggio semiassi anteriori e posteriori lato sx e serraggio bulloneria, montaggio staffe per connettori cablaggio abs pinze freno anteriore/posteriore lato sx.

Op.B **Trasmiss. Anteriore e posteriore dx (Semiassi):** Montaggio e serraggio ammortizzatore posteriore dx, montaggio e serraggio barra stabilizzatrice posteriore, montaggio e fissaggio semiassi anteriori e posteriori lato dx e serraggio bulloneria, montaggio staffe per connettori cablaggio abs pinze freno anteriore/posteriore lato dx, montaggio rocker sospensione ant. dx e serraggio in coppia.

Staz. 22 (Gancio Sollevamento)

Op.A **Trasmiss. Anteriore e posteriore sx (Sospensioni):** Montaggio sospensione posteriore sx, montaggio rocker sospensione ant. sx e serraggio in coppia, montaggio sospensione anteriore sx, montaggio gruppo serratura porta sx compreso serratura di emergenza e collegamento cavi e cablaggi, montaggio cover serratura porta lato sx.

Op.B Trasmis. Anteriore e posteriore dx (Sospensioni): Montaggio sospensione anteriore dx, montaggio sospensione posteriore Dx, serraggio mozzi ruote anteriori e posteriori, montaggio gruppo serratura porta dx compreso collegamento cavi e cablaggi, montaggio cover serratura porta lato dx.

Staz. 23 (Gancio Sollevamento)

Op.A Trasmissione vano motore (Albero): Montaggio side panel (dietro la porta) lato pilota compreso collegamento cavo bowden maniglia, fissaggio motopropulsore compreso aggiustamento posizione gruppo PWT, montaggio e collegamento trasmissione a motopropulsore (ALBERO DI TRASMISSIONE), collegamento tubazioni acqua da radiatori su motore lato sx, collegamento tubazioni impianto olio motore su filtro, montaggio traversino zona cambio.

Op.B Collegamenti sottoscocca: Avanzamento vettura, montaggio side panel (dietro la porta) lato passeggero compreso collegamento cavo bowden maniglia, montaggio staffa supporto cambio, collegamento tubazioni acqua da radiatori su motore lato dx, collegamento tubazioni impianto raffreddamento olio diff. post, montaggio tubazione rigida acqua e fissaggio su traversa telaio, stesura e fissaggio cablaggio su sospensione posteriore lato dx/sx.

Infine le parti restanti della vettura, partendo dal parabrezza:

Staz. 24

Op.A Parabrezza: Prelievo, pulizia e verifica superficie parabrezza, pulizia parabrezza con vitrex, stesura attivatore e primer, montaggio specchio retrovisore interno, stesura sigillante su parabrezza, montaggio e allineamento parabrezza, montaggio ossature inferiore e superiore lunotto, montaggio pannello rivestito su parafiamma posteriore dietro panca ("rear wall"), montaggio copertura panchetta posteriore con maniglia apertura cofano motore.

Op.B Parabrezza: Avanzamento vettura, pulizia sede parabrezza su scocca, targhetta VIN sotto parabrezza, aiuto montaggio e allineamento parabrezza, montaggio ossatura superiore parabrezza, ganci alette parasole e alette parasole, plafoniera centrale e microfono bluetooth, montaggio consolle centrale/quadro comandi premontato su plancia, cornice estetica display main unit.

Staz. 25 (Sollevatore linea)

Op.A **Set-Up 1, Check:** Avanzamento vettura, montaggio pompa aria secondaria, collegamento cavi batteria per Set-Up 1, Check centraline e ECU (Engine Control Unit) Check, fissaggio centraline sx su staffa, riempimento serbatoio lavacrystalli, scrittura VIN su chiavi (Immobilizer).

Op.B **Set-Up 1, Check:** Programmazione centraline, montaggio paratia sottoscocca anteriore, fissaggio centraline dx su staffa.

Avendo già montato la marmitta, è possibile procedere con i fari posteriori, rispettando così i vincoli costruttivi.

Staz. 26

Op.A **Fanali posteriori + Side Covers sx:** Avanzamento vettura, montaggio side cover sx (copertura parafanghi posteriori); regolazione, fissaggio, connessione cablaggi e allineamento fanale posteriore sx.

Op.B **Fanali posteriori + Side Covers dx:** Montaggio modulo devioluci + cover piantone sterzo su plancia, montaggio side cover dx; regolazione, fissaggio, connessione cablaggi e allineamento fanale posteriore dx.

E' bene montare prima i sedili piuttosto che le porte e i brancardi esterni poiché questi ridurrebbero lo spazio del vano porta in entrata nell'abitacolo, ostacolando se non rendendo impossibile il successivo inserimento dei sedili utilizzando il manipolatore. I sedili, quindi, precedono le porte nella sequenza di montaggio. Un solo operatore svolge l'inserimento dei sedili prima del sinistro, poi del destro, rimanendo nel takt time e utilizzando così un solo manipolatore con un conseguente risparmio sull'attrezzatura acquistata.

Staz. 27 (Manipolatore sedili)

Op.A **Sedili:** Avanzamento vettura, montaggio sedili sx e dx.

Staz. 28 (Sollevatore linea)

Op.A **Porte + Brancardi sx:** Montaggio ammortizzatore porta sx, montaggio porta sx, montaggio brancardo esterno sx, montaggio griglia presa aria tra side

panel e brancardo sx, registrazione porte sx (allineamento con scocca e riscontro; allineamento vetro).

Op.B Porte + Brancardi dx: Montaggio ammortizzatore porta dx, montaggio porta dx, montaggio brancardo esterno dx, montaggio griglia presa aria tra side panel e brancardo dx, registrazione porte dx (allineamento con scocca e riscontro; allineamento vetro).

Staz. 29 (Gancio Sollevamento)

Op.A Ruote sx: Montaggio passaruota post sx, montaggio passaruota anteriori lato sx, posizionamento e fissaggio ruote lato sx, serraggio a coppia ruote (lato sx/dx)

Op.B Ruote dx: Montaggio passaruota post dx, montaggio passaruota anteriori lato dx, posizionamento e fissaggio ruote lato dx, aiuto posizionamento brancardi in staz. 27, collegamento cavo apertura cofano motore a serratura.

Occorre effettuare i riempimenti per la successiva accensione della vettura a fine linea.

Staz. 30

Op.A Riempimenti: Serraggio morsetto batteria e applicaz.grasso protettivo su morsetti, collegamento caricabatteria, riempimento liquidi vettura (impianto olio motore, impianto olio idroguida, impianto A/C, impianto olio freni, impianto liquido raffreddamento, impianto liquido tergi), riempimento benzina, scollegamento caricabatteria, controllo liquidi e rabbocchi.

Come ultimi montaggi rimasti, vi sono il cofano motore, la mostrina e la vasca vano baule anteriore. Questi montaggi sono interscambiabili poiché il primo è sulla parte posteriore della vettura a differenza degli altri che riguardano la parte anteriore.

Staz. 31

Op.A Cofano Motore: Montaggio mollette per fissaggio Engine Bay, montaggio perni su cerniere e ammortizzatori cofano motore, montaggio cofano motore + collegamento e posizionamento connettori da cablaggio cofano, registrazione

cofano (con aiuto operatore staz. 30), montaggio cablaggio e ugelli spruzzini lavavetri e collegamento a tubi su vaschetta lavavetro, montaggio bracci tergicristallo.

Staz. 32

Op.A **Mostrina**: Montaggio mostrina copri curvano parabrezza, montaggio paratia anteriore (cover lock) chiusura luce vano cofano anteriore, registrazione cofano anteriore, montaggio paratie laterali sx/dx chiusura luci vano baule.

Op.B **Protezioni**: montaggio paratie centrale e dx/sx engine bay, montaggio vasca vano baule su scocca compreso collegamento cablaggio plafoniera, montaggio protezioni parabrezza.

Al termine della linea di assemblaggio, per verificare la funzionalità dell'automobile, si effettua un controllo elettronico con un pc e si procede, previo posizionamento degli opportuni aspiratori e di un estintore antincendio di sicurezza, alla prima accensione.

Staz. 33

Op.A **Check + Accensione**: Collegamento batteria per ricarica; collegamento cablaggio + attrezzatura per Set-Up 2, esecuzione ERASE e DOCUMENTATION su PC (compreso proseguimento Checklist); controllo visivo luci (interno ed esterno) compreso spie, pulsante retronebbia, pulsante retromarcia, leve apertura sportello benzina; calibrazione RVC;

Op.B **Check + Accensione**: montaggio volante compreso modulo air bag pilota e centraggio volante, posizionamento adattore su terminale di scarico e posizionamento aspiratori su motore e scarichi per accensione vettura; ECU Check (ABS, TPMS, Rear Spoiler, Capote), ECOS Test (Verifica checklist su pc), Set-Up centraline, inserimento dati in IBS.

Op.1 (mentre op.2 inserisce i dati in IBS): scollegamento cablaggio + attrezzatura per Set-Up 2, rimozione adattatore su terminale di scarico e aspiratori su motore e scarichi, scollegamento cavi batteria, pulizia vettura con aspirapolvere, rimozione protezioni da carrozzeria.

I contenuti sopra esposti sono rappresentabili attraverso la seguente figura che, per ogni stazione, contiene anche l'indicazione del numero di operatori assegnati.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|------------------|-----------|--------------------------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------|------|------|
| 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 1 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | | | | | |
| VIN, Isolamenti, Cablaggi | Serbatoi, Scatola guida | Impianti sotto-scocca | Impianti sotto-scocca | Trasmis-sione anteriore | Voletti, Lunotto | Abitacolo | ABS, Lavavetro | Radiatori | Radiatori | Interni, Tappeti | Interni, Montanti | Inserimento Plancia | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 14 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Amm. Ant, Lifting System, | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 15 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Inserimento Motore | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 16 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Cablaggi motore | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 17 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Cablaggi motore | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 18 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Marmitta, Blow By | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 19 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Paraurti e fari anteriori | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 2 OP | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | 20 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | Trasmis. ant e post (semiassi) | | | |
| 2 OP | 2 OP | 1 OP | 1 OP | 2 OP | 2 OP | 1 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | 2 OP | | | | |
| 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | | | | | |
| Check + Accensione | Mostrina | Cofano Motore | Riempimenti | Ruote | Porte, Brancardi | Sedili | Fanali post, side covers | Paraurti Posteriore | Set-Up 1, Check | Parabrezza | Trasmis. (albero) vano motore | Trasmis. ant e post (sospens.) | | | | | |

Figura 4.2 – Rappresentazione schematica dei contenuti di linea (in una linea a forma di “C”)

Il numero totale di operatori pari a 62 è effettivamente minore rispetto all'ipotizzato ($33\text{staz.} \cdot 2\text{op./staz.} = 66\text{ op.}$), ma il numero di stazioni è rimasto uguale a 33. Il motivo risiede nelle 4 stazioni (quelle in grigio) che presentano solo 1 operatore. Ci sono delle operazioni che, infatti, non possono essere effettuate contemporaneamente ad altre o per le quali, aggiungere un secondo operatore, non produce un risultato doppio. Nella stazione 5, per i montaggi della trasmissione è sufficiente un solo operatore che da solo riesce a completare tutto entro il takt time. Era difficile affiancarlo ad un altro poiché tutte le stazioni intorno sono saturate con 2 operatori. Per l'inserimento dei sedili, oltre alle stesse considerazioni pratiche, si aggiunge anche la necessità di un solo manipolatore per l'inserimento dei sedili. Nel caso ci fossero 2 operatori, che comunque non sarebbero saturi, occorrerebbero 2 manipolatori. Nella stazione 30, i riempimenti sono effettuati da un impianto di alimentazione fluidi per il quale è sufficiente la supervisione di un solo operatore. Le operazioni di montaggio del cofano motore

potrebbero essere compatibili con quelle della stazione 32 riguardanti la mostrina e il vano baule anteriore, ma solo per queste ultime occorrono 2 operatori. Per questo si è deciso di lasciare una stazione indipendente per ora con 1 operatore.

La soluzione di layout a forma di “C” scelta nel capitolo precedente, subisce quindi delle modifiche nelle aree occupate dai premontaggi, essendo aumentato il numero delle stazioni. La nuova configurazione definitiva, con 33 stazioni di linea e 12 di premontaggio, sarà la seguente:

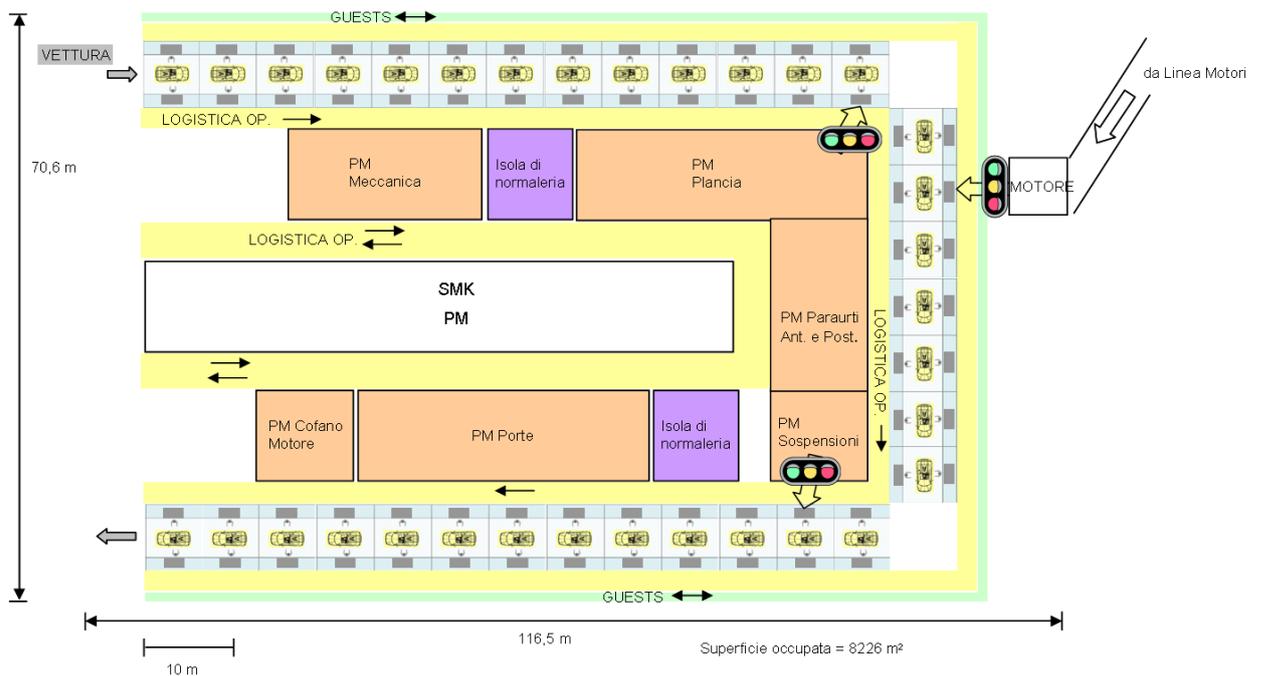


Figura 4.3 – Layout di linea a forma di “C” con n. stazioni definitivo

Non resta che definire la tecnologia necessaria lungo la linea per poter valutare l’investimento da compiere per tale progetto. Questi temi sono affrontati nel prossimo capitolo.

Capitolo 5

Definizione tecnologia e valutazione dell'investimento

L'assemblaggio finale di automobili è sempre stato visto come la più complessa attività di produzione da automatizzare per l'abilità e la destrezza richieste persino dopo l'introduzione di manipolatori robotici. Il corpo tipico di un'automobile non è "assembly friendly"; richiede che componenti e preassemblati seguano un cammino complesso per essere correttamente inseriti nella vettura. Per questa ragione, molte operazioni di assemblaggio sono ancora svolte manualmente. Questa situazione è amplificata in aziende che producono automobili di lusso rivolte ad un mercato di nicchia come Automobili Lamborghini.

In questo capitolo vengono definite le attrezzature necessarie per la linea di assemblaggio; si tratta di attrezzature controllate dall'operatore, che lasciano spazio allo svolgimento manuale delle operazioni di cui un'automobili Lamborghini ha bisogno. Vengono presentati poi tutti gli elementi necessari al funzionamento della linea e il loro costo, ai fini di valutare l'investimento richiesto per realizzare l'intera linea di assemblaggio e gli eventuali scostamenti esistenti tra diverse soluzioni di layout.

5.1 Definizione tecnologia

5.1.1 Sistema di trasporto della linea

Tradizionalmente, il trasferimento di veicoli da una stazione di assemblaggio all'altra è effettuato tramite linee di trasporto. I trasportatori più comuni nel settore automotive sono quelli a nastro o a tapparelle e quelli a catena. I nastri trasportatori possono essere di diversi tipi: per sostenere un carico come quello di un'automobile occorre un materiale resistente come il Pvc. Vengono utilizzati per il trasporto continuo e sono costituiti da: nastro, una serie di rulli superiori ed inferiori di supporto, una struttura metallica di sostegno, una puleggia motrice (con relativo gruppo motore) e una di rinvio. I trasportatori a tapparelle (slat conveyor)

sono formati in genere da una coppia di catene laterali che sostengono delle aste (solitamente di acciaio) dette tapparelle. Essa funziona come un nastro trasportatore dove l'unità trasportata mantiene la sua posizione relativa alla superficie di trasporto. Poiché la superficie trasportatrice si muove con il prodotto, l'orientamento e il posizionamento del carico sono controllati. Le automobili avanzano con le ruote poste sulle tapparelle. I trasportatori a catena si suddividono in due tipi fondamentali: monorotaia o "overhead chain conveyor" o "trolley conveyor" e birotaia o "power-and-free conveyor". I primi consistono in una serie di carrelli agganciati alla catena traente scorrevole all'interno di una guida metallica sopraelevata. I secondi sono costituiti da due rotaie o guide metalliche: una (power) per la catena traente, l'altra (free) per i carrelli di sostegno dei carichi. Il grande vantaggio consiste nella possibilità di svincolare il carico dalla catena senza necessariamente arrestare il trasportatore. Una variazione, utilizzata nel settore automobilistico, del "overhead power-and-free conveyor" è montata a terra ed è chiamata "inverted power-and-free conveyor". Vi sono anche i towline conveyor che sono usati per fornire potenza a carrelli con le ruote che si muovono sul pavimento. Il percorso dei carrelli è fissato e la linea può essere sopraelevata, al livello del terreno o nel terreno.

Per questa linea ad alti volumi, si è pensato di utilizzare un sistema innovativo, una **linea ad induzione magnetica**. L'utilizzo di questo tipo di tecnologia sta prendendo piede per l'esigenza di una maggiore flessibilità ovvero di poter operare su un ampio range di formati di prodotto e di rispondere alle esigenze di differenti mix di produzione. I sistemi di attuazione concentrata, con le loro catene cinematiche complesse, sono stati abbandonati in favore di architetture ad attuazione distribuita che utilizzano ad esempio motori lineari. Il movimento finale è ottenuto da un sistema di controllo programmabile (direct drive technology) non usando dei meccanismi rigidi appositamente dedicati; in più solitamente la maggior parte dei movimenti da realizzare sono lineari e per questo i motori lineari rappresentano un'ottima soluzione. Dall'esterno, si vede uno scavo nel terreno dentro al quale vi sono due piste affiancate di magneti permanenti. Sopra il livello del terreno scorre un movente che sposta un carrello su cui è fissata l'automobile. I vantaggi derivanti dall'utilizzo di un sistema a induzione magnetica sono: elevate velocità, elevata precisione ed accuratezza di posizionamento, consentono la filosofia progettuale "direct drive" e quindi una

maggior flessibilità operativa (non ci sono rigidi meccanismi ma dispositivi programmabili), aumento dell'affidabilità, eliminazione delle inerzie, dei giochi, delle cedevolezze, dell'elasticità e degli effetti d'usura degli organi della catena cinematica che si traduce in una minore necessità e quindi costi di manutenzione. Le limitazioni sono date da: minori spinte rispetto ai sistemi tradizionali, problemi legati alle emissioni elettromagnetiche (pericolo per operatori con pacemaker), costi elevati dei materiali e causati da un mercato ancora ristretto. Nonostante il costo iniziale, nel lungo periodo, il sistema è sicuramente vantaggioso rispetto alle catene e ai nastri trasportatori tradizionali che richiedono molta più manutenzione e sono poco precisi.

5.1.2 Manipolatori

Un manipolatore è un dispositivo controllato manualmente dall'uomo per manipolare (prendere, sollevare, trasportare, spostare, abbassare, rilasciare) prodotti, sub-assemblati o materiali. Sono caratterizzati da attrezzi meccanici di sollevamento (ganci, pantografi, ganasce, mascelle, morsetti ecc...) o magnetici, guidati manualmente, elettricamente o con pneumatici. Un manipolatore è semplice da utilizzare, permette all'operatore di sollevare naturalmente fino a 300 kg come se fosse un'estensione del proprio braccio, è veloce, fornisce la prontezza di risposta e flessibilità di un uomo più la potenza di una macchina. Esso è perfetto per movimenti rapidi e ripetitivi e per posizionamenti lenti e di precisione. In sintesi, questi dispositivi accrescono la produttività, valorizzano le condizioni di lavoro ergonomiche, riducono i costi legati al danneggiamento dei prodotti, minimizzano gli infortuni legati alla movimentazione dei materiali e quindi i costi relativi al tempo perso per infortuni. I manipolatori possono essere di due tipi: elettronici e pneumatici. Quelli elettronici sono principalmente composti da: un'unità di controllo che contiene il sistema logico con microprocessore che continuamente e automaticamente rileva e compensa il carico, persino se varia; una manovella sensibile fornisce un controllo estremamente sottile della velocità verticale (movimenti su/giù) e riduce drasticamente l'inerzia; il metodo flottante permette agli operatori di compiere, con le loro mani e senza sforzo, compiti di precisione sul carico per il massimo

controllo e posizionamento; vi possono essere anche flange di carico di differenti capacità e differenti tipi di corpi e forme per l'attrezzatura. I manipolatori pneumatici garantiscono un'affidabilità di lungo termine ed una manutenzione veramente semplice. Comprendono dispositivi di sicurezza che si azionano in caso di mancata fornitura di aria e freni che mantengono la posizione del braccio e dell'attrezzatura quando non è in uso. Consentono innumerevoli applicazioni grazie agli innumerevoli utensili; montati su rotaie sopraelevate e grazie a utensili di presa e rotazione, sono particolarmente adatti per l'assemblaggio di cofani e plance su automobili.

Si è pensato di utilizzare i manipolatori per l'assemblaggio in vettura di alcune parti pesanti per l'uomo:

- Plancia;
- Motore;
- Sospensioni;
- Sedili;
- Porte;
- Rear end;
- Batteria.

Alcuni esempi di manipolatori per plancia:



Figure 5.1 - 5.2 Dashboard manipulators

Un esempio di paranco per inserimento motore utilizzato in linea Gallardo:



Figure 5.3 Inserimento motore V10 Gallardo

Per motivi di riservatezza, non è stato possibile mostrare il manipolatore descritto nel precedente capitolo che sarà utilizzato nella nuova linea alti volumi (già impiegato per il nuovo motore V12).

Il nuovo motore V12 (700 CV, 235 Kg) è il seguente:

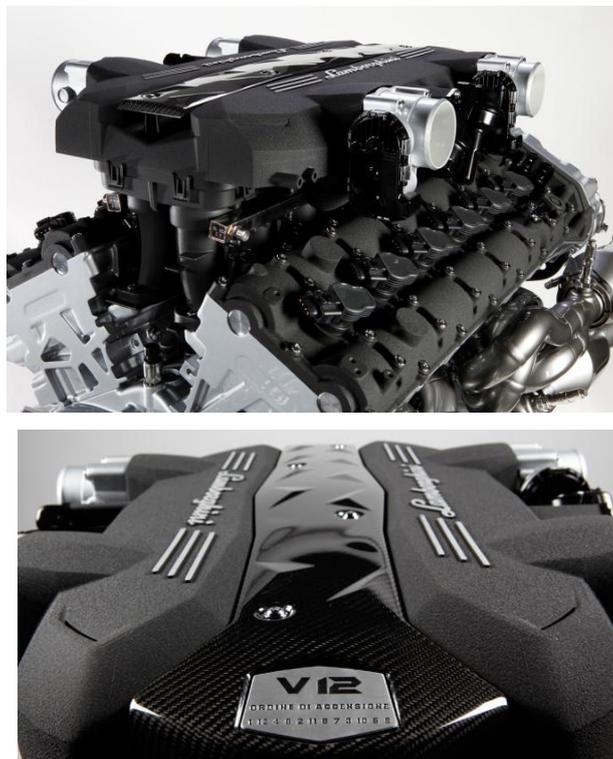


Figura 5.4 - 5.5 New V12 Engine

5.2 Valutazione dei costi

La scelta del layout è influenzata oltre che dai fattori analizzati nel Capitolo 4, da eventuali differenze nei costi. I costi di produzione di un impianto industriale si dividono essenzialmente in costi di installazione (o di impianto) e costi di esercizio. Il costo di installazione è dato dalla somma di tutti gli esborsi che l'impresa deve effettuare per poter disporre dell'impianto pronto a produrre e possa dare quindi avvio all'attività voluta. I principali costi di questo tipo sono:

- *Costo dell'ingegneria*: comprende le spese per lo studio preliminare di fattibilità e per il progetto esecutivo;
- *Costo per l'acquisizione del terreno*: spese notarili, spese per adattamenti piano-altimetrici, contributi fissati da ogni comune in ragione di una quota per metro quadrato di pavimento coperto, contributi a titolo di urbanizzazione primaria e secondaria;
- *Costo per l'edilizia*: edifici, fognature, allacciamenti alle reti elettriche, idriche, ecc...;
- *Costo dei materiali, delle macchine e attrezzature* costituenti l'impianto di produzione e gli impianti di servizio;
- *Costo dei beni immateriali*: comprende le spese per l'acquisizione del know-how relativo alla tecnologia specifica e alle modalità di conduzione dell'impianto;
- *Costi vari*: assunzione e addestramento del personale, collaudi tecnici, adempimenti fiscali vari.

Con costo di esercizio si intende la somma di tutti i costi da affrontare nel periodo di tempo di un anno per fare funzionare correttamente e gestire l'impianto produttivo. Esso è dato dalla somma del costo di produzione e del costo dell'inefficienza di servizio. Il primo a sua volta si suddivide in costo variabile e tecnico (materie prime, energie, lubrificanti) e costo fisso (ammortamento capitale investito, manutenzione, personale, affitto del suolo occupato); il secondo corrisponde al mancato introito derivante dalla mancata o ridotta produzione conseguente al non efficiente funzionamento dell'impianto.

L'attenzione viene qui concentrata principalmente sui costi di installazione perché questi ci permettono di preventivare l'investimento necessario per costruire una linea di assemblaggio ad alti volumi. In particolare si guardano i materiali, le attrezzature, le linee di trasporto, gli impianti ausiliari e il costo di svolgimento dei lavori. Lo stabilimento di localizzazione dell'impianto è di proprietà dell'azienda, quindi non abbiamo costi per l'acquisizione del terreno e dell'edificio. Il punto di partenza è lo stabilimento esistente; sono da considerare quindi solo gli elementi strettamente legati alla nuova linea con gli impianti di servizio per essa necessari.

I costi di esercizio importanti, soprattutto per confrontare diverse alternative di layout, sono: il costo di occupazione del suolo e il costo del personale della logistica, in fase di approvvigionamento del SMK PM, e degli operatori addetti al trasporto dei carrelli preparati in SMK PM ai premontaggi. La superficie richiesta dal layout va ad influire sui costi d'esercizio che l'impresa si trova a sostenere ogni anno, in misura tanto maggiore quanto più alto è il costo €/m². Il costo degli operatori per il feeding dei supermarket e delle stazioni PM dipende invece dall'ubicazione e concentrazione delle aree SMK che influiscono sulla lunghezza del corridoio da percorrere.

5.2.1 I costi d'installazione

Il costo complessivo di installazione della linea di assemblaggio comprende diverse voci sintetizzate nelle tabelle 5.1 e 5.2. In evidenza ci sono le voci maggiori di costo che sono numerate dalla dicitura TOP seguite dal numero progressivo. Gli elementi che principalmente influenzano l'investimento sono 32.

TOP ITEMS FINAL ASSEMBLY

| | Item | Descrizione | Costo unitario (€) | N° | Costo totale (€) |
|--------|---|--|--------------------|-----|------------------|
| | Final ass. product | | | | |
| | ASSEMBLY LINE | | | | |
| TOP 1 | Linea di trasferimento | Linea di assemblaggio semi-automatica con induzione magnetica e lifting system inclusi lavori | 67,000 | 33 | 2,211,000 |
| TOP 2 | Linea di avvitatura | Linea di avvitatura con sistema di raccolta dei dati integrato con linea Gallardo | 540,000 | 1 | 540,000 |
| TOP 3 | Carrelli vettura | Carrelli per trasporto su linea ad induzione | 25,000 | 37 | 925,000 |
| TOP 4 | Paranco motore | Attrezzatura per sollevamento motore da zona di parcheggio, trasporto in linea e inserimento in vettura | 80,000 | 1 | 80,000 |
| TOP 5 | Protezioni | Protezioni termoformate da utilizzare lungo l'assemblaggio (coperture di plastica 15 stampi 150 kit) e coperture in tessuto per roadtest e trasporto | | | 400,000 |
| TOP 6 | Gancio di rotazione | comunemente detto "Girarrosto" | 50,000 | 2 | 100,000 |
| TOP 7 | Incollaggio vetri | Attrezzo manuale guidato per incollaggio dei vetri, banco di incollaggio e ventilazione | | | 42,000 |
| TOP 8 | Gancio di sollevamento | Gancio per underbody check | 30,000 | 6 | 180,000 |
| TOP 9 | Pc di linea | Utilizzati dagli operatori per consultazione PDM, cartelle di lavoro e inserimento dati sui montaggi effettuati | 2,500 | 45 | 112,500 |
| TOP 10 | Banco stesura colla imperiale | Stesura colla su rivestimento interno tetto (cielo) | 23,000 | 1 | 23,000 |
| | | Totale ASSEMBLY LINE | | | 4,613,500 |
| | SUB-ASSEMBLIES | | | | |
| TOP 11 | Attrezzature per premontaggi | Premontaggi in riferimento a: plancia, paraurti, rear end, spoiler, supporti plancia, perni cofano, piccoli preassemblaggi di meccanica, tergicristallo, lunotto | | | 216,000 |
| TOP 12 | Manipolatore Plancia | per l'introduzione della plancia nell'abitacolo | | | 55,000 |
| TOP 13 | Manipolatore Porte | per l'assemblaggio delle porte sulla vettura | | | 50,000 |
| TOP 14 | Manipolatore rear end | per l'assemblaggio della parte posteriore vettura | | | 45,000 |
| TOP 15 | Manipolatore Sedili | per l'introduzione dei sedili nell'abitacolo | | | 40,000 |
| TOP 16 | Manipolatore batteria | | | | 35,000 |
| TOP 17 | Carrelli sospensioni e banchi di lavoro | per preassemblaggio e montaggio in vettura | 5,000 | 4 | 20,000 |
| | Altro | Banchi di appoggio con attrezzature, piccola carpenteria metallica | | | 312,000 |
| | | Totale SUB-ASSEMBLIES | | | 773,000 |
| | LOGISTICS | | | | |
| TOP 18 | Special Containers Assembly Line | Contenitori speciali lungo la linea (parabrezza, ruote ecc...) | | 125 | 783,000 |
| TOP 19 | Special Containers Hang-on-Parts | Contenitori speciali per parti verniciate "appese" extra-scocca (porte, spoiler ecc...) | | 35 | 362,500 |
| TOP 20 | Special Containers Bumpers | Contenitori speciali per paraurti | | 15 | 225,000 |
| | | Totale LOGISTICS | | | 1,370,500 |

Tabella 5.1 – Final Assembly Product Costs

TOP ITEMS FINAL ASSEMBLY

| | Item | Descrizione | Costo unitario (€) | N° | Costo totale (€) |
|--|-------------------------------|--|--------------------|-----|-------------------|
| | Final ass. structure | | | | |
| ASSEMBLY LINE & SUB-ASSEMBLIES | | | | | |
| TOP 21 | Impianto alimentazione fluidi | Macchina multi-fluido con pompe da vuoto per riempimento fluidi sulla linea di assemblaggio: AC, refrigerante, olio motore, freni, servosterzo . | 447,500 | 1 | 447,500 |
| TOP 22 | Sistema anti-incendio | | | | 450,000 |
| TOP 23 | Impianto elettrico | | | | 210,000 |
| TOP 24 | Impianto aria compressa | Per area linea di assemblaggio 90,000 € e per area PM 60,000 € | | | 150,000 |
| TOP 25 | Impianto riempimento benzina | Linea di carburante | | | 100,000 |
| TOP 26 | Attrezzi carrelli operatore | In media per operatore, 3 avvitatori elettronici con serraggi differenti, cacciaviti, chiavi ecc.... | 2,000 | 84 | 168000 |
| TOP 27 | Carrelli operatore | Carrelli in trilogiq | 350 | 84 | 29400 |
| Totale ASSEMBLY LINE & SUB-ASSEMBLIES | | | | | 1,554,900 |
| LOGISTICS | | | | | |
| TOP 28 | Assembly line Trolleys | Carrelli commissionatori | 1,600 | 264 | 422,400 |
| TOP 29 | Preassembly Trolleys | Carrelli in trilogiq per particolari di grandi dimensioni | | | 130,000 |
| TOP 30 | Scaffali isola di normaleria | Scaffali in trilogiq a gravità con rulli | | | 76,500 |
| TOP 31 | Scaffali SMK PM | Scaffali in trilogiq a gravità con rulli | | | 100,000 |
| TOP 32 | Trailers | per line feeding e per GLT (contenitori SMK) | | | 100,000 |
| Totale LOGISTICS | | | | | 828,900 |
| TOTALE TOP 32 ITEMS | | | | | 8,828,800 |
| Altro + % di sicurezza | | | | | 1,226,080 |
| TOTALE FINAL ASSEMBLY | | | | | 10,054,880 |

Tabella 5.2 - Final Assembly Structure Costs, Total Final Assembly Cost

Le tabelle evidenziano due principali macrogruppi.

1. **Final assembly product:** costi riguardanti gli elementi specifici di questa linea di assemblaggio (linea di trasferimento scelta, manipolatori, ganci specifici, ecc...). Gli elementi sono suddivisi nelle sezioni:
 - *Assembly line* per impianti e attrezzature speciali utilizzate in linea di assemblaggio;
 - *Sub-assemblies:* impianti e attrezzature utilizzati nelle aree di premontaggio e/o nella linea principale per l'inserimento di parti premontate in vettura;
 - *Logistics:* contenitori speciali adattati al singolo componente utilizzati sia lungo la linea principale che nelle aree PM.

2. **Final assembly structure:** costi riguardanti impianti standard esistenti in qualsiasi linea per automobili (impianto di riempimento fluidi, impianto anti-incendio, linea elettrica, carrelli, scaffali, ecc...). Anche qui le voci sono suddivise in:

- *Assembly line & Sub-assemblies:* sono inclusi impianti utilizzati solo lungo la linea di assemblaggio (es. riempimento fluidi) ma anche da impianti di servizio generali (es. impianto elettrico);
- *Logistics:* comprende quegli strumenti atti a contenere i materiali e i codici portati dalla logistica in area produttiva.

Passiamo a commentare le singole voci di costo che concorrono a determinare l'investimento totale seguendo i raggruppamenti fatti e l'ordine di grandezza.

5.2.1.1 Final Assembly Product Costs

ASSEMBLY LINE

TOP 1. Il primo elemento da considerare è la *linea di trasferimento*: semi-automatica, ad induzione magnetica, compresa di lifting system cioè di un dispositivo di sollevamento che a riposo rimane pari al livello del pavimento (senza ingombrare superficie utile di lavoro) e, quando attivato, fuoriesce per portare l'automobile all'altezza di massimo un metro da terra; la voce di costo di 2211000 € comprende anche i costi di progettazione, consulenza tecnica, direzione lavori, smantellamento linea di assemblaggio esistente e resinatura pavimento.

TOP 2. *Linea di avvitatura*. Si tratta di una linea di avvitatori tutti collegati ad un elaboratore centrale, distribuiti tra le varie stazioni, che contengono programmi caratterizzati da serraggi differenti preimpostati. Basta selezionare il programma desiderato prima di prelevare l'avvitatore. Questo sistema è integrato con quello presente in linea Gallardo al fine di avere un unico archivio di raccolta dati.

TOP 3. Una linea di trasferimento ad induzione magnetica richiede dei *carrelli vettura* appositi per l'avanzamento dell'automobile lungo la linea. Si tratta appunto di carrelli che non sono spinti né manualmente, né da un'alimentazione elettrica e tantomeno da un nastro. Questi carrelli si muovono per induzione. Sono

dotati di 4 sostegni superiori che permettono di agganciare perfettamente la scocca.

Quando la linea sarà a regime, e quindi piena, ci saranno 33 carrelli per le 33 vetture in assemblaggio, tante quante sono le stazioni. A questi, occorre aggiungere un carrello per far sostare una vettura in zona pre-line, in modo che all'uscita di un'automobile completa, sia subito pronta una nuova scocca per entrare in linea. Infine, si prevedono tre carrelli per il giro vetture che, uno alla volta, dall'ultima stazione della linea di assemblaggio, vengono trasportati in zona ricezione scocche per essere caricati e poi riportati in pre-line.

TOP 4. *Paranco motore*. Il paranco è un'attrezzatura che permette di sollevare il motore senza sforzo e di spostarlo dall'area di parcheggio a bordo linea alla stazione di assemblaggio, pronto per l'inserimento. Il paranco scorre su una rotaia superiore che passa sopra ai corridoi; quando esso è in movimento viene bloccata la circolazione nei corridoi sottostanti attraverso il semaforo rosso. Quando il paranco è giunto al fine corsa della rotaia, il motore allora è situato esattamente sopra la vettura ed è pronto per essere calato nel vano motore. Una volta che il motore è stato inserito, viene liberato, il paranco risale e, spostandosi sulla rotaia, torna in posizione di riposo pronto per un nuovo prelievo dalla zona di parcheggio. E' l'operatore che comanda l'avvio del paranco e regolare i movimenti in direzione verticale (su/giù) attraverso una pulsantiera mobile.

TOP 5. Lungo la linea di assemblaggio, la vettura viene coperta con delle *protezioni* termoformate in plastica (cioè ottenute dallo stampaggio a caldo della plastica) per proteggerla da eventuali danneggiamenti nei montaggi successivi e anche in Linea Collaudo. Le coperture in tessuto sono invece utilizzate quando la macchina viene testata su strada (roadtest) e per il trasporto fuori dallo stabilimento.

TOP 6. *Gancio di rotazione*. Per alcuni collegamenti e montaggi sottoscocca (tubi collegamento serbatoi carburante, freni, frizione, riscaldamento, ecc...), la vettura viene posta su un attrezzo di rotazione, detto comunemente "Girarrosto", che permette di farla ruotare fino a 180° favorendo l'ergonomia degli operatori, facilitando e velocizzando lo svolgimento delle operazioni.

TOP 7. Per l'incollaggio dei vetri, occorrono dei banchi di appoggio per la preparazione dei voletti e del lunotto, un attrezzo manuale guidato e apposite pistole per la stesura del silicone.

TOP 8. Alcune operazioni di assemblaggio vengono eseguite con la vettura in posizione alta in modo che l'operatore possa lavorare in piedi sotto la scocca. Questo è il caso di serbatoi, scatola guida, trasmissione anteriore, semiassi, sospensioni, albero di trasmissione, ecc... In queste stazioni viene quindi utilizzato un *Gancio di sollevamento*. Nelle seguenti figure si possono vedere due esempi di ganci:



Figura 5.5 – Gancio di sollevamento



Figura 5.6 – Gancio di rotazione

TOP 9. *Pc di linea*. Sono pc collocati in delle torrette fisse, uno per ogni stazione sia di linea che di premontaggio (sono stati considerati quindi 45 pc per le 33 stazioni di linea e le 12 di PM) che gli operatori possono utilizzare per consultare la cartella di lavoro con la sequenza di montaggio, i PDM con le schede operative e procedure di montaggio a cui attenersi e per inserire i dati sulle operazioni effettuate.

TOP 10. *Banco stesura colla imperiale*. Il rivestimento sotto tetto o cielo viene incollato previa stesura di una colla attraverso un attrezzatura particolare su un banco.

SUB-ASSEMBLIES

TOP 11. *Attrezzature per premontaggi* di plancia, paraurti, rear end, spoiler, supporti plancia, perni cofano, piccoli preassemblaggi di meccanica, tergicristallo, lunotto.

TOP 12-17. Queste voci riguardano tutti i manipolatori: *Manipolatore Plancia* per l'introduzione della plancia nell'abitacolo; *Manipolatore Porte* per il montaggio delle porte sull'automobile; *Manipolatore Sedili* per l'inserimento dei sedili nell'abitacolo; *Manipolatore Batteria* per il montaggio della batteria in vettura; *Manipolatore Rear End* per il corretto posizionamento e fissaggio dello spoiler; *banchi di lavoro e Carrelli Sospensioni* per il pre-assemblaggio e montaggio sull'automobile delle quattro sospensioni.

La voce *Altro* include voci meno rilevanti come maschere di posizionamento, piccola carpenteria metallica, banchi di appoggio con relative attrezzature. Questi fattori non sono considerati TOP items perché non incidono singolarmente sulla cifra da investire.

LOGISTICS

TOP 18. *Special Containers Assembly Line*: contenitori ad hoc per parti da montare sulla vettura in linea di assemblaggio come parabrezza, ruote ecc...

TOP 19. *Special Containers Hang-on-Parts*: contenitori speciali per parti verniciate "appese" extra-scocca come brancardi, spoiler, porte, prese d'aria ecc...

TOP 20. *Special containers bumpers* per i paraurti.

5.2.1.2 Final Assembly Structure Costs

ASSEMBLY LINE & SUB-ASSEMBLIES

TOP 21. *Impianto Alimentazione Fluidi*: si tratta di una macchina utilizzata in stazione 30 per i riempimenti dei seguenti fluidi: olio motore, olio idroguida, A/C, olio freni, ecopermanent ovvero refrigerante, liquido tergi, olio servosterzo.

TOP 22–23: *Sistema anti-incendio e impianto elettrico* tradizionali.

TOP 24. *Impianto aria compressa* utilizzata di frequente nei montaggi.

TOP 25. *Impianto riempimento benzina* per il rifornimento di carburante, come per gli altri fluidi, prima dell'accensione della vettura.

TOP 26-27 *Attrezzi carrelli operatore e carrelli operatore*. Gli operatori per lavorare hanno bisogno anche di piccoli attrezzi contenuti in un carrello trilogiq (uno per operatore): in media 3 avvitatori per carrello con serraggi differenti, cacciaviti, chiavi, spray, nastri e tutto l'occorrente in base alla stazione di

assegnazione. Il valore del contenuto di ogni carrello è in media pari a 2000 € mentre il carrello vuoto trilogiq costa circa 350 €. Questi importi sono stati moltiplicati per il numero di operatori totali cioè 84 (62 operatori di linea + 22 delle stazioni PM).

LOGISTICS

TOP 28 *Assembly Line Trolleys*. Si intendono i carrelli commissionatori ovvero i carrelli vettura contenenti i pezzi a commessa specifici per quell'automobile, alcuni dei quali scelti dal cliente a proprio piacimento. Dalla scelta del layout E di stazione, i carrelli commissionatori sono 1 per operatore quindi, nella maggior parte dei casi, 2 per stazione. Inoltre per ogni carrello presente in linea, 2 sono in viaggio (dal centro logistico alla linea di assemblaggio e dal fornitore al centro logistico) e 1 è in via di preparazione all'interno del centro logistico Schnellecke. Per ogni carrello necessario, in realtà ne occorreranno 4. Avremo quindi circa 264 carrelli.

TOP 29 *Preassembly Trolleys*. Si tratta di carrelli per componenti di grandi dimensioni utilizzati nelle aree di premontaggio.

TOP 30-31. *Scaffali Isola di normaleria e SMK PM*: i primi contengono minuteria, i secondi piccoli pezzi da utilizzare nei premontaggi. Le scaffalature sono in trilogiq del tipo mostrato nel Capitolo 2 e in media costano 1200 €/l'uno.

TOP 32. I carrelli commissionatori e i GLT (contenitori nel supermarket per pezzi di grandi dimensioni che non è possibile collocare a scaffale) vengono trasportati da dei rimorchi (detti *Trailers*) con ruote attraccati alle tow car. Pertanto i *Trailer* sono utilizzati sia per il line feeding che per l'approvvigionamento del SMK.

Il costo totale dei 32 Top Items è 8828800€. Ad essi sono stati aggiunti gli elementi della voce Altro della linea di assemblaggio più una percentuale di sicurezza del 10%, solitamente prevista a fronte di investimenti difficili da preventivare in fase di progetto.

5.3 Le soluzioni preferite di layout a confronto

Le soluzioni di layout, messe a confronto sotto il profilo economico, sono le tre scelte preferite emerse dalla value benefit analysis effettuata sui layout di linea: la soluzione a “C” (la migliore), seguita dalla “U” e infine quella a “Linee parallele distanziate”. Occorre analizzare, per ogni layout, le due componenti di costo: il costo d’installazione e di esercizio.

Costo d’installazione.

Per una linea di assemblaggio a forma di “C”, il costo d’installazione è quello risultante dalle tabelle 5.1 e 5.2 pari a 10054880 €. Le attrezzature sono le stesse anche per la linea a forma di “U”, niente di più niente di meno. Persino il numero di curve, che la linea di trascinamento compie per seguire la forma del layout, è lo stesso (2 curve sia nella “C” che nella “U”). Ciò che può sensibilmente cambiare è il costo degli impianti anti-incendio ed elettrico perché nella “C” devono coprire una superficie maggiore. Ma questi elementi non influiscono direttamente la scelta perché sono già presenti nello stabilimento; si tratterebbe al massimo di riadattarli al nuovo layout. Sono stati comunque inseriti nel calcolo per dare un’idea complessiva dell’investimento totale necessario.

La soluzione a “Linee parallele distanziate” comporta invece un costo aggiuntivo in attrezzature: la vettura giunta all’ultima stazione del primo tratto, per proseguire nel processo d’assemblaggio, dovrà essere sollevata e trasportata da un gancio all’inizio del secondo tratto; lo stesso accadrà tra il secondo e il terzo tratto. Sarà necessario un ulteriore gancio di sollevamento che trasporti l’automobile dalla stazione 11 alla stazione 12 con una rotaia di guida tra i due tratti della lunghezza di circa 26 metri per l’andata e altri 26 m per il ritorno. Questo potrebbe comportare 70000 € di esborso. Inoltre, sarà necessaria una guida, della stessa lunghezza della precedente, per il collegamento tra le stazioni 22 e 23, dove sono già presenti due ganci di sollevamento. Si tratterà solo di farli girare (uno carico della vettura nell’andata dalla stazione 22 alla 23, l’altro scarico per il ritorno dalla 23 alla 22) ad ogni scatto della linea. Questo meccanismo determinerebbe ulteriori 40000 € di spesa. L’investimento totale aggiuntivo per il layout composto da “Linee parallele distanziate” sarebbe di circa 110000 €.

Costo d'esercizio

Il primo costo d'esercizio importante in sede di studio del layout è il costo di occupazione della superficie. Dato il costo di 60 €/m²*anno, avremo:

- Layout "U" con minor superficie occupata di 6861 m²: 411660 €/anno;
- Layout "C" con 8226 m²: costo di occupazione del suolo pari a 493560 €/anno;
- Layout "Linee parallele distanziate" con superficie di 8115 m²: costo 486900 €/anno.

Questi risultati ci confermano ulteriormente ciò che era emerso dall'analisi dei fattori ovvero che la soluzione a "Linee parallele distanziate" rimane la peggiore delle tre. Il costo dell'investimento è maggiore di 110000 €, quello d'esercizio rimane leggermente più basso della soluzione a "C" ma per soli 6660 €/anno. I costi quindi si compenserebbero nel caso la linea avesse una vita utile di almeno 16 anni. Il feeding dei supermarket sarebbe sicuramente svantaggioso data la grande distribuzione dei SMK PM con conseguenti routes lunghe.

Le linee a "C" e a "U", a pari livello dal punto di vista dei costi d'installazione, si differenziano per il costo di occupazione del suolo: la differenza è di 81900 €/anno (+ 20%).

Per quanto riguarda il costo del feeding, a prima vista, le due soluzioni possono sembrare simili; di sicuro la forma non è così tanto diversa come nel caso delle linee parallele. Nello specifico però ci sono delle grosse differenze. Il layout a forma di "C" prevede un supermarket unico concentrato al centro della linea con un corridoio che gli gira intorno; esso viene utilizzato sia dalla logistica per l'approvvigionamento del SMK sia per portare i carrelli preparati alle aree PM. Per quanto riguarda la soluzione a "U", vi è un unico corridoio esterno, più lungo perché circonda la linea, utilizzato per tutti i tipi di flussi persino per il trasferimento dei componenti premontati in linea e per il trasporto dei carrelli commissionatori.

Da un'analisi svolta sulla base dei viaggi effettuati per il rifornimento dei supermarket in linea Gallardo, per una linea "alti volumi" è emersa la necessità di 3 viaggi/vettura per il trasporto dei KLT (cassettine minuteria a scaffale) e 10 viaggi/vettura per il trasporto dei GLT con tutti i componenti necessari alle operazioni di premontaggio di quell'automobile. In totale occorreranno quindi 13

viaggi/vettura da compiere servendosi del corridoio esterno alla linea, nel caso di layout a “U”, e di quello centrale situato tra il SMK PM e le aree di premontaggio, per il layout a forma di “C”.

$$\left(3 \frac{\text{viaggi KLT}}{\text{vett}} + 10 \frac{\text{viaggi GLT}}{\text{vett}}\right) * 40 \frac{\text{car}}{\text{g}} * 220 \frac{\text{g}}{\text{anno}} = 114400 \frac{\text{viaggi}}{\text{anno}}$$

Il tempo di un singolo viaggio è stato determinato prendendo a riferimento solo gli elementi riguardanti il percorso senza badare a sgancio e aggancio dei carrelli, discesa e salita dell’operatore dal trattore elettrico, accelerazioni, decelerazioni, e numero di fermate che sono uguali per entrambe le alternative.

Per quanto riguarda il layout “C”, il tempo di un singolo viaggio è così calcolato attraverso una semplice analisi MTM:

| Descrizione | Codice | TMU | distanza [m] | n° | Tempo base [TMU] | Tempo base [min] | 1 + FR | Tempo effettivo [min] |
|----------------------------|---------|-----|--------------|----|------------------|------------------|--------|-----------------------|
| Guidare route | 4LTEFIM | 13 | 160 | | 2080 | 1.25 | 1.01 | 1.26 |
| Curve | 4LTEFKM | 92 | | 2 | 184 | 0.11 | 1.01 | 0.11 |
| Rallentamenti per traffico | PT | | | | | 0 | 1.01 | 0.00 |
| Totale | | | | | 2264 | 1.36 | | 1.37 |

Tabella 5.3 – Layout a forma di “C”, percorso completo KLT e GLT

Moltiplicando il tempo impiegato in un viaggio per il numero di viaggi all’anno e per il costo orario della manodopera, si ottiene il costo totale annuo per l’approvvigionamento del supermarket nel layout “C”:

$$\frac{114400 \frac{\text{viaggi}}{\text{anno}} * 1,37 \frac{\text{min}}{\text{viaggio}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{min}}{\text{h}}} = 78364 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

FR rappresenta il fattore di riposo che è il minimo possibile cioè 1% dato che la guida di un trattore non comporta posizioni scomode e/o sollevamento di pesi. per il layout a “C”; i rallentamenti per traffico sono inesistenti per il flusso ordinato che si ha nel corridoio.

La distanza percorsa con la soluzione a “U” è notevolmente superiore; pure i rallentamenti per traffico iniziano ad essere evidenti, poiché i flussi si riversano tutti su quel corridoio esterno.

Si ha la seguente analisi:

| Descrizione | Codice | TMU | distanza [m] | n° | Tempo base [TMU] | Tempo base [min] | 1+ FR | Tempo effettivo [min] |
|----------------------------|---------|-----|--------------|----|------------------|------------------|-------|-----------------------|
| Guidare route | 4LTEFIM | 13 | 266 | | 3458 | 2.07 | 1.01 | 2.10 |
| Curve | 4LTEFKM | 92 | | 2 | 184 | 0.11 | 1.01 | 0.11 |
| Rallentamenti per traffico | PT | | | | | 0.7 | 1.01 | 0.707 |
| Totale | | | | | 3642 | 2.89 | | 2.91 |

Tabella 5.4 – Layout a forma di “U”, percorso completo KLT e GLT

Il costo totale annuo per la “U” è il seguente:

$$\frac{114400 \frac{\text{viaggi}}{\text{anno}} * 2,91 \frac{\text{min}}{\text{viaggio}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{min}}{\text{h}}} = 166452 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

La differenza tra i due costi mostra la convenienza della “C”:

$$166452 - 78364 = 88088 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Anche il trasporto dei carrelli pronti per i premontaggi dal SMK PM, risulta avvantaggiato nel caso di concentrazione di quest’ultimo, poiché le aree PM sono essenzialmente più vicine.

Nel layout a forma di “U”, i casi peggiori che richiedono più tempo sono i PM Plancia, Cofano Motore e Sospensioni (113 m/vett complessivi da percorrere per portare i carrelli).

$$113 \frac{\text{m}}{\text{vett}} * 25 \frac{\text{TMU}}{\text{m}} = 2825 \frac{\text{TMU}}{\text{vett}}$$

$$\frac{2825 \frac{\text{TMU}}{\text{vett}} * 0,0006 \frac{\text{min}}{\text{TMU}} * 40 \frac{\text{vett}}{\text{g}} * 220 \frac{\text{g}}{\text{anno}} * 30 \frac{\text{€}}{\text{h}}}{60 \frac{\text{min}}{\text{h}}} = 7458 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Nel layout a “C”, i premontaggi più lontani da un punto di accesso al supermarket sono i PM Meccanica, Plancia e Sospensioni (54 m/vett totali):

$$54 \frac{m}{vett} * 25 \frac{TMU}{m} = 1350 \frac{TMU}{vett}$$

$$\frac{1350 \frac{TMU}{vett} * 0,0006 \frac{min}{TMU} * 40 \frac{vett}{g} * 220 \frac{g}{anno} * 30 \frac{€}{h}}{60 \frac{min}{h}} = 3564 \frac{€}{anno}$$

Anche in questo caso, la soluzione a “U” comporta un maggiore costo di 3894 €/anno.

In definitiva il costo differenziale di 81900 €/anno di occupazione del suolo è ampiamente controbilanciato dai 91982 €/anno riguardanti il feeding SMK e aree PM; gli indubbi vantaggi operativi della soluzione a “C” prima solo considerati a livello qualitativo, sono stati confermati dai dati ottenuti. Questi rendono la soluzione di layout a “C” la più conveniente anche sotto il profilo economico.

Da notare che questo layout è anche quello che presenta il maggiore spazio previsto per gli ospiti, favorendo le visite, fonti di ulteriori introiti per l’azienda. Per Automobili Lamborghini l’immagine è importante e non può quindi fare a meno di considerare l’aspetto estetico anche in una linea di assemblaggio.

Conclusioni

In questa tesi è stato affrontato lo studio di una possibile linea di assemblaggio ad alti volumi per Automobili Lamborghini. Sono stati dapprima analizzati gli strumenti principali del Lamborghini Production System essenziali per il miglioramento della produttività e della qualità, la riduzione dei tempi ciclo e dei costi. I principi di Lean Production hanno guidato tutto il dimensionamento del progetto.

Lo studio del layout di stazione ha messo in evidenza come una soluzione caratterizzata da due carrelli materiali, uno per postazione di lavoro, posti ai lati della vettura che avanza nel verso di marcia, favorisca il lavoro degli operatori, ottimizzandone gli spostamenti, riducendo le interferenze e il rischio di danneggiamenti alla vettura, fornendo più spazio per materiali e attrezzature, con la possibilità di utilizzare carrelli commissionatori multistazione. Nonostante la maggiore superficie occupata con conseguenti maggiori costi di occupazione, la soluzione E determina vantaggi prioritari per una linea ad alti volumi in particolare per il minore numero di spostamenti richiesti all'operatore; il risparmio in costi d'esercizio raggiunto dal layout di stazione E è quantificabile in 54340 €/anno.

Dall'analisi del layout di linea è emerso che la soluzione più rispondente ai criteri logistici e produttivi è quella a forma di "C", con un punteggio pari all'86% del massimo risultato raggiungibile, seguita dalle alternative a forma di "U" e a "Linee parallele distanziate". Le soluzioni sono state confrontate sotto il profilo dell'investimento, necessario alla loro realizzazione, e del costo d'esercizio da sostenere per l'occupazione della superficie. La soluzione a "Linee parallele distanziate" è stata scartata per gli indubbi svantaggi che comporta sotto tutti i profili, sia tecnici che economici. Le linee a "C" e a "U", a pari livello dal punto di vista dei costi d'installazione, si differenziano però per il differente costo di occupazione del suolo e di approvvigionamento del SMK PM e trasporto dei carrelli alle aree di premontaggio. Il layout a forma di "C" comporta una spesa aggiuntiva di 81900 €/anno per la maggior superficie occupata. Essa, però, permette di risparmiare ben 91982 €/anno riguardanti il feeding del SMK e delle aree PM, grazie alla centralità del supermarket e del corridoio circostante che

permette flussi ben distribuiti e ordinati con routes più brevi. In definitiva, la soluzione “C” è preferibile per gli aspetti logistici e produttivi che si traducono in vantaggi economici: notevoli sono i benefici derivanti, in primo luogo, dalla divisione netta dei flussi e delle attività; inoltre si ha un minore costo logistico derivante dalla concentrazione e dalla vicinanza ai premontaggi del supermarket. Questi vantaggi sono sicuramente importanti, a maggior ragione in uno scenario caratterizzato da flussi elevati come lo sarà una linea di assemblaggio “alti volumi”, dove l’applicazione dei concetti di produzione snella è di primaria importanza.

L’analisi dettagliata dei tempi delle operazioni costituenti la sequenza di montaggio, ha permesso di determinare con precisione il numero di stazioni e di operatori assegnati, prima ai premontaggi, poi alle stazioni di linea. Rispetto alla stima iniziale, l’applicazione spinta della metodologia “fishbone”, volta a snellire il carico di lavoro di linea e a ridurre il lead time di prodotto, ha portato a 12 stazioni PM (contro le 9 stimate) con un maggiore numero di operatori (pari a 22). Di conseguenza in linea gli operatori saranno 62 invece di 66. L’investimento in attrezzature per l’installazione e avvio di una linea di produzione di queste dimensioni è stato valutato ammontare a 10054880 € . Questo dato fornisce un’utile indicazione circa la spesa eventualmente da sostenere nel caso di implementazione del progetto.

A livello personale, è stato un progetto molto fruttuoso perché mi ha permesso di approfondire tutte le tematiche legate al dimensionamento di una nuova linea di produzione, che tanto mi avevano affascinato durante gli studi accademici, tenendo conto di principi attuali come quelli della Lean Production e sperimentandone le applicazioni pratiche. L’opportunità di stage in un’azienda all’avanguardia, in continua evoluzione, dinamica e prestigiosa come Automobili Lamborghini è stata un’occasione importante da cui ho tratto una bellissima esperienza di lavoro. Il progetto è stato di grande utilità all’azienda in vista di un possibile sviluppo con necessità di guardare a linee di produzione ad alti volumi che costituiscono una novità, forse però non troppo lontana.

Legenda

LPS - *Lamborghini Production System*: raccoglie l'insieme dei principi della Lean Production adattati alla realtà di Automobili Lamborghini per massimizzarne i benefici.

MTM - *Methods-Time Measurement*: metodo che analizza e scompone qualsiasi operazione manuale influenzabile dall'uomo in movimenti elementari necessari per eseguire l'operazione stessa e assegna a ciascun movimento un tempo standard predeterminato.

PM: *Premontaggio*. Utilizzato per indicare le stazioni di premontaggio.

SMK PM: Supermarket dove avviene la preparazione dei carrelli per le stazioni di premontaggio.

GLT: denominazione tedesca che individua i contenitori utilizzati nel supermarket per componenti standard di dimensioni tali da non poter essere messi a scaffale.

KLT: denominazione tedesca che indica le cassetine blu utilizzate per la minuteria contenute a scaffale in supermarket.

Bibliografia

Benhabib B., *Design, Production, Automation and Integration*, CRC Press 2003

Feld W.M., *Lean Manufacturing Tools, Techniques and how to use them*, CRC Press, 2001

Pareschi A., *Impianti Industriali*, Società editrice Esculapio s.r.l., 2009

Pareschi A., Persona A., Ferrari E., Regattieri A., *Logistica integrata e flessibile*, Società editrice Esculapio s.r.l., 2009

Rother M., Harris R., *Creating Continuous Flow*, The lean Enterprise Institute, USA, 2000

Tompkins J.A., White J.A., Bozer Y.A., *Facilities Planning*, John Wiley and Sons, 2010

Womack J.P., Jones D.T., Roos D., *The machine that changed the world*, Collier Macmillan Canada, New York, 1990

Womack J.P., Jones D.T., *Lean Thinking, banish waste and create wealth in your corporation*, 2003

Zignoli V., *Tecnica ed Economia della Produzione*, Ulrico Hoepli Editore, 1972

Dispense di formazione ad uso interno di Automobili Lamborghini S.p.A.

<http://www.mtmitalia.it>

<http://www.indevagroup.com/en-US/material-handling-solutions.html>

<http://www.trilogiq.com/en/leantek-components.php>

http://www.dalmec.com/ing/applications/car/manipulators_balancers_dashboards.html

<http://www.proviesys-solution.net/JigAndManipulator.html>

Ringraziamenti

Al termine di questo percorso, ringrazio la mia famiglia per il sostegno che mi ha dato e per aver reso possibili tutti questi anni di studio. Grazie a Savino e Luciana, siete proprio due genitori buffi e ogni fine settimana mi ricordate chi sono i più giovani in famiglia (di sicuro non sono io).

Grazie a Silvia che mi stai sempre vicina e mi aspetti a braccia aperte a casa e a Davide perché ti prendi a cuore le cose e ti ci lanci dentro con tutte le forze.

Un ringraziamento speciale va a Marco, per il cammino che stiamo facendo insieme e per l'anno bello, appena iniziato, che ci aspetta. Mi hai accompagnata in ogni scelta fatta e ridestata mille volte dalla distrazione. Non finirò mai di essere grata di averti al mio fianco.

Il mio pensiero va agli amici che lungo questi anni mi hanno accompagnata in ogni momento: Jack, Lomba, Valentina, Laura, Maddy, Ventu, Giada, Meri, Don Carlo, Maria e tutto l'appa di Via Calori, Via Tanari, le fantastiche di Via Morgagni e tutti gli amici di Rimini e Bologna, fino all'Inghilterra, all'Olanda e all'Australia.

Determinanti nei mesi di stage in Lamborghini, i miei colleghi dell'I.E.: siete assolutamente i migliori. Come dimenticare la vostra simpatia e i vostri scherzi! Grazie perché non avete mai perso occasione di farmi ridere e come ci riuscite voi, non ci riesce nessuno. Mirco per la tua immensa bontà e perché mi chiami "SuperManu", Alby per i tuoi "Eh ciao!" e per le abbracciatone, Giorgio perché siamo sulla stessa barca e sei un alleato di fronte ad attacchi esterni, per le tue canzoni e la musica di sottofondo sempre uguale delle 4 del pomeriggio. Grazie ad Alle, lo stagista più simpatico (oltre a me ovviamente!), eravamo proprio una bella coppia di stageurs insieme, soprattutto quando ci hanno dato due particolari targhette identificative... "Vi voglio un benone!"

Grazie a Letizia per l'amicizia e l'ospitalità e perché nel cuore sei sempre stata un membro di I.E. Grazie allo zio Frank, per la grande disponibilità e perché non ti dimentichi mai delle tue nipotine. Grazie a Rudy, per la tua delicatezza nel

dimostrarmi che mi vuoi bene e al Ghiandaio perché insieme siete una bella coppia di matti. Grazie a tutti coloro che da organigramma non erano di I.E., ma allietavano sempre le nostre giornate: Max, Barby, Patty, Piero, Mors, Cesare, Treppizio, Maurizio, Aldo e Fabri Consultant. Grazie ai ragazzi della linea: Davide, Omar, Antonio, Beppe, Paolo, Gigi e a tutti gli altri. Grazie agli amici del bus: Vale, Giuseppe, Domenica. Potrei raccontarne un'infinità, ma non finirei più. Mi mancherete perché siete unici, non penso troverò colleghi così altrove! Grazie per questi 9 mesi insieme.

Un ringraziamento unico lo mando a coloro che hanno reso possibile questo lavoro di tesi sia in università che in azienda: Carmine, perché hai avuto una grande pazienza e mi hai seguita fino a questo giorno così importante; Simone, per l'interesse dimostrato verso questo progetto e per le utili indicazioni fornite. Ringrazio il prof. Saccani, il prof. Peretto, l'Ing. Bianchini e l'Ing. Pacini per avermi introdotta nella realtà aziendale, per la fiducia e il supporto dati di fronte a questo progetto di tesi.