

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

PROGETTAZIONE DI UNA LINEA MIXED MODEL IN AMBITO LEAN: IL CASO TRUMPF-SISMA S.R.L.

Relatore

Ch.mo Prof. Roberto Panizzolo

Correlatore

Ing. Andrea Gatto

Laureanda

Thi Hong Loan Tran

Anno Accademico 2017/2018

*Dedicata a voi, che mi avete
sempre sostenuta.*

Ringraziamenti

Desidero ringraziare Andrea Gatto e tutti i colleghi conosciuti durante il mio periodo di stage, in particolare il team della produzione. Sono veramente felice di aver potuto conoscere delle persone così splendide.

Desidero ringraziare il professore Roberto Panizzolo, che mi ha seguita nella realizzazione di questa tesi dimostrandosi sempre disponibile e gentile.

Ringrazio in particolar modo la mia famiglia, che è da sempre al mio fianco. I miei genitori Thao e Tuyet, per la loro costante fiducia in me. I miei fratelli Thuy Hang e Hieu, mio cognato Antonio, per i consigli e le critiche costruttive, che fanno di me la persona che sono.

Infine vorrei ringraziare i miei amici, i miei nonni maranesi e tutte le persone che sono state, che sono ancora e che saranno al mio fianco. Grazie per supportarmi e spronarmi a non arrendermi mai.

Sommario

In questa tesi verrà presentata l'applicazione dei principi del Lean Thinking nella realizzazione di una linea di assemblaggio di stampanti 3D LMF (Laser Metal Fusion) presso TRUMPF-Sisma S.r.l. di Schio (VI).

Dopo un'introduzione ai principi teorici e alle metodologie della Lean e una panoramica sull'azienda, viene presentata la situazione iniziale “*as-is*”, con due linee differenti di montaggio, una con layout lineare a 5 celle mentre l'altra con un layout stazionario con 4 stazioni. Infine, viene descritto il lavoro svolto durante il periodo di stage.

L'obiettivo è stato quello di creare una linea “*mixed-model*” che fosse in grado di permettere l'assemblaggio di due gamme di stampanti 3D.

Partendo quindi dal ritmo dettato dalla domanda del cliente, si è passati al dimensionamento della linea, progettazione del nuovo layout e ad implementare nuovi strumenti per rendere più efficaci ed efficienti i flussi dei materiali e delle informazioni.

Dopo un primo periodo di avviamento, il progetto ha raggiunto degli importanti obiettivi: aumento della produttività, riduzione degli spazi, migliore gestione dei flussi di materiale e di informazione, ma soprattutto un ambiente di lavoro migliore.

Indice

INTRODUZIONE.....	1
1. Lean Thinking	3
1.1. Origini e contesto storico	4
1.2. I cinque principi del Lean Thinking	6
1.2.1. La definizione del valore	7
1.2.2. Identificazione del flusso di valore	7
1.2.3. Far scorrere il flusso	8
1.2.4. Implementare un sistema “pull”	10
1.2.5. Ricerca della perfezione.....	11
1.3. La casa del Lean	12
1.4. Strumenti Lean utilizzati in TRUMPF-Sisma	13
1.4.1. Standard Work	14
1.4.2. Visual Management	15
1.4.3. Le 5S	16
1.4.4. Kanban	19
1.5. La linea mixed model	20
2. TRUMPF-Sisma S.r.l.....	23
2.1. Storia.....	24
2.1.1. TRUMPF GmbH + Co. KG.....	25
2.1.2. Sisma S.p.A.....	26
2.1.3. Joint venture: TRUMPF-Sisma S.r.l.....	27
2.1.4. Organigramma	29
2.2. Tecnologia	29
2.3. Prodotto e mercato	33
2.3.1. MySint 100/ Truprint 1000:.....	34
2.3.2. MySint 300/ TruPrint 3000:.....	36
3. Caso aziendale	39

3.1.	Premesse del progetto	40
3.2.	Situazione iniziale.....	40
3.2.2.	Layout	40
3.2.3.	Linee di assemblaggio	44
3.2.2.1.	Linea G01	46
3.2.2.2.	Linea G02	51
3.3.	Osservazioni.....	56
3.3.1.	Non conformità.....	56
3.3.2.	Logistica interna dei materiali	57
3.3.3.	Ordine e pulizia.....	58
3.3.4.	Gestione delle informazioni.....	59
4.	Riprogettazione della linea	61
4.1.	Perché una linea mixed-model.....	62
4.2.	Takt time	62
4.3.	Bilanciamento della linea.....	68
4.3.1.	Training del personale	70
4.4.	Re-layout.....	74
4.5.	Alimentazione delle linee	77
4.5.1.	Milk run interno	77
4.5.2.	Kitting	78
4.5.3.	Gestione minuteria	79
4.5.4.	Gestione dei materiali a consumo	81
4.6.	Ordine e pulizia.....	83
4.7.	Gestione del flusso di informazioni	86
4.7.1.	OPL: One Point Lesson	86
4.7.2.	Shopfloor management	89
4.7.2.1.	Lavagne visual	89
4.7.2.2.	Morning meeting.....	90
4.8.	Non conformità	91

4.9. Risultati.....	91
Conclusioni	97
<i>Bibliografia</i>	99
<i>Sitografia</i>	99

INTRODUZIONE

In questo elaborato viene presentato il progetto che mi ha permesso di applicare in prima persona, all'interno di una piccola realtà in espansione, le nozioni apprese durante gli anni di studio, consentendomi di giungere al termine del mio percorso universitario.

TRUMPF-Sisma è un'azienda che si posiziona in un settore innovativo: quello delle macchine stampanti 3D. In particolare, l'azienda produce stampanti che utilizzano la tecnologia del *Laser Metal Fusion*, un processo estremamente delicato e all'avanguardia.

Il progetto di tesi nasce dall'esigenza dell'azienda di ridefinire le linee di produzione, con lo scopo di migliorare non solo indicatori economici ma anche tutto l'ambiente produttivo. Questi obiettivi sono li possiamo ritrovare nel Lean Thinking: l'insieme di strumenti operativi e metodi non hanno solamente la finalità di migliorare l'aspetto operativo ma anche l'insieme di regole, valori e la cultura aziendale. Per questo l'azienda ha scelto di adottare i principi della Lean: un obiettivo di questa tesi è anche quella di mostrare i vantaggi dell'applicazione di questo “pensiero snello”.

L'elaborato è diviso in quattro parti. Nella prima viene introdotta la filosofia Lean, analizzando il contesto storico in cui è nata e i principi fondamentali su cui si basa. Vengono descritti gli strumenti pratici da implementare al fine di trovare i problemi e cercare di risolverli, evidenziando in particolare gli strumenti applicati nel progetto.

Nella seconda parte viene fatta una panoramica sull'azienda TRUMPF-Sisma S.r.l., descrivendo com'è nata, quali sono le realtà industriali a cui si appoggia, qual è il core business e quali sono i prodotti realizzati.

Nel terzo capitolo, inizia la descrizione delle attività eseguite per il progetto. Lo scopo è quello di avere una visione generale della situazione iniziale, analizzarla e riportare le osservazioni fatte riguardo le criticità rilevate.

Nell'ultimo capitolo, si entra nel cuore del progetto. Vengono descritte tutte le attività eseguite per il dimensionamento della nuova linea, gli strumenti e le metodologie implementate per migliorare il flusso produttivo.

Questo progetto mi ha consentito di vedere e comprendere la potenza del Lean Thinking: non si tratta solamente di applicare una serie di metodologie e strumenti, ma è necessario comprendere a fondo i principi di questa filosofia per poter ottenere tutti i miglioramenti desiderati.

1. Lean Thinking

In questo capitolo vengono esposti i principi e gli strumenti fondamentali del Lean Thinking, filosofia che ha come obiettivo quello di aumentare l'efficienza eliminando ogni forma di spreco.

La Lean, nata originariamente nel mondo manifatturiero, viene oggi applicata con successo nei più svariati ambiti e settori aziendali.

1.1. Origini e contesto storico

Il termine Lean Thinking, “pensiero snello”, identifica una filosofia industriale ispirata al Toyota Production System (TPS).

È stato coniato per la prima volta da John Krafcik, allora ricercatore del MIT che partecipò al programma IMVP (International Motor Vehicle Program), in un articolo del 1988 intitolato “***Il trionfo del sistema della Lean Production***”.

Il nome è appropriato in quanto il proposito di questa filosofia si riassume in questo concetto: “it does more and more with less and less” (*Lean Thinking, J. P. Womack, D. T. Jones, 2003*), cioè consente di ottenere “molto” utilizzando “meno di tutto”, meno lavoro umano, meno tempo per sviluppare nuovi prodotti, minori stock, minore superficie di stabilimento. (*tratto da J. P. Womack, D. T. Jones e D. Ross, “La macchina che ha cambiato il mondo”, Biblioteca Universale Rizzoli, Milano 1993*).

Il pensiero snello prende vita in Giappone nei primi anni Cinquanta, in particolare in un’azienda operante nel settore automobilistico: la Toyota.

Il sistema produttivo nella Toyota Motor Company, il Toyota Production System (TPS), fu sviluppato da Taiichi Ōno (*Febbraio 29, 1912 – Maggio 28, 1990*), che per primo intuì la necessità di creare un modello produttivo diverso da quello allora diffuso, la produzione di massa.

All’inizio dello scorso secolo infatti, il modello produttivo di riferimento era quello identificato come “Mass production” e introdotto da Henry Ford nella realizzazione tramite catena di montaggio della Ford T.

Gli elementi caratterizzanti del modello fordista erano:

- Elevati volumi produttivi
- Standardizzazione di processi e prodotti
- Scomposizione del processo produttivo in singole operazioni elementari e ripetitivi
- Creazione di pochi modelli

Il contesto dell’epoca aveva consentito al modello fordista di avere un enorme successo in occidente, in quanto la domanda risultava essere altamente prevedibile e controllabile da parte dell’offerta, consentendo così ai grandi

colossi dell'impresa di poter massimizzare la produttività e sfruttare le economie di scala.

Questo modello di produzione però non era direttamente replicabile in Giappone, come aveva ben intuito Eiji Toyoda, imprenditore alla guida della Toyota, dopo numerosi viaggi negli States volti a capire i segreti delle aziende di successo.

Il paese, devastato dalla guerra, soffriva per la mancanza di capitali e non poteva acquistare le tecnologie occidentali: la produzione di massa non poteva essere la soluzione giusta per far ripartire il paese.

Per questo motivo, Eiji, incaricò l'operations manager della sua azienda, Taiichi Ōno di studiare e adattare il sistema alle loro esigenze

Fu così che Ōno prese in mano la situazione e cercò un nuovo approccio per la riscossa della propria azienda: il Toyota Production System.

Il TPS aveva un unico obiettivo: l'eliminazione totale degli sprechi.

Per fare questo, l'azienda doveva mettere in atto 3 principi fondamentali:

1. Flusso continuo
2. Produzione Pull
3. Miglioramento continuo

Le peculiarità del sistema TPS vennero approfondite negli anni 80 da un gruppo di ricercatori del MIT di cui faceva parte anche il dottorando John Krafcik, sotto la guida di James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Roos. Da questa ricerca nacque il libro della svolta: "The machine that changed the world" (*J. P. Womack, D. T. Jones, D. Roos - 1991*)

In questo libro gli autori cercarono di spiegare il perché della grande ascesa delle aziende giapponesi, gli strumenti e le filosofie alla base di quel nuovo sistema produttivo che stava rivoluzionando l'oriente e che stava minacciando l'economia occidentale.

1.2. I cinque principi del Lean Thinking

Taiichi Ōno, in una intervista, descrive il TPS come segue:

“Tutto ciò che stiamo facendo è di misurare l’intervallo di tempo tra il momento in cui un ordine ci arriva e il momento in cui raccogliamo i soldi per esso. E poi cerchiamo di ridurlo eliminando le attività a nessun valore aggiunto”

Il Lean Thinking si basa su 5 principi essenziali ed efficaci per la lotta allo spreco:

1. Definizione del valore (*value*)
2. Identificazione del flusso di valore (*value stream*)
3. Far scorrere il flusso (*flow*)
4. Implementare un sistema PULL (*pull*)
5. Ricercare la perfezione (*perfection*)



FIG 1.1 - I 5 principi

Analizziamo ora in dettaglio ciascun principio.

1.2.1. La definizione del valore

Il punto di partenza del Lean Thinking è quello di definire qual è il valore per l'azienda.

Viene definito valore tutto ciò che porta alla soddisfazione del cliente, tutto ciò per cui è disposto a pagare.

Sebbene il valore venga creato dall'azienda, è solamente il cliente finale a darle il giusto significato.

L'azienda deve cercare quindi di assumere la prospettiva del cliente per capire quali sono le caratteristiche, gli attributi che generano questo valore e crearli.

Esistono 2 tipologie di cliente: il cliente esterno, solitamente quello finale, e il cliente interno cioè colui che realizza l'attività successiva a quella che sto eseguendo.

Il cliente e la sua soddisfazione sono i punti chiave per la sopravvivenza dell'azienda. E tutto ciò che non è valore è MUDA: spreco per l'azienda.

“Il lean thinking in azienda nasce con il preciso tentativo di distinguere il valore, inteso come ben definite caratteristiche del prodotto/servizio offerte ad un prezzo determinato attraverso il dialogo con il cliente”

James Womack

1.2.2. Identificazione del flusso di valore

Il flusso di valore è l'insieme delle attività, in tutte le parti dell'organizzazione, coinvolte nel fornire il valore per il cliente.

È necessario individuare e mappare con chiarezza quali sono le attività richieste per lo sviluppo del prodotto finale, affinché il processo di produzione sia focalizzato esclusivamente alla creazione di valore per il cliente.

Durante questa fase possiamo distinguere 3 tipologie di attività:

1. Attività **A VALORE**, cioè quelle attività su cui l'azienda deve focalizzarsi e concentrare le risorse al fine di creare un vantaggio competitivo;
2. Attività **NON A VALORE ma NECESSARIE**, e quindi devono essere mantenute: sono tutte quelle attività che l'azienda deve sostenere per riuscire a "fare" le attività a valore. Sono attività che vanno ridotte al minimo;
3. Attività **NON A VALORE e NON NECESSARIE**, cioè quelle attività che devono essere quindi eliminate fin da subito, perché rappresentano gli sprechi veri e propri.

L'obiettivo della Lean è quello di ridurre le attività non a valore ma necessarie ed eliminare quelle invece non necessarie, in modo tale da riuscire a ridurre gli sprechi.

Uno strumento utile per identificare le attività a valore è il Value Stream Mapping, che permette di mappare l'intero processo, consentendo di identificare quali attività sono superflue e quali sono quelle fondamentali per la creazione del "value".

Per abbracciare il pensiero del flusso del valore occorre non fermarsi a guardare le singole attività e i singoli impianti ma vedere come essi interagiscono tra loro.

"A system of local optimus is not an optimum system"

Eliyahu M. Goldratt

1.2.3. Far scorrere il flusso

Secondo la filosofia Lean, tutto il processo produttivo deve essere inteso come un FLUSSO.

Dopo aver definito cos'è il valore e qual è il suo flusso, cioè l'insieme di tutte quelle attività a valore, è necessario far scorrere questo flusso senza rischio di interruzioni dovute a inefficienze, dette MUDA.

Nella filosofia Lean, esistono 7 tipologie di sprechi:



FIG 1.2 - I 7 sprechi

1. **Sovrapproduzione:** possiamo considerarlo come “lo spreco peggiore” in quanto genera in modo diretto o indiretto tutti gli altri sprechi.

Produrre in eccesso vuol dire produrre in quantità maggiore rispetto a quanto il mercato è in grado di assorbire: la produzione quindi avviene secondo una logica pull, non è pianificata secondo la richiesta del cliente ma sulla base di previsioni.

2. **Attese:** sono tutte quelle pause che l'operatore è costretto a fare durante il proprio lavoro, rimanendo inattivo mentre è in attesa che arrivi il materiale o che finisca la fase produttiva a monte.

3. **Trasporti:** ogni volta che il prodotto viene movimentato, si ha un dispendio di risorse che il cliente non è disposto a pagare, dando così luogo ad un'attività non a valore aggiunto. Inoltre, c'è la possibilità che tale attività produca scarti, in quanto il rischio di avere “incidenti” risulta essere più elevato.

Spesso il trasporto si trasforma in un danno perché:

- Il layout dello stabilimento non è stato progettato correttamente o è obsoleto

- I materiali approvvigionati e stoccati sono eccessivi rispetto alle reali necessità
 - Il lavoro non è ben organizzato con sequenze di prelievo
4. **Movimentazioni:** Sono tutti quei movimenti, considerati all'interno del ciclo di lavorazione, che risultano essere inutili, cioè non aggiungono valore. Essi possono essere dovuti alla scorretta progettazione del layout o a strutture sovradimensionate, ma anche ad un posto di lavoro non studiato ergonomicamente. Un tipico esempio può essere la ricerca di utensili necessari per le attività ma che non sono facilmente raggiungibili.
 5. **Processo:** Sono tutte le inefficienze all'interno del processo che nascono da procedure inadeguate o da mancanza di mezzi (attrezzature, macchinari, operatori) adeguati. Un esempio può essere l'utilizzo di macchinari con capacità produttive superiori alla richiesta.
 6. **Scorte:** Il materiale di scorta, e quindi in attesa di essere impiegato nei processi produttivi, viene considerato come spreco per l'azienda perché rappresenta capitale immobilizzato che non crea valore. In aggiunta, il materiale in giacenza può addirittura peggiorare la sua qualità e diventare obsoleto, trasformandosi in costo da sostenere.
 7. **Difetti:** I difetti rappresentano uno spreco nella filosofia Lean perché rallentano la produzione e fanno aumentare il lead time. I pezzi difettosi infatti costituiscono uno scarto o comunque hanno bisogno di una lavorazione in più rispetto allo standard.

1.2.4. Implementare un sistema “pull”

Con il termine “pull” si intende la logica produttiva secondo la quale il flusso di valore viene “tirato” dal cliente.

Questo si contrappone alla logica push tradizionalmente usata, secondo la quale la produzione è governata dalle previsioni della domanda: questo

comporta il rischio elevato, in caso di previsioni non accurate, di incorrere in problemi di sovrapproduzione o di insoddisfazione dei clienti.

Ad oggi la domanda del mercato è sempre più imprevedibile, sia dal punto di vista qualitativo che da quello quantitativo, per cui riuscire a soddisfare i clienti in modo tempestivo risulta essere la chiave del successo.

Per fare questo, in ottica Lean, il processo produttivo viene creato e progettato in modo tale da garantire al cliente il prodotto richiesto nella quantità e nel momento concordati, seguendo la tecnica del Just In Time.

Il flusso di valore viene quindi tirato dalla domanda, ovvero ciò che sta a valle della produzione.

1.2.5. Ricerca della perfezione

L'ultimo principio, che costituisce uno dei concetti più importanti del Lean Thinking, è la ricerca costante della perfezione, tramite un percorso di miglioramento continuo.

In genere, nella concezione "tradizionale" di miglioramento, le aziende si aspettano un cambiamento drastico, che richiede elevato dispendio di risorse e investimenti, e da cui si aspetta di avere dei risultati nell'immediato.

In Toyota invece, il miglioramento viene visto come un insieme di piccoli passi in avanti, piccoli miglioramenti anche giornalieri, ma che sommati assieme nel tempo portano ad un grande cambiamento. Il miglioramento quindi risulta essere graduale, composto da piccole azioni che insieme portano verso la perfezione.

Nella Lean si parla di KAIZEN, che significa "cambiare in meglio": il "meglio" non sarà l'obiettivo finale, anzi, dovrà essere sempre rimesso in discussione. È un percorso circolare, che non avrà il punto di fine, perché ogni punto di arrivo è il punto di inizio per una nuova ricerca della perfezione.

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

Shigeo Shingo

1.3. La casa del Lean

Tutti i concetti e gli strumenti fondamentali del Toyota Production System (TPS) sono racchiusi e rappresentati nella “House of Lean”, illustrata in figura 1.3.

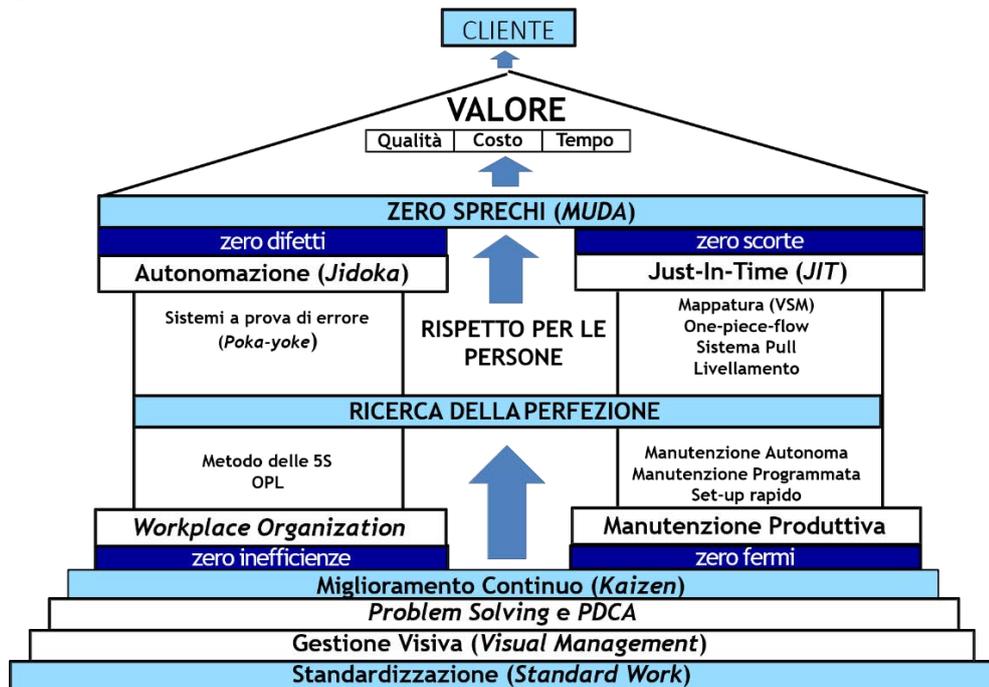


FIG 1.3 - Casa del Lean

Le **fondamenta** di questa casa sono tutti quei concetti e strumenti che portano alla stabilità e standardizzazione operativa:

- *Visual Management*;
- *PDCA*, strumento utilizzato per il controllo e il miglioramento continuo dei processi e dei prodotti.
- *Kaizen*, concetto secondo cui il miglioramento deve essere una ricerca continua, fatta ogni giorno;
- *Standardizzazione delle operazioni*;

Il **primo pilastro** viene rappresentato dal JIT: Just in time. È il metodo logistico-produttivo che si basa sul concetto del “produrre quando serve”, e gli strumenti base per la realizzazione del JIT sono:

- *Sistema pull*, cioè tirato dalla fase a valle;
- *Sistema One Piece Flow*;
- *Takt Time*, cioè il ritmo della produzione;

- *Heijunka*, strumento per il livellamento della produzione;

Il secondo pilastro è rappresentato dal JIDOKA: “automazione con tocco umano”, in una parola “autonomazione”. Con questo termine si intende la creazione di sistemi in cui l’operatore è autorizzato ad intervenire direttamente fermando la produzione in caso di rilevazione di difetti o problemi. È importante che in ogni processo ci siano delle persone o degli automatismi in grado di bloccare la linea produttiva quando qualcosa non funziona. In questo modo si riducono drasticamente i difetti e gli scarti, contribuendo all’eliminazione degli sprechi. Gli strumenti utilizzati sono:

- *Poka-Yoke*, creazione di sistemi “a prova di errore”;
- *Andon*
- *5S*
- *One Point Lesson (OPL)*

Al centro dei pilastri troviamo un concetto molto importante nel Lean Thinking: il rispetto per le persone. Come scrive Fujii Cho nella prefazione del libro “Hitozukuri e Monozukuri” (Yoshihita Wakamatsu, 2001):

“Pensiero costante di Taiichi Ōno era quello di porre al centro l’uomo e riflettere come fare perché il suo ingegno si potesse esprimere. L’elemento fondamentale del TPS sta nel “valorizzare le persone”.”

La persona è la chiave per il miglioramento: è fondamentale saper far crescere e motivare le persone, in modo tale che possano essere formate e svilupparsi nel miglior modo possibile.

Infine, **il tetto**, sorretto da tutti i principi sottostanti, rappresenta l’obiettivo ultimo dell’azienda: soddisfare i propri clienti, perseguendo la miglior qualità, al minor costo e nel minor tempo possibile.

I principi elencati verranno poi approfonditi più in dettaglio in seguito, in particolar modo gli strumenti utilizzati nell’azienda Trumpf-Sisma.

1.4. Strumenti Lean utilizzati in TRUMPF-Sisma

In questa sezione vengono presentati alcuni strumenti utilizzati tipicamente nell’applicazione del Lean Thinking nelle aziende.

In particolare, vengono mostrati in dettaglio gli strumenti utilizzati in TRUMPF-Sisma, alcuni solo in maniera generica per poi essere approfonditi nei capitoli successivi.

Gli strumenti vengono presentati seguendo la struttura della casa del Lean. Si partirà dalle fondamenta, risalendo poi verso quel che è il tetto della casa, con l'obiettivo di spiegare più in dettaglio quelli che sono gli strumenti che permettono ad un'azienda di perseguire e raggiungere gli obiettivi del Lean Thinking: miglior qualità e basso costo nel minor tempo possibile.

1.4.1. Standard Work

La standardizzazione delle operazioni è un concetto che sta alla base della casa del Lean. Per avere processi migliori e standardizzati infatti è necessario che anche le singole operazioni all'interno del processo siano standardizzate.

I componenti fondamentali per avere “standard work” sono:

1. **Takt time:** rappresenta il ritmo al quale deve scorrere il flusso del valore, ovvero il ritmo della produzione. È il tempo che serve a produrre un singolo componente o l'intero prodotto, necessario per rendere le stazioni produttive sincronizzate così da avere un flusso di produzione continuo e bilanciato.
2. **Sequenza di lavoro:** è necessario avere una sequenza di lavoro ben definita e dettagliata, in modo tale da evitare errori e sprechi. È possibile aiutarsi con manuali, documentazione varia, per supportare gli operatori e garantire che il lavoro sia sempre svolto in maniera ottimale.
3. **Giacenza di ciclo:** per standardizzare il lavoro è necessario anche standardizzare la quantità di materiale necessaria per completare un ciclo di lavorazione e permettere la continuità del flusso. L'obiettivo è quello di arrivare ad una produzione “one-piece flow”.

Il concetto di standard è fondamentale nel Lean Thinking. Se non c'è standard, non c'è kaizen, non c'è miglioramento.

Il termine KAIZEN (改善) è la composizione di due termini giapponesi: *KAI*, che vuol dire *cambiamento*, e *ZEN*, che vuol dire *in meglio*. Con il termine

KAIZEN quindi si vuole identificare un cambiamento in meglio. È un concetto che si trova alla base di questa filosofia Lean, e non può mancare.

Il Kaizen è un miglioramento graduale, fatto a piccoli passi, giorno dopo giorno.

“Do not aim for perfection. Create a lenient standard work to begin with. When there is no standard, there is no Kaizen.” - Taiichi Ōno-

1.4.2. Visual Management

Il Visual Management è una tecnica Lean che ha come obiettivo quello di rendere visibile tutti i processi, mettendo in chiaro criticità che si possono generare cercando di conseguenza una soluzione immediata.

Gli strumenti più utilizzati sono:

- *Strumenti per la rappresentazione di informazioni.* Possono essere di due tipi: display che presentano dati sul processo in tempo reale, ad esempio l'*Andon* (fig. 1.4), in cui vengono visualizzate tutte le informazioni risulta essere un ottimo strumento per le rilevazioni di eventuali criticità lungo il processo; oppure semplicemente moduli in carta (fig. 1.5), in cui si riportano dati che non hanno bisogno di aggiornamento in tempo reale.

Questa tipologia viene spesso utilizzata nel *Shopfloor Management*.



FIG. 1.4 – Andon in TRUMPF-Sisma



FIG. 1.5 – Lavagne visual in TRUMPF-Sisma S.r.l.

- *Segnaletica*: segnaletica orizzontale o tramite adesivi/etichette.



FIG 1.6 – Segnaletica orizzontale in TRUMPF-Sisma

- *Riordino degli strumenti e del posto di lavoro* tramite la tecnica delle 5S, che verrà spiegata in dettaglio nel prossimo paragrafo.

1.4.3. Le 5S

La tecnica delle 5S ha come base un principio molto semplice ma incisivo:” un posto per ogni cosa e ogni cosa al suo posto”.

Questo metodo ha l’obiettivo di far raggiungere l’azienda un livello di eccellenza nel miglioramento del posto di lavoro in termini di ordine, organizzazione e pulizia.

Le 5S si riferiscono alle cinque fasi di cui è composto il metodo, identificate con cinque parole giapponesi che iniziano per S:



FIG 1.7 - Le 5S

1. **SEIRI:** scegliere e separare. Questo è il primo passo verso il miglioramento del proprio posto di lavoro. È necessario analizzare approfonditamente la postazione, scegliendo e separando tutto ciò che non è utile nell'esecuzione del lavoro.

In caso di dubbio, è sempre meglio scartare l'oggetto. Questo perché il metodo ha l'obiettivo di far nascere l'esigenza vera di tale oggetto. Se si manifesterà successivamente il bisogno dell' attrezzo, si potrà recuperarlo in un secondo momento. In questa fase è importante separare il necessario dal superfluo, eliminando o ricollocando quest'ultimo.

*“più materiale c'è a magazzino, meno probabilità c'è
che si trovi ciò di cui si ha bisogno”*

Taiichi Ōno

2. **SEITON:** sistemare e organizzare. Dopo aver identificato ciò che è necessario, è il momento di trovare “un posto per ogni cosa” e mettere “ogni cosa al suo posto”. In altri termini, in questa fase l'obiettivo è

quello di dare a ciascun oggetto una precisa collocazione, renderlo visibile e riconoscibile. Un oggetto in ordine deve essere facile da vedere, prendere, usare e riposizionare.



FIG. 1.8 – Carrello strumenti in TRUMPF-Sisma

3. **SEISO:** splendere. In questa terza fase, l'obiettivo è quello di mantenere ogni cosa nella miglior condizione possibile. Questo permette agli operatori di ispezionare il posto di lavoro e rilevare eventuali problemi sul nascere (ad esempio perdite di olio da un macchinario). Mantenere un posto di lavoro pulito e ordinato quindi non ha come effetto solamente un miglioramento in termini di "qualità lavorativa" ma permette anche di effettuare con maggiore efficienza ispezioni e manutenzioni periodiche.
4. **SEIKETSU:** standardizzare. Lo stato raggiunto applicando le prime 3 fasi del metodo deve essere mantenuto nel tempo. In queste ultime due fasi, si cerca di creare il metodo vero e proprio, di creare la "routine". In questa fase si cerca di definire uno standard, una procedura condivisa da far rispettare.
5. **SHITSUKE:** sostenere. È l'ultima fase del metodo, e ha come obiettivo quello di sviluppare l'abitudine al rispetto delle procedure e degli standard che sono stati precedentemente definiti. Per fare questo è necessario monitorare gli standard, condividerli in maniera diffusa, fare formazione del personale, e motivarlo, creando momenti di incontro per comunicare i miglioramenti ottenuti. Le regole stabilite nel corso delle prime 4S devono essere ben chiare a tutti, comunicate,

discusse e anche affinate. È fondamentale che siano ben chiari i ruoli, in modo tale da non correre il rischio di farsi trascinare dall' "entropia naturale delle cose".

1.4.4. Kanban

Il Kanban (Kan (看) = visuale, Ban (板) = segnale) è uno degli strumenti più caratteristici degli strumenti JIT, utilizzato per la riduzione dello spreco più importante, la sovrapproduzione. Come già anticipato, la sovrapproduzione è lo spreco peggiore, che genera tutti gli altri *muda*. È quindi fondamentale trovare degli strumenti per ridurlo o addirittura eliminarlo.

Il metodo, che si basa su dei cartellini fisici che rappresentano il "segnale visuale", ha come obiettivo quello di consentire una migliore gestione dei materiali e componenti fra le fasi produttive e tra magazzino e fornitori, tutto in ottica pull.

Tramite il Kanban infatti, il flusso non scorre più da monte a valle, bensì è al contrario: è dalla valle che partono i segnali per la richiesta dei materiali, per cui il flusso parte da valle e arriva a monte, proprio in ottica PULL.

Il kanban ha quindi tre finalità:

- indica al processo a monte di inviare altro materiale.
- è uno strumento di controllo visivo che elimina la sovrapproduzione.
- è uno strumento per il miglioramento continuo (kaizen).

Possiamo classificare il kanban in due tipologie:

1. ***Kanban di movimentazione***, il quale serve per movimentare il materiale verso il processo produttivo;
2. ***Kanban di produzione***, il quale rappresenta un vero e proprio ordine di produzione. Si autorizza il processo a monte a produrre un certo componente per un processo a valle.

Le informazioni che generalmente troviamo in un cartellino kanban sono:

- il codice del componente
- la descrizione del componente
- il fornitore di quel componente

- il cliente che lo richiede
- il tempo a disposizione per il ripristino
- il contenitore da utilizzare
- la quantità da ripristinare

1.5. La linea mixed model

Al giorno d’oggi, la domanda dei prodotti e le richieste dei clienti sono cambiate notevolmente: il cliente richiede un prodotto sempre più customizzato, non più un singolo modello standardizzato. La ricerca della varietà è in continua crescita, per cui le aziende stesse hanno la necessità di far fronte a questi cambiamenti con un sistema che sia flessibile e facilmente adattabile alle richieste.

Un modo per riuscire a rispondere in maniera efficiente alla domanda è proprio quella di avere alla base un sistema in grado di offrire prodotti diversi, di adattarsi alle fluttuazioni della domanda senza sforzi eccessivi: in poche parole un sistema che sia flessibile, capace di adattarsi e adeguarsi al cambiamento, che può andare dalla variazione del volume produttivo, della tipologia di prodotto o anche di processo. Tale capacità di mutamento non deve essere solamente veloce, ma anche economica e priva di peggioramenti in termini di qualità ed efficienza.

Qualsiasi variazione nella produzione però può creare sprechi. Come dice Ohno: “In una linea di produzione, le fluttuazioni nel flusso dei prodotti aumentano gli sprechi. Ciò è dovuto al fatto che impianti, lavoratori, scorte e altri elementi richiesti per la produzione devono essere sempre pronti per i picchi produttivi” (*Peter L. King, Lean thinking per le aziende di processo: Gestire la complessità senza sprechi per essere più flessibili e veloci, 2017*).

Per questo motivo, si sono diffuse ed evolute sempre di più le cosiddette *linee mixed-model*: linee in cui vengono assemblati prodotti diversi, alternandosi lungo la linea, in modo tale da soddisfare la domanda e da consentire di avere un flusso di produzione il più possibile continuo.

Questa modalità di produzione è in perfetta sintonia con la filosofia Lean: avere una produzione fluida consente di eliminare sprechi di attesa e sovrapproduzione. Se poi il sistema produttivo funziona con la logica del *JIT*

(*Just In Time*) e la sequenza dei prodotti è stata analizzata e scelta con criteri ben studiati, tale sistema garantisce una produzione cosiddetta *livellata*, che permette di reagire prontamente alle variazioni prodotte dal mercato e di generare a monte della linea di assemblaggio un flusso produttivo regolare e continuo, con conseguente riduzione dei costi e calo delle giacenze minime dei semilavorati e dei prodotti finiti.

All'interno di sistemi in linea di assemblaggio mixed-model, assieme alle criticità di lungo termine come la definizione del bilanciamento, il layout, il numero e tipologia di risorse, la gestione dei materiali, vi sono obiettivi di breve periodo, come la scelta del sequenziamento dei modelli da produrre nella linea (*sequencing*). È di fondamentale importanza trovare il giusto mix di prodotti per poter soddisfare al meglio la domanda di mercato e bilanciare in modo corretto il personale, gli impianti e i componenti.

Per fare questo, viene utilizzato l'Heijunka box, ossia uno strumento di controllo visuale:

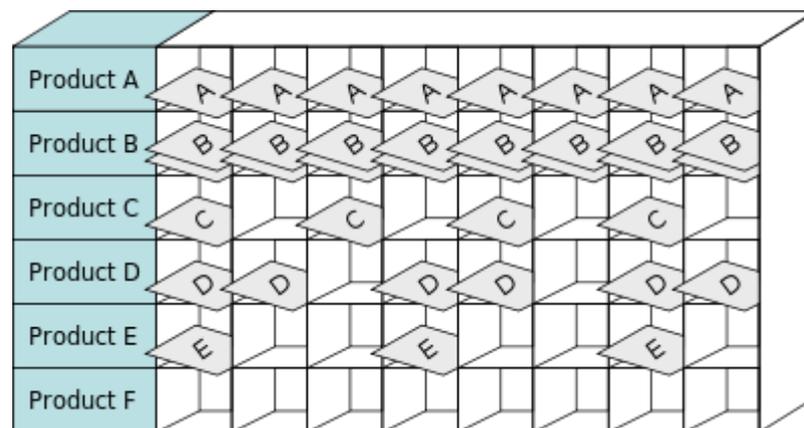


FIG. 1.9 – Esempio di Heijunka Box

In un tipico *box heijunka* ogni riga orizzontale rappresenta un prodotto, mentre ogni colonna verticale rappresenta gli identici intervalli di tempo nei quali ritirare il cartellino kanban. Il cartellino *kanban* negli scomparti rappresenta un *pitch* di produzione per un determinato tipo di prodotto (*pitch* è il *takt time* moltiplicato per la quantità del prodotto che viene messa in un imballo). Usato come nell'illustrazione, il *heijunka box* livella costantemente la domanda in brevi incrementi di tempo (anziché rilasciare il programma per turno, giorno o settimana...) e livella la domanda per mix del prodotto (ad

esempio, assicurando che i prodotti D ed E vengano prodotti con un ritmo costante e in lotti piccoli).

2. TRUMPF-Sisma S.r.l.

In questo capitolo viene presentata l'azienda TRUMPF-Sisma S.r.l., sede dello svolgimento di questo studio.

Nella prima parte si presentano le due realtà da cui è nata TRUMPF-Sisma e la storia dell'azienda fino ad oggi.

Nella seconda parte vengono presentati la tecnologia, i prodotti, la presenza dell'azienda sul mercato e le possibilità del futuro.

2.1. Storia

L'azienda TRUMPF-Sisma S.r.l nasce nel 2014 a seguito di una joint venture stipulata tra TRUMPF GmbH + Co.KG, azienda leader tecnologico e di mercato nel campo delle macchine utensili e laser, e Sisma S.p.A., azienda di riferimento per la produzione e progettazione di macchine ad altissima precisione. Il punto in comune tra le due realtà è il *know how* sulla tecnologia laser: da qui è nata l'idea di fondare una piccola joint venture, con lo scopo di approfondire la conoscenza su questa tecnologia e di sfruttarla realizzando prodotti innovativi.



FIG. 2.1 – Logo di TRUMPF-Sisma S.r.l. e stabilimento a Schio (VI)

La joint venture creata si posiziona nel settore dell'additive manufacturing. Quest'ultimo comprende un insieme di processi di produzione i quali rendono possibile la realizzazione, in poche ore e senza l'utilizzo di utensili, di oggetti di geometria comunque complessa, direttamente dal modello matematico creato attraverso un sistema CAD (Computer Aided Design) tridimensionale. Queste tecnologie hanno tutte uno stesso principio: per creare il pezzo non viene asportato via materiale bensì viene “aggiunto strato per strato”.

Grazie alla partecipazione di entrambe le aziende nel mettere il proprio know-how, la propria esperienza e i propri investimenti, TRUMPF-Sisma si presenta ad oggi come un'azienda in continua crescita.

A seguito una breve presentazione delle due realtà alle spalle di TRUMPF-Sisma.

2.1.1. TRUMPF GmbH + Co. KG

TRUMPF *GmbH + Co. KG* è una società leader a livello mondiale nei settori macchine utensili, laser ed elettronica.



FIG. 2.2 – Logo TRUMPF e stabilimento principale a Ditzingen (Baden-Württemberg)

Fondata nel 1923 con sede centrale attualmente situata a Ditzingen, TRUMPF vanta una storia di più di 90 anni, legata ad un'innovazione continua con l'obiettivo di essere un'azienda sempre all'avanguardia.

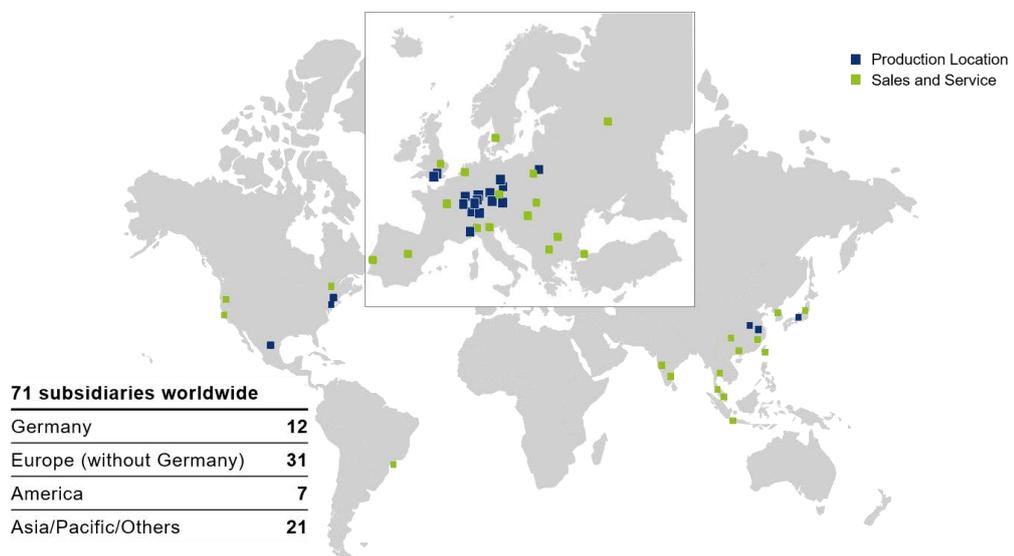


FIG. 2.3 – TRUMPF nel mondo

TRUMPF opera su due principali divisioni di business:

- **Macchine utensili:** rappresenta l'attività principale dell'azienda. Il portafoglio prodotti offre impianti e sistemi per la punzonatura, piegatura, processi combinati laser-punzonatura, applicazioni di taglio 2D e 3D o saldature laser per la lavorazione della lamiera flessibile.
- **Laser:** la tecnologia laser è il cuore dell'azienda. Il know-how acquisito negli anni e la continua ricerca di innovazione consentono a TRUMPF di posizionarsi tra i leader di settore nel mercato.

TRUMPF al giorno d'oggi si sta indirizzando sempre più anche verso l'industria 4.0. Nel settembre 2017 TRUMPF ha inaugurato la Smart Factory a Chicago. Il centro tecnologico per le soluzioni dell'Industria 4.0 è stato progettato interamente con processi di produzione digitali in rete. La consulenza e la formazione dei clienti sono al centro dell'attenzione nella fase di introduzione delle soluzioni di lavorazione digitali in rete.

La nuova Smart Factory rappresenta un'importante pietra miliare per l'ampliamento e lo sviluppo del mercato negli Stati Uniti.

2.1.2. Sisma S.p.A.

Sisma S.p.A. è un'azienda di riferimento a livello internazionale per la progettazione e produzione di macchine ad altissima precisione.



FIG.2.4 – Logo Sisma S.p.A e stabilimento a Piovene Rocchette (VI)

Fondata nel 1961, Sisma può fare affidamento sulla grande esperienza acquisita e sviluppata nel corso degli anni.

Il core business consiste in sorgenti laser, sistemi per saldatura, marcatura, 3D, taglio, LMF (Laser Metal Fusion) e macchine per oreficeria.

Oggi Sisma è una multinazionale presente in tutto il mondo, con una forte rete commerciale, per riuscire a mantenere stretti contatti con il cliente e garantire loro la massima assistenza tecnica e consulenza.



FIG. 2.5 – Sisma S.p.A. nel mondo

2.1.3. Joint venture: TRUMPF-Sisma S.r.l.

Il 6 maggio 2014 viene stipulata la joint venture tra TRUMPF e Sisma: nasce così TRIUMPF-Sisma S.r.l., azienda che ha come obiettivo quello di sviluppare e produrre sistemi e macchine di ultima generazione per la stampa 3D di componenti metallici.

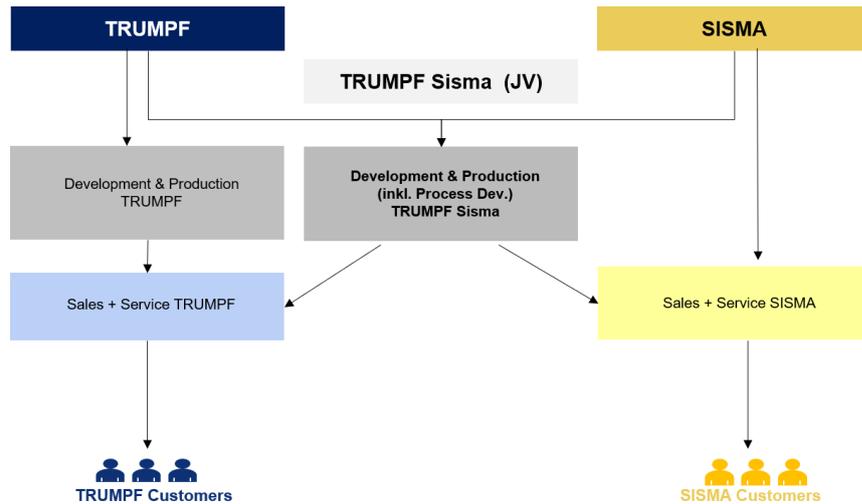


FIG. 2.6 – Struttura della joint venture.

La prima stampante 3D LMF viene lanciata sul mercato nel 2014 all’Euromold, fiera leader nel mondo per il settore della Tecnica Additiva/ Stampa 3D, che riunisce ingegneri industriali, sviluppatori di prodotti, produttori, fornitori e utenti finali per presentare i metodi più dinamici, economici, ed efficienti per lo sviluppo e la produzione dei nuovi prodotti.

Nel 2016 viene inaugurato il nuovo stabilimento a Schio (VI): con i suoi 4200 metri quadrati, oggi la sede ospita il reparto di ricerca e sviluppo, i laboratori e le linee di produzione.

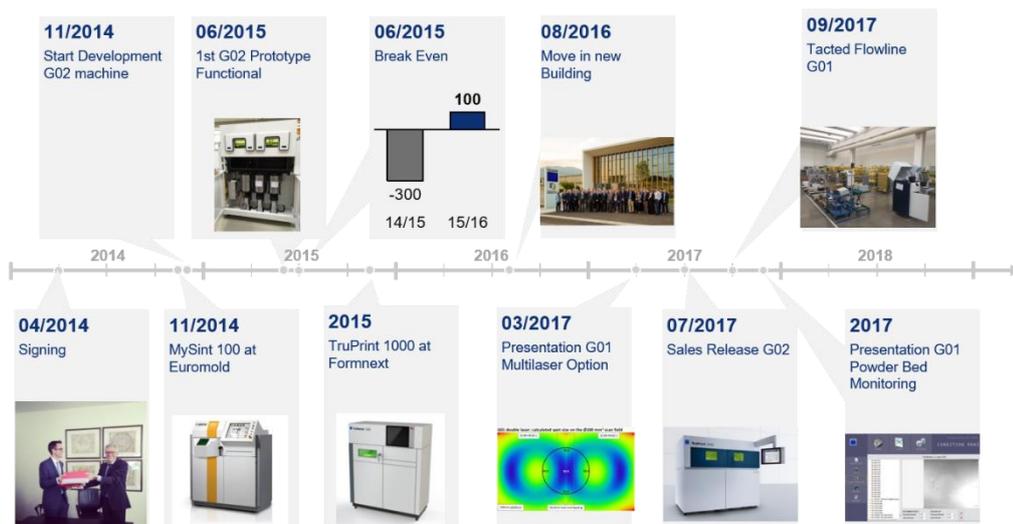


FIG. 2.7 – Storia TRUMPF-Sisma

TRUMPF-Sisma ad oggi è un'azienda che presenta 58 dipendenti, con un'età media di 38 anni, per cui risulta essere un ambiente molto giovanile, pronto ad accogliere le nuove sfide del futuro.

2.1.4. Organigramma

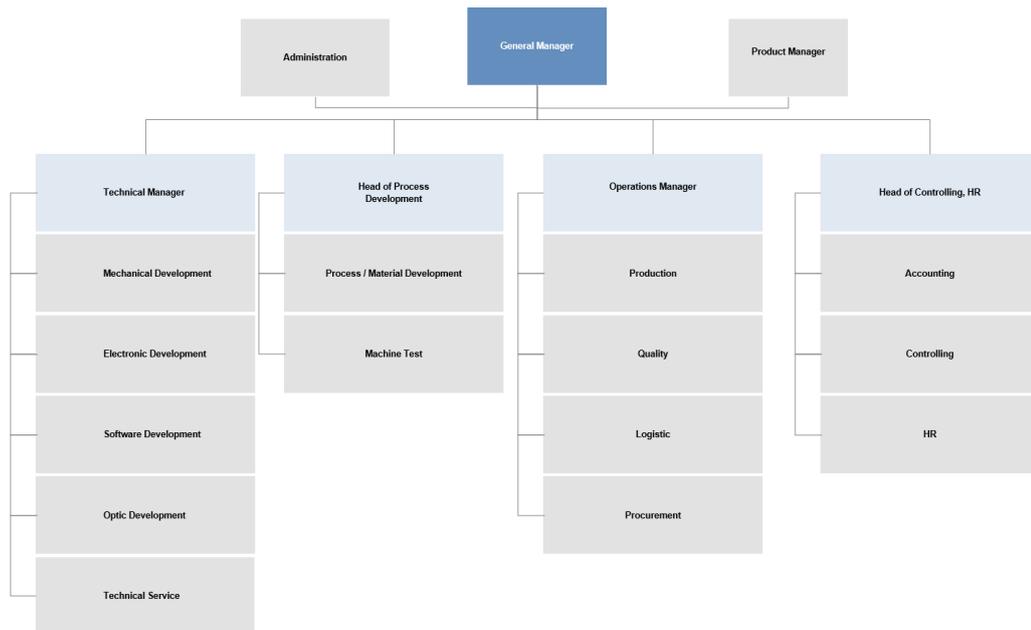


FIG. 2.8 – Organigramma di TRUMPF-Sisma S.r.l.

2.2. Tecnologia

TRUMPF-Sisma è focalizzata sullo sviluppo e la produzione di sistemi innovativi per la stampa 3D di metalli, nel campo dell'*additive manufacturing*.

Il termine “Additive manufacturing” (AM) comprende un insieme di tecnologie che permettono la stampa di oggetti tridimensionali mediante la sovrapposizione di più strati dello stesso materiale, secondo una logica additiva: partendo da un modello virtuale 3D (CAD), esso viene convertito nel formato STL (*Standard Triangulation Language*) e suddiviso in un numero di strati sottili in 2D (*slicing*), ottenendo infine il cosiddetto *build file*.

Tale file viene poi trasferito nella “stampante”, la macchina di produzione additiva, che deposita e fissa fisicamente, strato dopo strato, tutte i *layer*.

Questo insieme di tecnologie è nato inizialmente come soluzione per la produzione in tempi rapidi di prototipi presso le aziende più grandi e innovative. Negli ultimi anni, grazie alla scadenza di alcuni brevetti chiave, è crollato il costo delle stampanti, con una conseguente diffusione che cresce esponenzialmente (Wohlers report 2013).

Le tecnologie additive, ad oggi, sono ancora in parte nella loro fase di sviluppo, come riportato dalla curva Hype Cycle di Gartner (fig. 2.8)



FIG. 2.9 – Curva di Gartner per le tecnologie additive aggiornata al 2017

(<https://www.fabbaloo.com/blog/2017/8/2/about-that-hype-cycle>)

La principale potenzialità della produzione additiva è la quasi totale libertà di forma producibile: permette di realizzare forme che risulterebbero impossibili da ottenere con i processi tradizionali, come ad esempio elementi con geometrie interne complesse. Oltre a questo, le tecnologie additive consentono di ridurre notevolmente il *time to market*: c'è la possibilità di produrre piccoli lotti da immettere subito sul mercato per testarne l'efficacia e l'appetibilità, fare le modifiche necessarie in base ai feedback dell'utenza, e avviare poi la produzione su larga scala.

I principali processi di Additive manufacturing in base alla normativa ASTM F-42 sono suddivisi come in tabella 2.1.

TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE	TECNOLOGIE CORRELABILI	MATERIALI
Fusione a letto di polvere. (Powder bed fusion)	Energia termica fonde selettivamente alcune regioni di un letto di polvere.	Electron Beam Melting (EBM) Selective Laser Sintering (SLS) Laser Metal Fusion (LMF)	Metalli, Polimeri
Deposizione diretta	Il materiale oggetto di fusione viene fuso durante la sua applicazione da un fascio di energia termica	Laser Metal Deposition (LMD)	Metalli
Getto di collante	Un getto di agente collante viene selettivamente depositato per unire la polvere	Powder bed and inkjet head (PBIH) Plaster-based 3DPrinting (PP)	Polimeri Polvere di fonderia Metalli
Getto di materiale	Particelle di materiale vengono selettivamente depositate. In forno avverrà la reazione di fusione	Multi-Jet Modeling (MJM)	Polimeri Cera
Laminazione	Fogli di materiale vengono incollati e tagliati tramite laser fino a formare il componente finale	Laminated object manufacturing (LOM) Ultrasonic Consolidation (UC)	Carta Metallo
Fotopolimerizzazione	Energia termica concentrata attiva la reazione di polimerizzazione delle catene polimeriche	Stereolithography (SLA) Digital Light Processing (DLP)	Fotopolimeri
A filamento	Il filamento di materiale viene estruso e depositato attraverso un ugello caldo	Fused Deposition Modelling (FDM)	Polimeri

Tab. 2.1 – Classificazione tecnologie di additive manufacturing

(www.tec-eurolab.com)

TRUMPF-Sisma è focalizzata sullo sviluppo e la produzione di sistemi di stampa 3D che utilizzano la tecnologia LMF, Laser Metal Fusion.

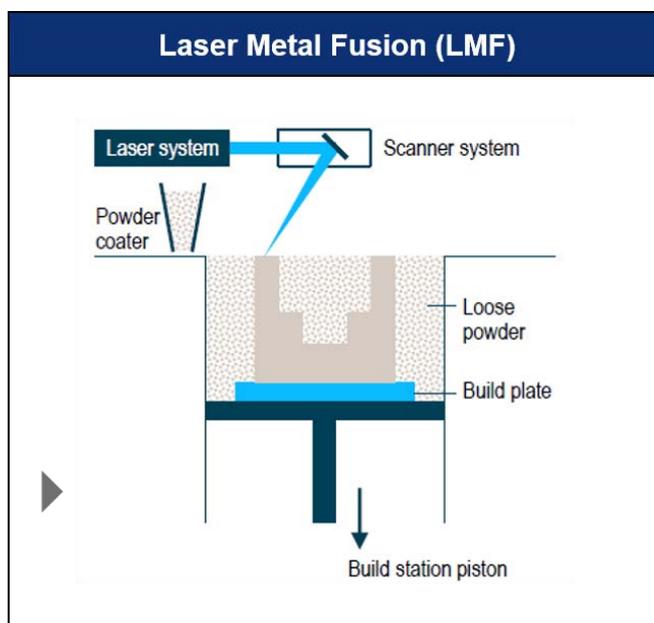


FIG. 2.10 – Schema funzionamento processo Laser Metal Fusion

Questa tecnologia si basa sul processo di fusione a letto di polvere: il componente viene creato dalla fusione strato per strato della polvere tramite un raggio laser, che esegue il percorso dettato dal *build file*. Si possono utilizzare numerosi materiali metallici in polvere, come ad esempio l'acciaio, l'alluminio o il titanio. Il componente risultante da tale tecnologia, ha le stesse caratteristiche di quello ottenuto con i metodi tradizionali. Il processo risulta essere particolarmente interessante per la costruzione leggera e la realizzazione di strutture bioniche, come ad esempio quelle che trovano applicazione nei settori aerospaziale e aeronautico e automobilistico, ma anche nella tecnica medica.



FIG. 2.11 – Applicazione dentale

2.3. Prodotto e mercato

TRUMPF-Sisma è nata come azienda per la produzione di stampanti 3D di medio-piccole dimensioni, con l'obiettivo di inserirsi nei settori della gioielleria, industriale, dentale e medicale.

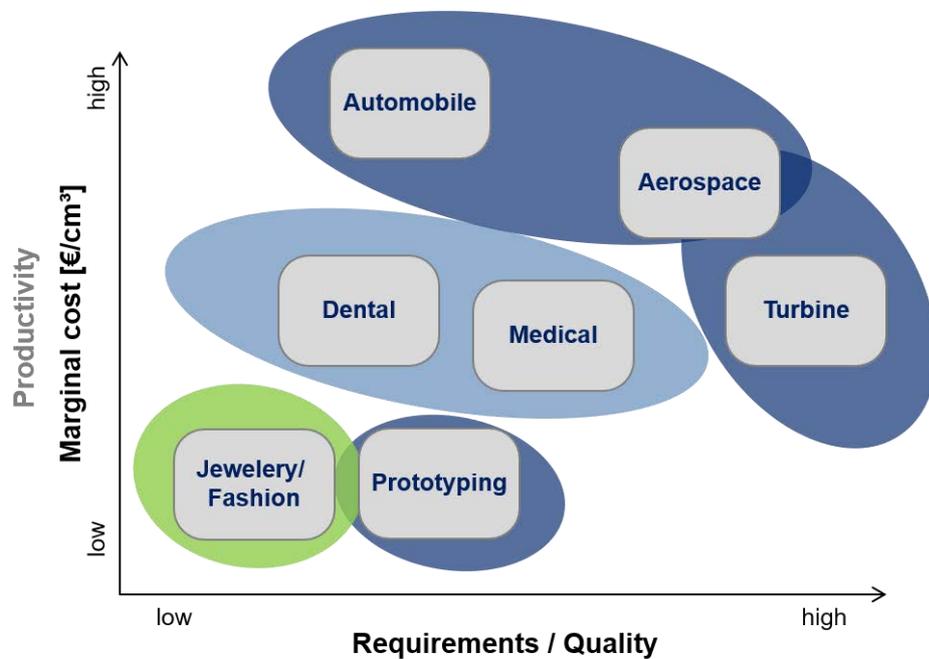


FIG. 2.12 – Settori target

Il portafoglio prodotti risulta essere composto da 4 modelli:

2.3.1. MySint 100/ TruPrint 1000:



FIG 2.13 – Modelli MySint 100 e TruPrint 1000

Questi due modelli (fig 2.13) rappresentano quella che è la gamma di prodotti per le stampanti di piccole dimensioni.

Le caratteristiche sono riassunte nella seguente tabella (tab 2.2):

Build cylinder	mm x mm	Ø 100 x 100 Optional: Cylinder reduction
Building materials		Stainless steel, tool steel, cobalt-chromium, aluminum, nickel-based alloy, titanium, precious metals, bronze
Layer density	µm	10-50
Laser source: Fiber laser	W	200
Focal diameter	µm	55 Optional: 30
O2 concentration	ppm	Up to 100 (0,01%)
Scanning speed	m / s	Max. 6
Shielding gas		Nitrogen, argon
Power supply	V / A / Hz	230 – 7 – 50/60
Dimensions	mm	1445 x 1680 x 730
Weight	kg	705

Tab 2.2 – Tabella riassuntiva caratteristiche MySint100/TruPrint 1000

2.3.2. MySint 300/ TruPrint 3000:

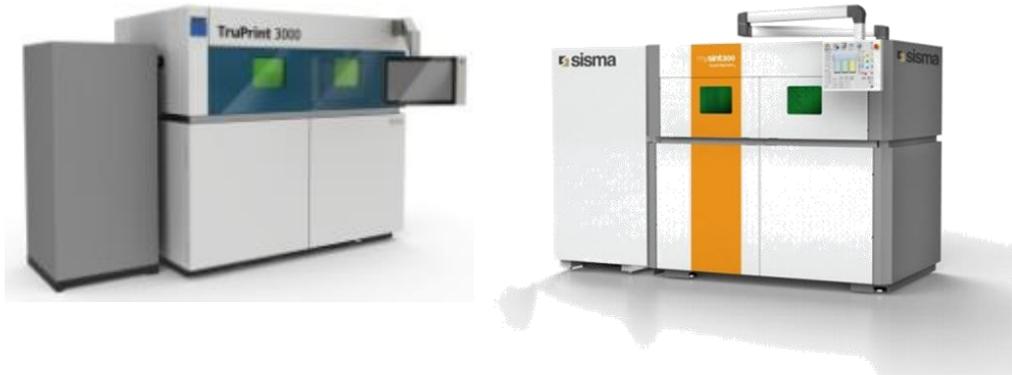


FIG 2.14 – Modelli MySint 300 e TruPrint 3000

Questi due modelli (fig.2.14) presentano quella che è la gamma di prodotti per le stampanti di medie dimensioni.

Queste stampanti, oltre che garantire una dimensione del componente finale maggiore rispetto alle stampanti di piccole dimensioni, sono dotate di un sistema di *pre-riscaldamento* che consente di avere un componente stampato di qualità e anche con dimensioni maggiori.

Le caratteristiche sono riassunte nella seguente tabella (tab 2.3).

Laser source: Fiber laser	W	500
Pre-heating	°C	200
Layer density	µm	Typically 20-150 ^[1]
Beam diameter	µm	100 – 500 ^[1]
O2 concentration	ppm	Up to 100 (0.01%)
Scanning speed	m / s	Max. 11
Shielding gas		Nitrogen, argon
Power supply	V / A / Hz	400 – 32 - 50/60
Dimensions	mm	3385 x 2005 x 1475
Weight	kg	4300
Building materials		Stainless steel, tool steel, cobalt-chromium, aluminum, nickel-based alloy, titanium, precious metals, bronze

Tab 2.3 – Tabella riassuntiva caratteristiche MySint 300/ TruPrint 3000

3. Caso aziendale

In questo capitolo viene presentato il progetto portato avanti durante il percorso in TRUMPF-Sisma: la riprogettazione della linea di assemblaggio.

Nella prima parte, dopo alcune premesse del progetto, viene mostrata la situazione iniziale dell'azienda. Verrà in seguito introdotto il progetto, assieme a tutte le attività eseguite nel periodo del tirocinio.

3.1. Premesse del progetto

TRUMPF-Sisma S.r.l., dopo 4 anni di espansione, si è trovata di fronte ad un quesito molto importante: come fare a continuare a soddisfare la domanda in continua crescita, cercando di aumentare l'efficienza senza accrescere notevolmente la capacità a disposizione e cercando di sfruttare al meglio lo spazio a disposizione. Da qui è nata l'idea di creare una nuova linea di assemblaggio mixed model applicando i principi della filosofia Lean, in grado di garantire, secondo i sostenitori, una maggiore efficienza, un miglior sfruttamento dello spazio ma soprattutto maggiore flessibilità nel processo, che consentirebbe di soddisfare in modo più adeguato la domanda del mercato.

3.2. Situazione iniziale

È fondamentale, per qualsiasi progetto, effettuare una analisi di ciò che è il funzionamento iniziale dell'azienda. Tale fase preliminare viene comunemente chiamata "Analisi *AS-IS*". Essa permette di individuare le inefficienze e le criticità del sistema che dovranno essere corrette o comunque ridotte al minimo.

3.2.2. Layout

La figura 3.1 ci mostra il layout iniziale dell'area produttiva, evidenziata in rosso.

La realizzazione delle due gamme di prodotti, che chiameremo per semplificare **G01** (TruPrint 1000 e MySint 100) e **G02** (TruPrint 3000 e MySint 300), avveniva tramite due differenti linee di assemblaggio, una con un layout a linea mentre l'altra a postazione fissa, con aggiunta di un'area di premontaggio.

Possiamo identificare quindi dalla figura 3.1 quattro macro-aree:

- Linea di assemblaggio G01, evidenziata in arancione;

- Linea di assemblaggio G02, evidenziata in blu;
- Linea di preassemblaggio G02: è una zona dedicata all'assemblaggio dei premontaggi. Per premontaggio si intende la realizzazione di tutti quei componenti delle macchine che risultano o troppo complessi o troppo ingombranti per essere realizzati direttamente in linea, e per questo vengono gestiti al di fuori della linea stessa. Una volta completati vengono portati nella corrispondente fase della linea e installati sulla macchina;
- Zona magazzino.

Oltre a queste 4 aree possiamo identificare la presenza di una stanza per il *Final Test*. Qui le macchine vengono collaudate e testate a fine assemblaggio per garantire al cliente un prodotto di qualità: il test viene effettuato in una stanza chiusa, a se' stante, per garantire un ambiente in assoluta sicurezza, in quanto le polveri di metallo possono essere, se gestite in modo inadeguato, un problema per la sicurezza sul lavoro e vengono pertanto manipolate in ambiente isolato in via precauzionale; una stanza per il *controllo qualità*, in cui i componenti più critici vengono analizzati e controllati prima di essere introdotti in linea; *l'ufficio produzione*, in cui sono presenti il personale dell'ufficio acquisti, i responsabili della qualità e della pianificazione e l'operations manager.

Come possiamo notare, il capannone non è ancora totalmente sotto la proprietà di TRUMPF-Sisma: resta infatti proprietà di Sisma S.p.A. una zona contenente anche la camera bianca, in cui vengono preassemblati i componenti più delicati.

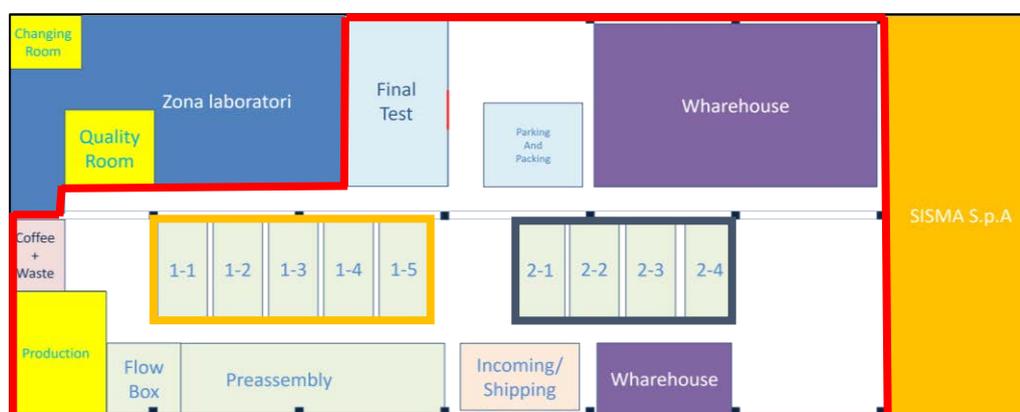


FIG. 3.1 – Piantina area produzione TRUMPF-Sisma s.r.l.

Con il presente layout, il flusso dei materiali è inefficiente e con lunghe distanze per il trasporto dei componenti da un'area all'altra.

Per evidenziare questo problema possiamo utilizzare lo *spaghetti chart*, strumento Lean che ha come obiettivo quello di tracciare i flussi fisici di materiali – o di persone o documenti- rendendoli ben visibili.

Possiamo vedere ad esempio il flusso del materiale in entrata all'interno dello stabilimento (fig 3.2): il materiale inizialmente viene scaricato dai fornitori in accettazione e parcheggiato nell'area di stoccaggio temporanea a fianco; viene poi smistato nei vari carrelli supermarket presenti in linea e nella zona di premontaggio, mentre i componenti di grandi dimensioni, non addatti alle misure delle scatole kanban, vengono stoccati nel magazzino centrale.

Il solo flusso dei materiali in entrata ci mostra quanto sia inefficiente la disposizione delle varie aree: se si aggiungessero i flussi di materiale rimanenti, ad esempio i premontati che vanno portati in linea, o in generale i materiali necessari per l'alimentazione delle due linee di assemblaggio, i percorsi non risulterebbero più distinguibili.



FIG. 3.2 – Flusso dei materiali in entrata

3.2.3. Linee di assemblaggio

Come già accennato nel paragrafo precedente, le due gamme di prodotti vengono assemblate tramite due layout differenti:

- Layout linea (G01)
- Layout a postazioni fisse (G02)

Possiamo vedere nella figura 3.3 il flusso di assemblaggio delle due linee: i percorsi si incrociano tra di loro, creando difficoltà nel perseguire un flusso continuo. Ciò risulta tanto più evidente se al flusso di assemblaggio sovrapponiamo il flusso dei materiali per l'asservimento della linea.

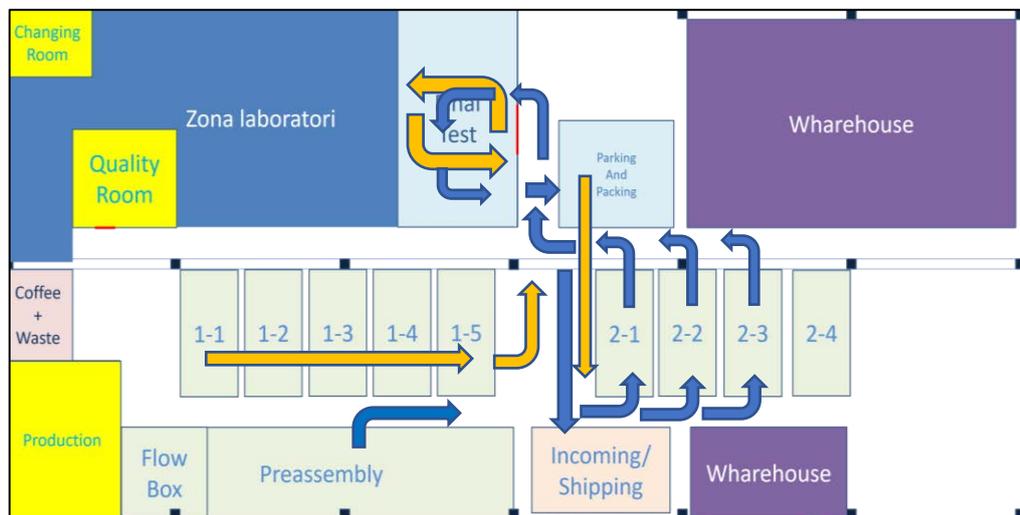


FIG. 3.3 – Percorso di produzione della linea G01 (arancione) e G02 (blu)

L'asservimento delle linee avviene tramite tre modalità:

- **Scaffali supermarket:** l'intera linea di assemblaggio G01 viene alimentata da un magazzino chiamato "supermarket". I componenti presenti in questi magazzini intermedi vengono gestiti a kanban, precisamente con il sistema *kanban double bin*: il numero di cartellini è fissato (ovvero è pari a due). La variabile da determinare è quindi la quantità di pezzi da associare al contenitore o al Kanban. Quest'ultima può essere facilmente definita:

$$Q=C*LT$$

C = consumo massimo giornaliero che può verificarsi durante il Lead Time di ripristino;

LT = Lead Time complessivo necessario per il ripristino.



FIG. 3.4 – Carrello supermarket

- **Carrelli componenti:** l'intera linea G02, a differenza della linea G01, viene alimentata dai *carrelli* in linea che vengono gestiti tramite ordini generati dall' MPS. Questi carrelli, a differenza degli scaffali supermarket, vengono a loro volta alimentati da materiali che sono gestiti *a fabbisogno*: il riordino di questi materiali viene effettuato sulla base della previsione di un fabbisogno futuro. Tramite la tecnica *MRP (Material Requirements Planning)* vengono calcolati i fabbisogni netti dei materiali e pianificati gli ordini di produzione e di acquisto, tenendo conto della domanda del mercato, della distinta base, dei lead time di produzione e di acquisto e delle giacenze dei magazzini.

La logica seguita è quindi una logica *push*, in contrapposizione alla logica *pull* adottata tramite la gestione a *kanban*.

- **Ricerca autonoma da parte dell'operatore:** per i componenti ingombranti non stoccati nei vari carrelli presenti in linea, sono prelevati autonomamente nel magazzino centrale a causa di mancanza di capacità nel dipartimento logistico. Questo evidenzia una grossa

criticità del sistema: la quantità di tempo impiegata nella ricerca del materiale, e quindi improduttiva (*muda*), è enorme.

3.2.2.1. Linea G01

Il processo di assemblaggio delle stampanti G01 avviene tramite 5 stazioni: una adibita i premontaggi, mentre le altre 4 costituiscono una linea di assemblaggio di tipo seriale, con un *takt time* di 14h, calcolato in precedenza in base alle tempistiche rilevate un anno prima.

Il *takt time*, dal tedesco *takt = ritmo*, è il ritmo che la produzione deve avere per soddisfare pienamente la domanda e quindi, il ritmo al quale bisognerebbe produrre per fare in modo che il flusso del valore sia sincronizzato con le reali esigenze dei clienti.

Il *takt time* rappresenta dunque il ritmo al quale deve scorrere il flusso del valore.

$$\textit{takt time} = \frac{\textit{tempo disponibile per turno di lavoro}}{\textit{domanda del cliente per turno di lavoro}}$$



FIG. 3.5 – Linea di assemblaggio G01

La linea di tipo seriale presenta vantaggi come:

- La regolarità del flusso dei materiali con conseguente semplicità di controllo;
- Elevata utilizzazione delle attrezzature e ridotto tempo di attraversamento;
- Linearità e uniformità del processo;
- maggiore velocità di adattamento alla variazione della domanda del mercato;

- elevata specializzazione del personale nelle varie operazioni delle diverse stazioni;
- possibilità di futura estensione.

Non è però da escludere la presenza di svantaggi quali:

- elevata l'influenza della qualità dei processi e dei componenti;
- problemi nell'ottimizzazione di bilanciamento dei carichi di lavoro dovute a eventuali variabilità nei tempi;
- elevata ripetitività delle operazioni: questo accelera l'apprendimento degli operatori, favorendo il *learning effect*, ma può anche portare ad elevato livello di monotonia e rischio di alienazione;
- perdita di flessibilità dovuta all'elevata specializzazione;
- perdita della visione completa del prodotto e del ciclo da parte degli operatori.

Per la rilevazione delle tempistiche non sono state usate tecniche strutturate di tempi e metodi, come la metodologia di Bedaux, in quanto non ritenute strettamente necessarie per la stesura dell'*AS-IS*. Si è proceduto ad effettuare delle rilevazioni ripetute su ogni singola fase, prendendo poi in considerazione il tempo netto più elevato e maggiorato del 10%, indice di efficienza ritenuto opportuno (Tab. 3.1).

STAZIONE 1	t[min]	STAZIONE 2	t[min]	STAZIONE 3	t[min]	STAZIONE 4	t[min]
Sollevarmenti TRUPRINT	136,40	Basamento		Installazione software	126,50	Final test	88,00
camera TRUPRINT (senza powd	605,00	Quadro		Tubazioni	50,00	Machine cleaning	33,00
		Laser singolo (posizionamento e collegamento cavi)		Cablaggi e sensori	47,30	Preparazione finale	119,00
		Secondo laser		Ottica	36,00	Misurazione pezzo	18,00
		PC e collegamento			149,00	seconda ottica	18,00
		Monitor			105,00		
		Cassetto		Montaggio camera	14,00		17,00
		Porta dx e montaggio			26,00		
		Porta sx senza montaggio			9,00		
		Schiene/Carter			58,00		
		Pompa			187,00		
		Filtro aria			49,00		
		Pannello di controllo			33,00		
		Montaggio camera			17,00		
		Powder bed			66,00		
		VOS			66,00		
	741,40				1038,80		275,00
							540,50

Tab. 3.1 – Dettaglio tempistiche delle operazioni per la linea G01

Dopo una prima valutazione dei tempi delle singole fasi attraverso la misura cronometrica di ogni operazione, il bilanciamento della linea è riportato in figura 3.6.

Il grafico presenta il carico di lavoro di ciascuna stazione di assemblaggio: ogni stazione esegue più attività in sequenza, evidenziate dai diversi colori presenti sulle colonne dell'istogramma.

Le attività sono raggruppate seguendo la giusta logica di assemblaggio, tenendo conto dei vincoli meccanici e tecnologici.

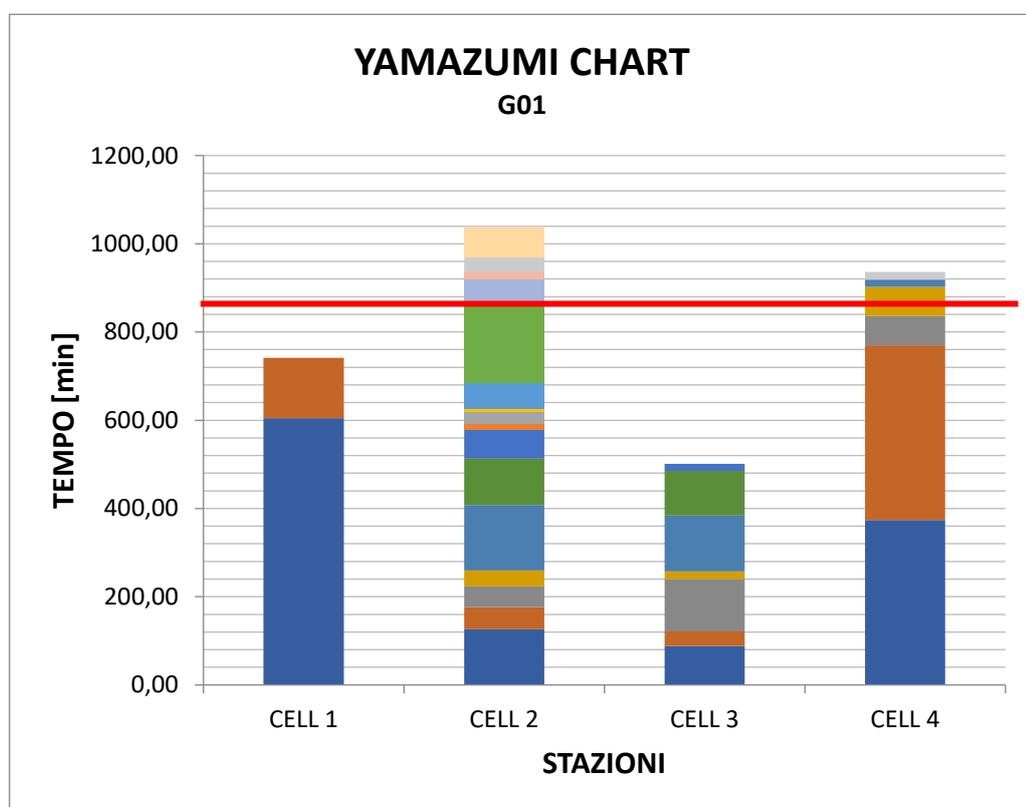


FIG. 3.6 – Yamazumi chart per la linea G01

Il bilanciamento della linea è fondamentale per capire il carico di lavoro di ciascun operatore o stazione. Viene spesso rappresentato tramite il *diagramma Yamazumi* (fig. 3.6), un diagramma a barre utilizzato nelle aziende che applicano la Lean manufacturing per mostrare i carichi di lavoro suddivisi tra un certo numero di operatori, tipicamente di una linea di assemblaggio o di una cella produttiva. Il termine giapponese "yamazumi" indica, letteralmente, "impilare", "mettere una cosa sopra l'altra". È un

diagramma molto utilizzato grazie alla sua semplicità e chiarezza, che consente di visualizzare il carico di lavoro di ciascun operatore o stazione e quindi facilitare l'attribuzione di nuove attività e soprattutto individuare e rimuovere eventuali compiti privi di valore aggiunto.

In ogni postazione di lavoro, ciascun 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. Il bilanciamento deve rispettare, oltre al takt time, i vincoli tecnici e tecnologici e la sequenza di montaggio del prodotto.

Grazie al *Yamazumi chart* le criticità del processo sono immediatamente visibili: la linea risulta essere sbilanciata, il carico di lavoro non è omogeneamente distribuito tra le varie stazioni e quindi tra i vari operatori, arrivando anche a superare quello che è il takt time definito. Da qui nascono alcuni di quelli che sono i problemi giornalieri riscontrati durante la rilevazione dei tempi:

- lunghe attese, come si può notare dal grafico in cui la stazione numero 2 risulta essere il collo di bottiglia;
- accumulo di ritardi;
- corse contro il tempo, tramite straordinari, per il recupero del tempo perso.

3.2.2.2. Linea G02

Il processo di assemblaggio delle stampanti G02 avviene tramite una linea principale di assemblaggio a postazione fissa, e una zona suddivisa in celle di lavoro adibita all'assemblaggio dei sottogruppi ma situata all'esterno della linea.

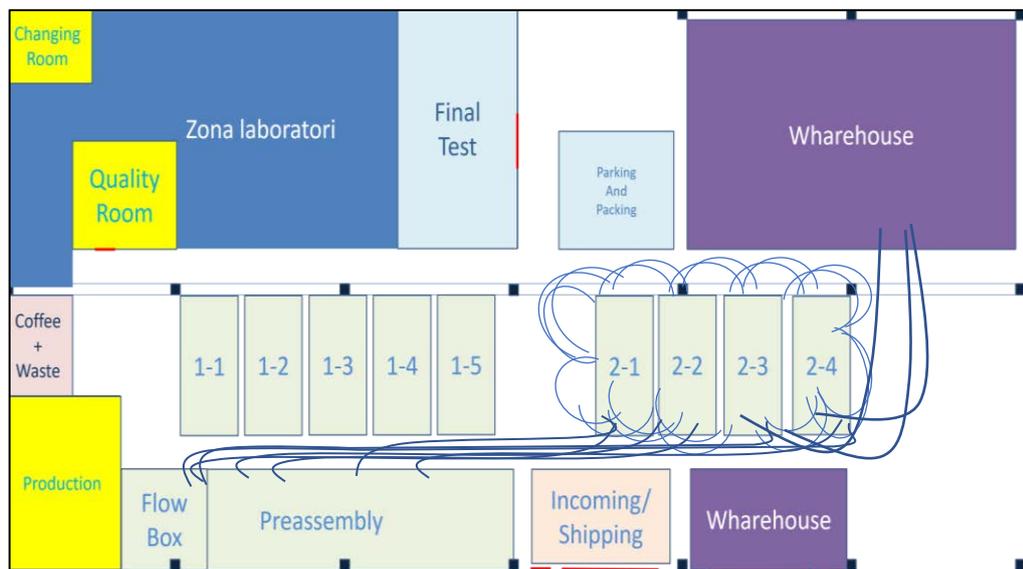


FIG 3.7 – Percorsi operatore e materiale nella linea G02

Il layout a postazione fissa non è molto comune nella produzione di macchine in serie, essendo invece tipico di aziende che lavorano a commessa. Viene utilizzato normalmente quando i prodotti sono molto fragili, grandi o pesanti da movimentare. Si ritrova tipicamente nelle aziende che producono prodotti di grandi dimensioni, come ad esempio navi e aerei.

In tale configurazione, macchine, materiali e/o lavoratori si muovono in un sito di assemblaggio (chiamato isola di assemblaggio) attorno ai prodotti, mentre i prodotti rimangono fissi in un luogo per l'intero periodo di assemblaggio.

I vantaggi che si individuano sono:

- riduzione della movimentazione dei pezzi da lavorare;
- riduzione dei rischi di danneggiamento;
- maggiore continuità della forza lavoro assegnata al prodotto.

Mentre gli svantaggi sono molteplici:

- spazio limitato all'isola di assemblaggio;
- volume e varietà di articoli richiesti altamente dinamica con complessità nella gestione dei materiali;
- richiesta di attrezzature versatili;

- impossibilità di muovere il prodotto durante la produzione, con conseguente limitata mobilità di materie prime, personale, componenti e attrezzature che sono obbligati a seguire specifici percorsi;
- costi elevati per il movimento delle persone e delle attrezzature lungo il sito di lavoro;
- necessità di specializzare i lavoratori;
- necessaria combinazione di capacità negli operatori;
- necessità di acquistare più attrezzature dello stesso tipo con conseguente aumenti dei costi fissi.

La linea di assemblaggio è costituita da 4 stazioni, o meglio chiamate isole di lavoro: in ognuna delle stazioni viene assemblata una stampante G02.



FIG. 3.8 – Stazione di assemblaggio in linea e stazione di premontaggio G02

Gli operatori, a seconda della fase di montaggio e della propria mansione, si muovono da una stazione all'altra, portando con sé le attrezzature necessarie e ricevendo man mano i premontaggi adeguati nel momento giusto e in quantità giusta.

Anche la zona di premontaggio, che segue il montaggio delle macchine, parallelamente alla linea, è suddivisa in fasi, ad ognuna delle quali compete la realizzazione di uno specifico sottogruppo. Questa suddivisione è dettata dalla logica di garantire un corretto e più diretto rifornimento della linea di assemblaggio principale, cercando di far combaciare il momento di necessità di tale macrocomponente con il suo arrivo in linea.

Come per la linea G01, sono state effettuate le rilevazioni delle tempistiche per le singole attività di assemblaggio della G02, mostrate nelle tabelle seguenti (Tab 3.2 e Tab 3.3)

Anche in questo caso le tempistiche rilevate sono state maggiorate del 10% come indice di efficienza.

Finora i tempi delle attività di assemblaggio erano stati calcolati mediante una *stima basata sull'esperienza*: è una tecnica approssimativa e soggettiva basata sulla conoscenza dei dati storici relativi a lavori analoghi e sull'esperienza dei valutatori. Tendenzialmente il valutatore tende a sovrastimare i tempi, per cui questa tecnica risulta essere valida soltanto quando non è necessaria una grande precisione.

IN LINEA	TEMPO [min]
basamento	450,00
cablaggio pre camera	1800,00
cablaggio post camera	350,00
Inserimento box ottico su camera	30,00
Inserimento sollevamenti telescopici	90,00
Inserimento camera e montaggio dettagli	180,00
Allineamento camera	450,00
Carter	900,00
Montaggio sollevam cil in macchina	24,20
PREMONTAGGI	
Cilindro di carico	42,90
Cilindro di lavoro	111,65
Pistone supply	28,60
Pistone work	102,30
Test pistone	25,30
Sollevam cilindri	85,80
Porte basse	418,00
Cerniere copriporte dx e sx	60,50
Montaggio cerniere copriporte su copriporte	60,50
Parking station	8,80
Sollevamenti telescopici	551,10
Cooling	644,60
Box ottico e allineamento	322,30
Telecamera bed monitoring	7,15
Premontaggi camera	288,75
Camera	947,10
Porte camera	244,20
Montaggio porte su camera	94,60
Test tenuta	35,20
Pre cablaggio su camera	41,80

Tab 3.2 – Dettaglio tempistiche delle operazioni della linea G02

3.3. Osservazioni

Durante l'analisi AS-IS sono state riscontrate diverse criticità, alle quali si è voluto cercare di trovare delle soluzioni da applicare poi nella progettazione della nuova linea di assemblaggio mixed model.

3.3.1. Non conformità

Il materiale in entrata necessita di un controllo accurato, soprattutto per quei componenti che sono delicati e/o di fondamentale importanza per l'assemblaggio del prodotto. È capitato di arrivare quasi alla stazione finale con un componente non conforme, non intercettato a monte e arrivato fino a valle del processo, con conseguente perdita di quasi giornate intere per risolvere il problema.

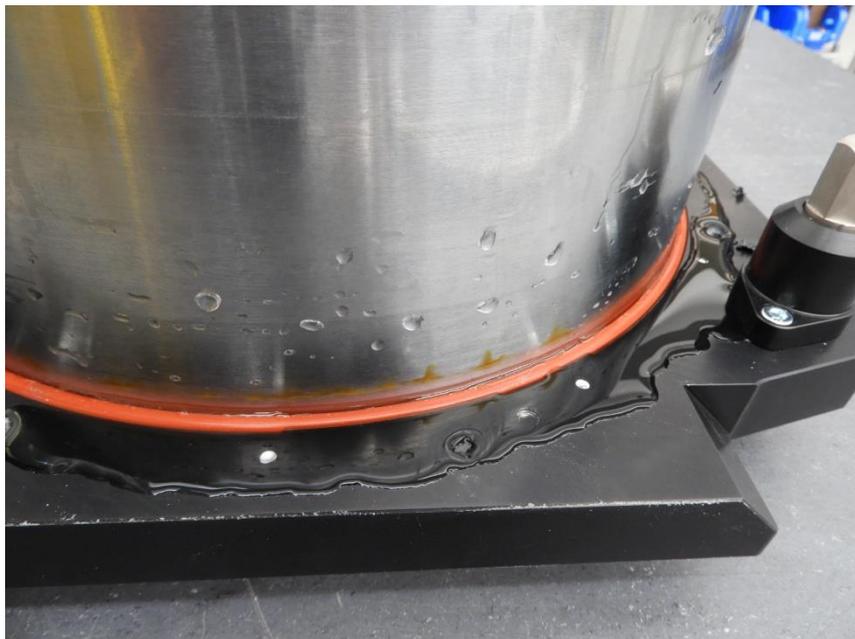


FIG. 3.9 – Non conformità fornitore

In altri casi invece il materiale non conforme veniva accantonato senza il passaggio di informazione verso l'ufficio produzione, con conseguente problema a livello di gestione del materiale, in quanto le giacenze “virtuali” a magazzino non corrispondevano più a quelle effettive.

Un ulteriore aspetto da evidenziare è quella della presenza di un'altra tipologia di “problema di qualità”: le non conformità interne.

Sono problematiche che si manifestano a causa di errori compiuti internamente. Errori di assemblaggio, distrazioni, mancata ricezione di informazioni importanti durante la fase di collaudo, come ad esempio la necessità di un aggiornamento software o di nuovi test da eseguire.



FIG. 3.10 – Non conformità interna: mancato fissaggio di una vite.

3.3.2. Logistica interna dei materiali

La logistica interna dei materiali risulta essere molto inefficiente.

Gli operatori vanno autonomamente a prelevare il materiale necessario in magazzino, col rischio di generare problematiche legate alla gestione del materiale stesso e introducendo inefficienza.

Per quanto riguarda la gestione della minuteria, sono presenti solamente due punti di approvvigionamento: questo comporta lunghi percorsi operatore per recuperare la minuteria necessaria. Questo vale anche per i materiali indiretti di produzione, quali spray, oli, siliconi. Al momento dell'analisi esiste un solo punto di approvvigionamento, senza la possibilità di avere un sistema di riordino dei materiali in carenza.



FIG. 3.11 – Unico punto di approvvigionamento della minuteria per la linea G02

3.3.3. Ordine e pulizia

Le postazioni sono in parte attrezzate di carrelli utensili organizzati secondo la tecnica delle 5S. Nelle stazioni mancanti vengono ancora usati carrelli a cassette chiuse, in cui gli attrezzi vengono riposti all'interno senza un ordine preciso. Questo comporta inefficienza in termini di tempo perso per la ricerca di un utensile che magari non è neanche presente all'interno del cassetto. Alcuni carrelli invece vengono condivisi tra più fasi dell'assemblaggio: questo comporta rischio di fermi e attese prima che l'utensile sia nuovamente disponibile.

Un altro punto importante è quello del disordine riguardante l'archiviazione dei disegni tecnici/manuali/esplosi nelle varie stazioni di assemblaggio. Questo comporta delle grandi difficoltà durante il lavoro, soprattutto se l'operatore è in fase di apprendimento, con conseguente rischio elevato di avere non conformità interne.

3.3.4. Gestione delle informazioni

È emersa con chiarezza la mancanza di un sistema strutturato per far arrivare nel momento appropriato le informazioni necessarie alle persone che le richiedono. In primis questa mancanza è dovuta al sistema gestionale attualmente utilizzato, totalmente inadeguato per le esigenze aziendali. Altro problema è la mancanza di una persona di riferimento per le linee di assemblaggio, che faccia da ponte tra gli operatori e gli uffici. Questo è causa di scarsa chiarezza sul lavoro da svolgere quotidianamente e genera attese, rilavorazioni, sbilanciamenti, errori nell'assemblaggio e conseguenti ritardi.

4. Riprogettazione della linea

In questo capitolo vengono descritte tutte le attività svolte per la progettazione della nuova linea di assemblaggio: una linea mixed model in cui vengono prodotte di entrambe le gamme di prodotti.

La prima parte analizza i pro e i contro di una linea mixed model e presenta le varie attività necessarie per la progettazione della linea.

In seguito, vengono descritte delle azioni intraprese al fine di migliorare la qualità del lavoro e la gestione delle informazioni, fondamentali per un ambiente di lavoro efficiente e standardizzato.

4.1. Perché una linea mixed-model

L'impostazione mixed-model riduce drasticamente il numero di stazioni necessarie, la quantità di attrezzature e lo spazio richiesto rispetto ad un sistema organizzato con linee multiple dedicate. Oltre a questo, viene limitato il bisogno di supervisione e controllo nell'officina, in quanto il personale opera unicamente su una sola linea, diversamente dalle linee multiple dedicate dove gli operatori sono chiamati a spostarsi in continuazione da una linea all'altra per produrre modelli diversi, con un elevato rischio di commettere errori.

I vantaggi più rilevanti però sono la capacità di offrire prodotti diversi, di adattarsi alle fluttuazioni della domanda senza sforzi eccessivi e la possibilità di perseguire i principi del Lean Thinking, ovvero la riduzione degli sprechi quali l'attesa, le movimentazioni, la sovrapproduzione.

4.2. Takt time

Il primo passo, dopo la rilevazione delle tempistiche eseguita nella fase di analisi AS-IS, è quello di definire il takt time per la nuova linea Mixed Model.

Il *takt time* è il rapporto tra il tempo di lavoro disponibile e la quantità richiesta dal cliente, considerati in un determinato periodo (solitamente un giorno). La linea verrà progettata con più postazioni che lavorano al ritmo dello stesso ciclo e in maniera bilanciata secondo il *takt time* definito.

Il numero ideale di prodotti in lavorazione (*WIP-Work In Progress*) è pari al numero delle postazioni di lavoro. In questo modo abbiamo l'eliminazione dei *muda* come tempi di attesa e sovrapproduzione.

Vediamo ora il calcolo per il *takt time*.

Il *takt time* è definito come:

$$\text{takt time} = \frac{\text{tempo di lavoro giornaliero}}{\text{quantità richiesta dal cliente giornaliera}}$$

Il tempo di lavoro giornaliero in TRUMPF-Sisma S.r.l. consiste in un turno di 8 ore.

La quantità di prodotti richiesta dal cliente al giorno la calcoliamo ricavando le informazioni dalle previsioni della domanda.

$$\text{Quantità richiesta dal cliente} = \frac{\text{n}^\circ \text{unità previste [macchine/anno]}}{\text{tempo disponibile [giorni/anno]}}$$

Sapendo che il numero di macchine previste per l'anno fiscale 2018/2019 ammonta a 203, di cui 156 G01 e 47 G02, e i giorni lavorativi disponibili ammontano a 215, possiamo calcolare:

$$\begin{aligned}\text{Quantità richiesta dal cliente} &= \frac{203[\text{macchine/anno}]}{215[\text{giorni/anno}]} \\ &= 0,94 [\text{macchine/giorno}]\end{aligned}$$

Possiamo quindi calcolare il *takt time*:

$$\text{takt time} = \frac{8 [\text{h/gg}]}{0,94 [\text{macchine/gg}]} = 8,47 [\text{h/macchina}]$$

Conoscendo il *takt time*, possiamo ora determinare quante stazioni/risorse sono necessarie per soddisfare tale ritmo.

Il numero di stazioni necessario è definito come:

$$\text{n}^\circ \text{stazioni} = \frac{\text{tempo ciclo [h/macchina]}}{\text{takt time [h/macchina]}}$$

Essendo una linea mixed model, su di essa vengono realizzati prodotti con diverso tempo ciclo. Per questo solitamente si utilizza un *tempo ciclo pesato sulla base del mix atteso*.

Quindi

$$n^{\circ} \text{stazioni} = \frac{\text{tempo ciclo pesato [h/macchina]}}{\text{takt time [h/macchina]}}$$

Per il tempo ciclo pesato invece:

$$tc_{\text{pesato}} = \frac{\sum_i tc_i * domanda_i}{\text{domanda totale}}$$

I dati primari per il calcolo sono riportati nella seguente tabella (tab.4.1): i valori del tempo ciclo sono stati calcolati nella fase dell'analisi dei tempi, riportata nel paragrafo 3.2.3.

	<i>tc[h/macch]</i>	<i>domanda [macch/anno]</i>
G01	56	156
G02	80	47
TOTALE	-	203

Tab.4.1 – Dati input per calcolo di *tc pesato*

I due modelli presentano un tempo ciclo molto differente tra di loro, per cui è fondamentale trovarne il valore pesato in modo tale da limitare il rischio di errori nella progettazione della linea.

Procediamo a calcolare le domande giornaliere di ciascun prodotto:

$$\text{domanda}_i [\text{macch/gg}] = \frac{\text{domanda}_i [\text{macch/anno}]}{215 [\text{gg/anno}]}$$

Ricaviamo quindi i seguenti dati:

	<i>tc [h/macch]</i>	<i>Domanda media giornaliera [macch/gg]</i>	<i>tc*domanda media giornaliera</i>
G01	56	0,725	40,6
G02	80	0,218	17,44
TOTALE	-	0,943	58,04

Tab.4.2 – Dati per calcolo *tc pesato*

Quindi il *tempo ciclo pesato* risulta essere:

$$tc_{pesato} = \frac{\sum_i tc_i * domanda_i}{domanda\ totale} = \frac{58,04}{0,934} =$$
$$= 61,5 [h/macch]$$

A queste *61,5 ore* abbiamo voluto aggiungere un margine nelle tempistiche di assemblaggio pari al *10%*, in modo tale da tener conto dei bisogni personali, della fatica, dei fattori che portano ad un discostamento dal tempo netto.

Quindi otteniamo:

$$n^{\circ}stazioni = \frac{61,5 + 61,5 * \frac{10}{100}}{8,47[h/macch]} =$$
$$= \frac{67,6[h/macchina]}{8,47[h/macchina]} = 7,98 \cong$$
$$\cong 8\ stazioni$$

Nella fig. 4.1 è riportato il foglio di calcolo utilizzato per le computazioni presentate appena sopra.

Tutto il dimensionamento è stato ripetuto per 3 casistiche differenti, così da valutare l'impatto di una possibile variazione della domanda prevista. Il mix di prodotti però viene considerato costante in tutti e 3 i casi.

Nel primo scenario, viene ipotizzato uno scostamento negativo dalla domanda prevista di 20 punti percentuali (vedi figura 4.1 - variante1): questo comporta una produzione di 40 unità in meno, con conseguente diminuzione del numero di stazioni necessarie (da 8 a 7) visto l'aumento del *takt time*, pari a *10,55 h/macchina*.

Nel secondo caso, lo scenario presentato è quello "normale", in cui la quantità non subisce variazioni da quella prevista.

Nel terzo caso invece, viene stimato un aumento della produzione del 20% (vedi figura 4.1 – variante 3): questo comporta un'aggiunta di 40 macchine

da produrre, e di conseguenza una crescita del numero di stazioni fino a 10 aventi un *takt time* pari a 7,08 h/macchina.

4.3. Bilanciamento della linea

Il secondo passo è stato quello di bilanciare la linea di assemblaggio, utilizzando lo Yamazumi chart.

Lo step iniziale è stato quello di suddividere le varie attività e raggrupparle nelle varie stazioni di assemblaggio, tenendo conto dei vincoli tecnologici e meccanici di montaggio.

La tabella 4.1 mostra le singole attività suddivise nelle varie stazioni:

- in arancione sono state evidenziate le attività che non vengono sempre effettuate ma che vanno eseguite in presenza di “*optional*” richiesti dal cliente o in base al modello specifico.
- in rosso sono state evidenziate le attività più a rischio di variabilità nelle tempistiche: sono le attività in cui il tempo di esecuzione può variare a causa di vincoli meccanici dei singoli componenti in assemblaggio.

G01	1	2	3	4	5	6	7	8
	Preparation of the basement	PC assembly	Chamber assembly	Chamber assembly	Software installation	Scanhead assembly on the machine	Final test	Machine cleaning
	Electrical cabinet assembly	Monitor and PC wiring		Chamber alignment	Powder bed installation	Webcam assembly	Sensors check	Final job measurement
	First laser assembly	Pump assembly		Chamber assembly on the machine	Panel assembly	Carter assembly	Second scanhead assembly on the machine	Delivery preparation
	Second laser assembly	Doors assembly			Wiring	Adhesives	Scanheads calibration	
	Monitor assembly				Pipe assembly and leak test	Electrical test	Validation job	
	Drawer assembly				I/O test			
					Mechanical test			
G02	1	2	3	4	5	6	7	8
	Preparation of the basement	Wiring (2 persons)	Wiring (1 person)	Wiring (1 person)	Chamber assembly on the machine	Alignements	Wiring	Carter assembly (2 persons)
	Levelling			Uplift assembly on the machine	Cylinder assembly on the machine			

Tab. 4.3 – Suddivisione delle attività nelle 8 stazioni della linea mix model

Dalla suddivisione delle attività e dalle tempistiche rilevate viste nel capitolo 3 (tab 3.2, 3.3), il bilanciamento della nuova linea mixed-model risulta essere la seguente (fig. 4.2):

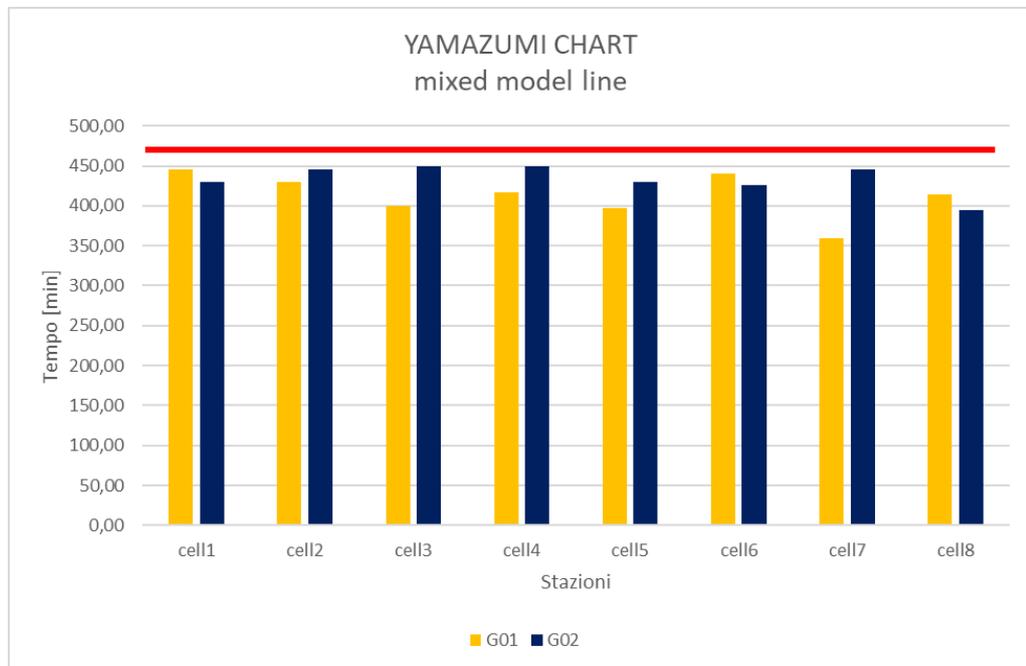


FIG. 4.2 – Yamazumi chart caonfrontando i modelli G01 e G02, in rosso la linea del takt time

Le stazioni non sono saturate al 100%: la scelta di mantenere un livello di saturazione più basso è legata alla conoscenza della variabilità delle attività ma anche alla presenza di vincoli di assemblaggio per cui non è possibile distribuire ulteriormente i vari *task*.

4.3.1. Training del personale

Un aspetto importante manifestatosi durante il bilanciamento della linea è stato quello del training del personale.

La linea mixed-model è una linea che consente di avere maggiore flessibilità, a patto che il personale sia altrettanto flessibile. È infatti inutile orientare la linea verso operazioni differenti senza però avere operatori in grado di

eseguire lavori di natura diversa. Per questo si è deciso, in funzione delle abilità dei vari operatori e dalle competenze acquisite nel tempo, di programmare un piano di formazione del personale.

Il primo passo è stato quello di aggiornare la matrice delle competenze.

La **matrice delle competenze**, o detta anche *competence matrix/skill matrix*, racchiude tutte le informazioni ed evidenzia tutte le capacità di ciascun operatore rispetto ad una determinata attività. Possiamo vedere in fig. 4.5 il foglio di calcolo utilizzato per la raccolta dei dati in TRUMPF-Sisma:

Questa matrice ci aiuta a rendere visibile le capacità di ogni persona e assegnare alla giusta mansione il giusto operatore.

Sulle righe sono riportati i nomi degli -n operatori, mentre sulle colonne sono rappresentate le singole attività. Ad ogni incrocio operatore/attività vengono assegnati 3 differenti colori a seconda che:

- L'operatore sia in grado di eseguire autonomamente l'attività: VERDE;
- L'operatore necessiti di supervisione per eseguire tale attività: ARANCIONE;
- L'operatore non abbia alcuna conoscenza riguardo l'attività ma sia in piano la formazione: ROSSO;
- L'operatore non abbia alcuna conoscenza e non sia in grado di eseguire tale attività: VUOTO;

Dalla consultazione della matrice, è stato possibile effettuare delle analisi e stilare un piano di formazione, con lo scopo di rendere polivalenti tutti gli operatori.

Nella figura 4.4 è rappresentata l'analisi riguardante l'indice di copertura del personale rispetto alle singole attività: possiamo vedere tracciato in blu il livello minimo richiesto, pari a 2 persone per attività, e in rosso le attività critiche, in cui la persona adeguatamente formata è una sola.

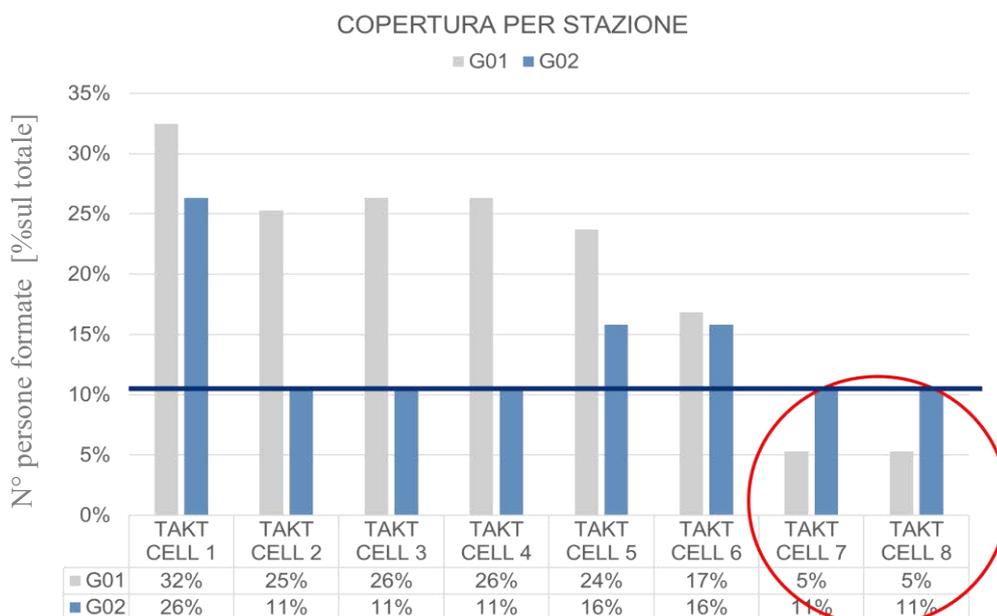


FIG. 4.4 – Analisi copertura stazioni linea mixed model.

Sulla base di queste considerazioni, si è proceduto a stilare un piano di formazione.

4.4. Re-layout

Un punto cruciale del progetto è stata la ridefinizione del layout.

Partendo dalla stampa della piantina dello stabilimento si è provato ad immaginare un possibile layout che rispondesse ai seguenti requisiti:

- Minimizzare gli spostamenti degli operatori;
- Creare un flusso ben definito e lineare dei materiali;
- Ridurre al minimo i trasporti interni;
- Definire in modo chiaro le varie aree adibite a diverse funzioni;

Il lavoro di identificazione del layout ottimale è stato reso più veloce ed efficiente grazie all'utilizzo di strumenti visual come post-it, magneti e lavagne (fig. 4.7)

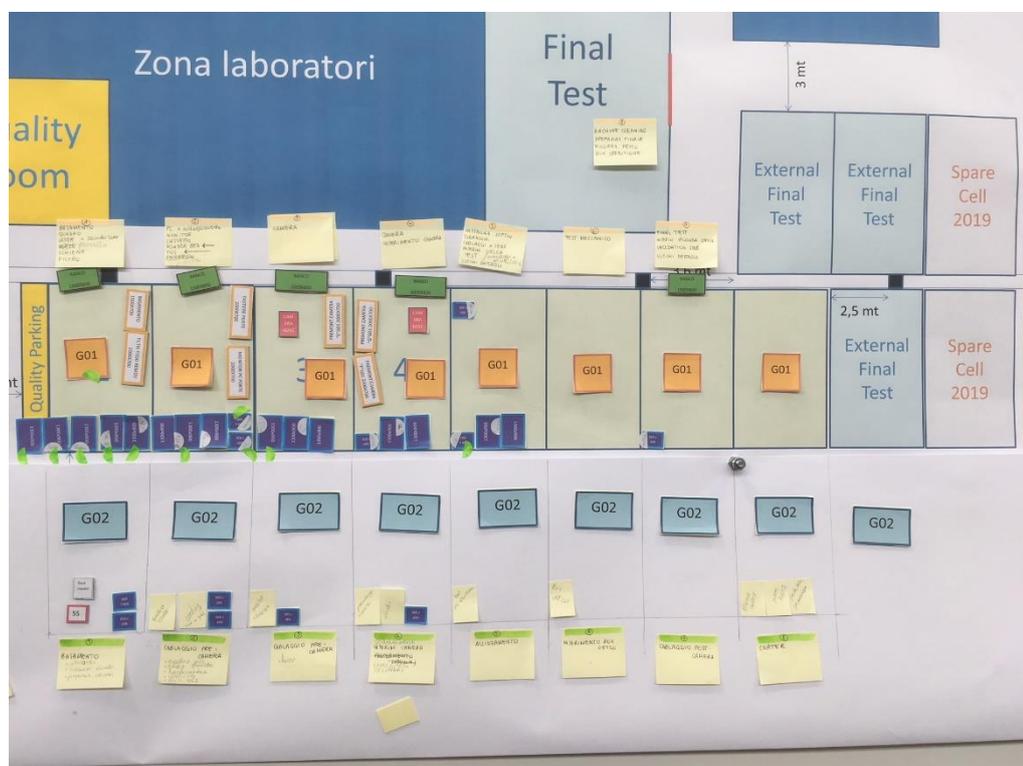


FIG. 4.5 – Fase di ridefinizione del layout

Inizialmente si è pensato di posizionare gli *scaffali supermarket* verticalmente lungo le stazioni, creando dei “muri” tra una stazione e l’altra. Questo però avrebbe creato difficoltà sia per gli addetti alla logistica, in quanto per alimentare gli scaffali sarebbero dovuti entrare in linea, sia per l’avanzamento del prodotto lungo la linea. Per questo motivo si è deciso di posizionare tutti gli scaffali lungo il corridoio 1 (vedi fig. 4.8 n°1) in modo tale dedicarlo solo al “giro kanban” settimanale dei magazzinieri, e impiegare il corridoio 2 (vedi fig. 4.8 n°2) per l’alimentazione dei *carrelli componenti* e della linea, in caso di componenti ingombranti.

Un altro importante cambiamento è stato quello di “scambiare” i *varchi di ingresso/spedizione* dei materiali. Il capannone possiede 2 portoni laterali per l’ingresso/uscita della merce: per riuscire a guadagnare dello spazio in favore alla zona premontaggi, si è deciso di aprire il secondo portone e chiudere il primo (vedi fig. 4.8, n°3), rovesciando la situazione preesistente.

In blu è evidenziato il *flusso di assemblaggio*: si parte dalla prima stazione e man mano che il prodotto avanza, vengono portati in linea i vari componenti necessari per il montaggio, solitamente materiali ingombranti stoccati nel magazzino centrale e i sottogruppi assemblati nella zona del premontaggio.

In questo processo di re-layout è stata rivista anche *l’area dei premontaggi*: le postazioni sono state divise per gruppi di sottoassiemi e posizionate il più possibile frontalmente alla stazione in cui devono essere installati sul prodotto in fase di assemblaggio, ciò al fine di minimizzare gli spostamenti.

La *zona di imballaggio* viene posizionata vicino al magazzino centrale, di fronte al portone di ingresso/uscita merce, in modo tale da facilitare il carico/scarico dei prodotti finiti.

L’*ufficio produzione* rimane all’interno del capannone ma fa spazio a quel che sarà in futuro l’area per il montaggio dei prototipi. Il *production office* viene spostato verso il fondo del capannone, da una parte con lo svantaggio di dover percorrere tragitti più lunghi per eventuali contatti con gli altri uffici, ma dall’altra risulta essere una postazione efficace per quel che riguarda il controllo della linea. Ogni giorno i responsabili dovranno passare lungo tutta la linea produttiva, dando luogo ad un’ulteriore occasione per rilevare eventuali problemi o opportunità di miglioramento.

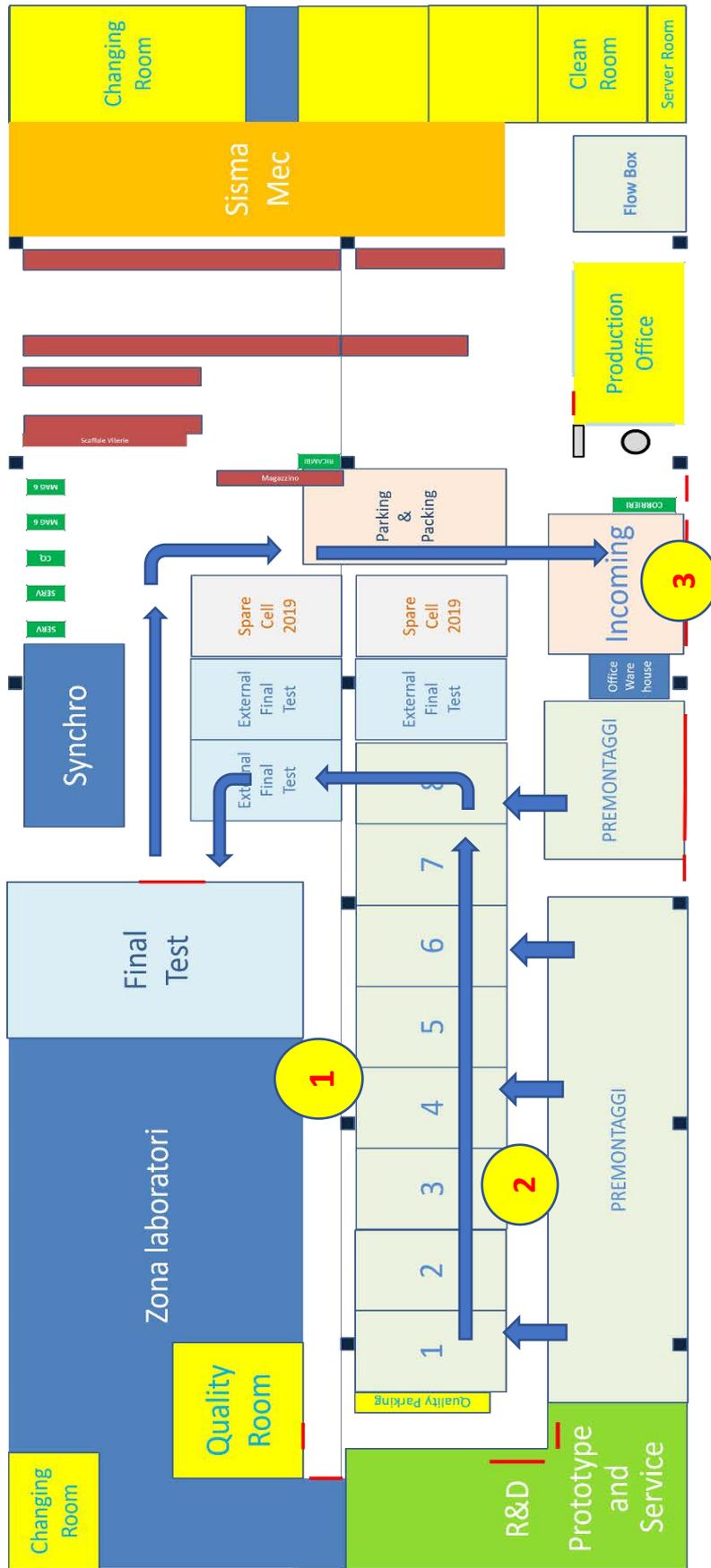


FIG. 4.6 – Il nuovo layout

4.5. Alimentazione delle linee

L'obiettivo aziendale è quello di avere un sistema di gestione dei materiali che sia di tipo *pull flow*, cioè tirato dal cliente, quest'ultimo inteso come il cliente finale ma come un cliente interno, come ad esempio una delle stazioni poste a valle.

Avere un sistema *pull* vuol dire avere un sistema che si autoregola: il sistema reagisce al consumo reale, non agli ordini pianificati. In caso di problemi che ritardino il flusso, anche gli ordini risulteranno in ritardo e saranno rilasciati solamente al ripristino del consumo: il personale potrà quindi concentrarsi sulla soluzione dei problemi che hanno causato il ritardo nel flusso, e il sistema funzionerà automaticamente.

Per favorire l'implementazione di questo sistema, oltre all'adozione della logica *pull* per eccellenza ovvero il *kanban* con *carrelli supermarket*, sono stati implementati altri strumenti per regolarizzare e far diventare sempre più *pull* il sistema di approvvigionamento interno.

4.5.1. Milk run interno

Il primo passo è stato quello di implementare un semplice *milk run* interno.

Questa modalità di approvvigionamento prende nome di “*Giro del latte*” dal metodo utilizzato ancora oggi in alcuni paesi per la fornitura del latte, in cui ogni giorno il fornitore effettua un percorso giornaliero e standard per sostituire le bottiglie vuote con quelle piene.

Lo stesso principio viene applicato per il rifornimento delle linee di assemblaggio: l'operatore logistico, con modalità prestabilite e standardizzate, effettua dei giri di alimentazione e scarico dei materiali dalla linea, in modo tale da garantire, al momento opportuno e nella giusta quantità, il materiale necessario.

Sono stati pianificati dunque dei giri logistici da effettuare per portare in linea i materiali ingombranti, stoccati nel magazzino centrale, così da eliminare i *muda* legati alla movimentazione e trasporto (fig. 4.7)

Finora infatti, gli operatori di linea andavano autonomamente in magazzino alla ricerca del materiale necessario. Adesso, tramite una pianificazione settimanale, i materiali vengono preparati seguendo delle apposite distinte di prelievo e portati in linea dall'operatore logistico.

Il sistema ha consentito di diminuire notevolmente i percorsi operatore e gli sprechi di tempo legati alla ricerca del materiale.



FIG 4.7 – Materiali portati a bordo linea tramite Milk-Run

4.5.2. Kitting

È stato realizzato, a livello basilare e semplice, il kitting dei componenti di alcuni sottoassiemi.

È stato scelto di implementare questo sistema per i sottoassiemi i cui componenti risultano stoccati nel magazzino centrale a causa della loro dimensione.

La richiesta del materiale arriva dalla pianificazione giornaliera per la produzione dei premontaggi: il *production planner* pianifica i gruppi da

produrre il giorno dopo e consegna la lista all'operatore logistico che estrae le distinte di prelievo apposite. Dalla distinta di prelievo si ricavano tutte le informazioni necessarie, quali: codice, quantità e ubicazione riguardanti le parti da prelevare.

Con la distinta di prelievo l'operatore effettua il kitting, ritirando i vari componenti e portandoli in linea (fig 4.8).

Per evitare il rischio di errori o dimenticanze, la distinta di prelievo è impostata come una *checklist* in cui l'operatore deve segnare i componenti prelevati e firmare il foglio stesso.



FIG. 4.8 – Carrello componenti prelevati dal magazzino centrale tramite kitting

4.5.3. Gestione minuteria

La gestione della viteria è uno dei punti critici per la linea: inizialmente esistevano solo 3 punti di rifornimento per tutte le stazioni di montaggio. Ciò comportava enormi perdite di tempo e lunghi percorsi operatore, legati alla ricerca della viteria necessaria dal banco al punto di rifornimento, ma anche

dal punto di rifornimento al magazzino centrale delle viterie, per richiedere quelle mancanti.

È stato ideato quindi un nuovo sistema di gestione delle minuterie:

- **Divisione della viteria per postazione:** in ogni postazione sono state posizionate delle scatole di piccole dimensioni contenenti ciascuna una singola tipologia di vite differente, utilizzata specificatamente in quella determinata stazione (fig. 4.11).

In questo modo si è ridotta la perdita di tempo dovuta alla ricerca delle minuterie ma allo stesso tempo si è riusciti ad avere maggiore controllo sulla loro correttezza nel processo di assemblaggio.



FIG. 4.9 – Banco di lavoro con la minuteria necessaria e foglio di riordino

- **Modalità di riordino interno:** per ogni specifica postazione è stata preparata una lista (fig. 4.11) contenente la minuteria necessaria, e quindi necessaria per un determinato insieme di attività. Ogni settimana, al venerdì, vengono raccolte tutte le liste e portate all'operatore logistico. Il lunedì mattina successivo, l'operatore preleverà dal magazzino centrale tutta la viteria richiesta, manderà gli ordini al fornitore per la viteria in esaurimento tramite kanban elettronico e porterà in linea, stazione per stazione, la viteria richiesta.

4.5.4. Gestione dei materiali a consumo

Fino ad oggi, il materiale indiretto di produzione (siliconi, colle, oli, ecc..) non era mai stato tenuto sotto controllo e gestito in maniera ottimale. Il processo di riordino di tali materiali era molto semplice: una volta esaurito il materiale l'operatore richiedeva un ordine di fornitura, con conseguenti problemi di attesa, confusione, mancato controllo della quantità di materiale effettivamente necessario e utilizzato.

Per questi motivi si è deciso di strutturare una diversa modalità di gestione efficiente per controllare con efficienza quei materiali.

Il primo passo è stato quello identificare tutti i materiali candidati per la nuova categoria. Tramite un file excel (fig. 4.10) sono stati inseriti ed elencati tutti i materiali trovati, specificando la stazione di utilizzo, la quantità, e tutte le informazioni riguardanti il fornitore.

Materiale CONSUMABILE - Excel

File Home Inscendi Layout di pagina Formule Dati Revisione Visualizza Cosa vuoi fare?

AB106	A	B	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
			TIPO UDM	LOTTO RIORDINO UDM	PUNTO RIORDINO	CONSUMO SETTIMANAI F	Lotto da portare line	FORNITORE	LT wk
2	15	10310003	Rotolo di bi-adessivo tipo 3M10314-ND	pezzi	5	2	1	DIGI-KEY ELECTRONICS	4
16	16	10310004	Nastro adesivo Avanna 50mmx66m	pezzi	36	2	1	TECNO SCOTCH	4
17	17	10310005	Nastro adesivo in carta 25mmx50m	pezzi	36	1	1	TECNO SCOTCH	4
18	18	10310006	Nastro adesivo in carta 50mmx50m	pezzi	36	2	1	TECNO SCOTCH	4
19	19	10310007	Nastro adesivo 50mmx66m stampato FRAGILE	pezzi	36	1	1	TECNO SCOTCH	4
20	20	10310008	Guanti Maxiflex 34-274 TAGLIA 8	pezzi	12	1	1	Proservice	2
21	21	10310009	Guanti Maxiflex 34-274 TAGLIA 10	pezzi	12	1	1	Proservice	2
22	22	10310010	Guanti Maxiflex 34-274 TAGLIA 11	pezzi	12	1	1	Proservice	2
23	23	10310012	Guanti lattice taglia XL	confezione	1	1	1	Proservice	2
24	24	10310013	Grasso Isoflex NBU15 - 1Kg KLUBER	barattolo	2	1	1	Minetti	2
25	25	10310015	Loctite 270 - flacone 50ml	barattolo	12	2	1	Minetti	2
26	26	10310016	Loctite 401 - flacone 20g	barattolo	12	2	1	Minetti	2
27	27	10310017	Loctite 572 - flacone 50ml	barattolo	12	2	1	Minetti	2
28	28	10310018	Loctite 641 - flacone 50ml	barattolo	12	2	1	Minetti	2
29	29	10310019	Loctite 638 - flacone 50ml	barattolo	12	2	1	Minetti	2
30	30	10310020	Loctite 542 - flacone 50ml	barattolo	4	2	1	Minetti	2
31	31	10310021	Loctite 5331 - flacone 100ml	barattolo	12	2	1	Minetti	2
32	32	10310022	Cerafluge - 400 ml	barattolo	10	4	1	Pretto	1
33	33	10310023	Gasket & Seal [TECNO(LUBE)SEAL] - 400 ml	barattolo	5	1	1	Pretto	1
34	34	10310025	Silicone spray - 500 ml	barattolo	6	1	1	Pretto	1
35	35	10310026	Motorsil D - 60g	pezzi	5	1	1	Pretto	1
36	36	10310027	Teflon in nastro, larghezza 12	pezzi	40	6	4	Mazzon	1
37	37	10310029	Nastro isolante nero (larghezza 1,5cm)	pezzi	20	12	1	MEB	2
38	38	10310030	Nastro biadesivo 3M VHB 4930 mmx50x33mt	pezzi	4	3	1	Testa	2
39	39	10310031	loctite 5399 - flacone 310ml	barattolo	4	2	1	Minetti	2
40	40	10310032	Grasso Isoflex LDS18A - 1Kg KLUBER	barattolo	2	2	1	Minetti	2
41	41	10310033	Svitoli Arexons - 500 ml	barattolo	4	1	1	Pretto	1
42	42	10400006	Tubo 10 Ø8-Ø15 cod. FAI 30101008	metri	50	0	50	Faizanè	6
43	43	10500005	IMBALLO PIATIFORM D. 300 PROPATECH VCI SAC 405+ 310X 500 S 100*	pezzi	900	100	20	Propagroup	4
44	44	10500018	Cassa pieghevole 1105: cm80x60x60 sp.10mm	pezzi	20	20	4	Durbiano	4
45	45	10500037	BOBINA IN BOLLA D'ARIA H125x200MT	bobina	1	1	0,125	TECNO SCOTCH	4
46	46	10500043	kit imballo assieme vetrino cod. 85200018, CPI00593	pezzi	15	10	2	Euronewpack	4
47	47	10500043	kit imballo gruppo protezione vetro laser cod.70500017,CPI00594	pezzi	15	10	2	Euronewpack	4
48	48	10500048	Indicatore d'inclinazione THW/atch	pezzi	400	25	5	Tutto x l'imballo	4
49	49	10500049	Indicatore d'urto ShockWatch 2 colore blu	pezzi	400	25	5	Tutto x l'imballo	4
50	50	10500050	Indicatore d'urto ShockWatch 2 colore azzurro	pezzi	100	10	2	Tutto x l'imballo	4
51	51	10500053	Scatola cartone 23x19x16 cod. CAS071T	pezzi	100	100	25	Rajjpack	3

FIG. 4.10 – Foglio di calcolo utilizzato per dimensionamento

Da questo file si è proceduti al dimensionamento del nuovo magazzino centrale per i consumabili, denominato MATC.

La logica di riordino scelta è quella cosiddetta “a punto fisso di riordino”: il materiale viene ordinato secondo un lotto prefissato nel momento in cui la giacenza a magazzino è pari al *punto di riordino*, cioè la quantità necessaria per coprire il fabbisogno durante il lead time di fornitura, in modo tale da ridurre il rischio di andare in *rottura di stock*.

Una volta dimensionato il magazzino (fig 4.11) si è dunque proceduto a progettare la modalità di fornitura verso la linea. Analogamente alla nuova gestione della viteria, la soluzione è stata quella di utilizzare lo stesso metodo: per ogni postazione è stata preparata una lista contenente i materiali consumabili necessari in quella determinata stazione e stampata sul retro del foglio della viteria. Ogni venerdì, assieme al riordino della viteria, l’operatore di linea segna anche il riordino per il materiale consumabile necessario nella settimana successiva.

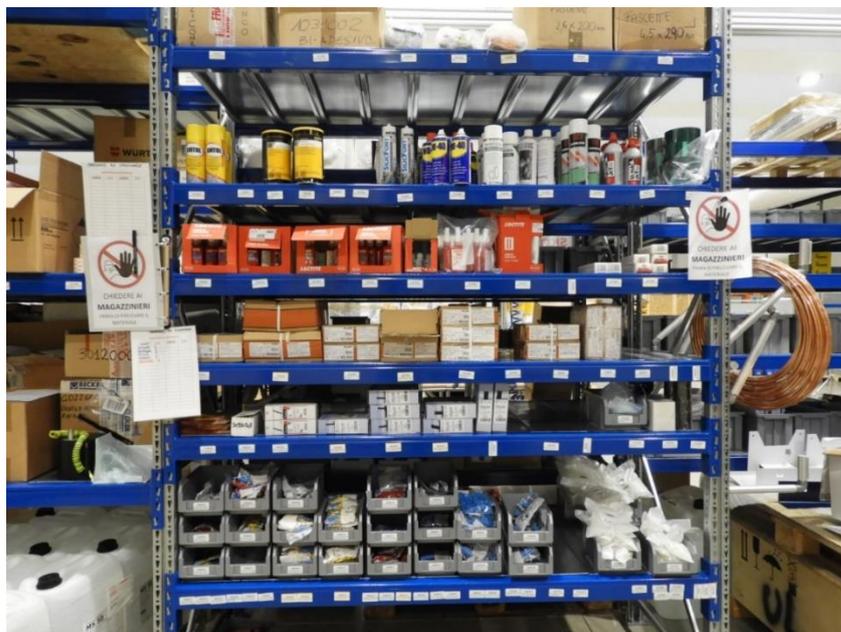


FIG. 4.11 – Magazzino consumabili

4.6. Ordine e pulizia

Come visto nel primo capitolo, il metodo delle 5S ha lo scopo di:

- Favorire la sicurezza del posto di lavoro attraverso postazioni ergonomiche, segnaletica di sicurezza adeguata, responsabilizzazione del personale;
- ridurre i tempi, specie quelli di ricerca dei materiali e delle strumentazioni, con conseguente beneficio per il costo finale del prodotto;
- promuovere l'ottimizzazione degli spazi disponibili, occupandoli meno e meglio;
- favorire l'aumento della qualità del prodotto e del clima aziendale.

Le 5S favoriscono la creazione di postazioni di lavoro curate e pulite, ma non solo: permettono la realizzazione di un sistema produttivo privo di *muda* e la formazione di ambienti di lavoro attenti e rispettosi. Se nel momento in cui si decide di svolgere una certa operazione bisogna cercare l'una o l'altra cosa diventa impossibile lavorare. Avere a disposizione la strumentazione corretta a portata di mano è la condizione minima indispensabile per un agevole svolgimento della propria mansione.

Per questo durante tutta la fase di riprogettazione, la ricerca dell'ordine e della pulizia non è mai stata abbandonata.

Il problema principale riscontrato è stato quello del disordine sui banchi di lavoro degli operatori, con conseguente confusione e rischio di errori durante l'assemblaggio, in particolare a causa dell'assenza di consapevolezza riguardo la presenza e l'ubicazione dei vari disegni ed esplosi per aiutarsi durante il montaggio.

Per questo si è deciso di organizzare delle “*giornate Lean*”, così strutturate:

- i. Fase di Lean Training, in cui viene fatta formazione sui principi Lean;
- ii. Fase di Team working, in cui gli operatori sono suddivisi in piccoli team e fatti lavorare su gestione e miglioramento della linea e del posto di lavoro;
- iii. Fase di presentazione dei risultati, in cui ogni gruppo presenta il proprio lavoro effettuato durante la giornata.

L'obiettivo è stato quello di coinvolgere e rendere partecipe tutto il personale nel miglioramento del proprio posto di lavoro, che tutti potessero rendersi

conto di quanto sia meglio lavorare in un luogo quanto più ordinato e pulito possibile (fig. 4.14).



FIG. 4.12 – Banco di lavoro PRIMA e DOPO la giornata Lean



FIG. 4.13 – Postazione di lavoro PRIMA e DOPO la giornata Lean

4.7. Gestione del flusso di informazioni

Il flusso di produzione e il flusso delle informazioni devono rispondere alle stesse esigenze:

- essere funzionali;
- scorrere senza ostacoli;
- evitare gli sprechi di tempo, risorse ed energie;

Gestire correttamente il flusso di informazioni è uno strumento fondamentale per rendere la produzione fluida e per assicurarsi che in ogni momento qualsiasi persona sia consapevole dei compiti che è tenuto a svolgere.

La capacità di comunicare è alla base di ogni attività di successo, e deve essere presente ad ogni livello aziendale, al fine di coordinare l'organizzazione interna senza generare difficoltà o sprechi, valorizzando le persone.

Allo stesso tempo però un eccesso di informazioni può essere dannoso quanto la loro mancanza: se il flusso è gestito in modo confusionario, i lavoratori devono investire tempo ed energie nella selezione dei dati di loro interesse tra una marea di indicazioni, creando così *muda*.

Per questo sono stati implementati dei nuovi strumenti per la gestione delle informazioni, in particolare con lo scopo di ridurre sprechi generati da rilavorazioni, movimentazioni ed errori di processo.

4.7.1. OPL: One Point Lesson

Per migliorare il flusso delle informazioni, è stato introdotto un altro strumento Lean: il *One Point Lesson* (letteralmente “lezione in un punto”).

È un *tool* che permette di focalizzare in un unico punto, in un breve tempo e in unico foglio, un concetto oggetto di formazione per il personale. Lo scopo è quello di istruire velocemente gli interessati su un determinato argomento o nozione.

Utilizzato in azienda, costituisce un metodo molto pratico e veloce per diffondere le informazioni che possono riguardare dal semplice processo di utilizzo di una stampante fino alla soluzione di una determinata criticità.

La caratteristica fondamentale di questo strumento è quella di essere chiaro e semplice da capire: per fare questo è necessario che il foglio, racchiudente la “lezione”, sia costituito per l’80% di immagini, disegni o fotografie, mentre solo per il restante 20% di testo.

Vengono identificati 3 tipologie di OPL:

1. **Conoscenza di base:** hanno lo scopo di aumentare le competenze di base degli operatori con informazioni tecniche o gestionali che necessitano di essere conosciuti in modo diffuso. Servono ad insegnare ad esempio come eseguire una certa attività, come utilizzare un certo strumento o come funziona un certo sistema di gestione utilizzato in azienda. Ad esempio, fra quelli creati in TRUMPF-Sisma S.r.l., un’OPL di questa tipologia è stato sul concetto di *kanban*, in particolare le operazioni da eseguire per il corretto funzionamento del sistema *double-bin kanban* (fig.4.14).

One Point Lesson		KANBAN				TRUMPF	sisma
REF. NO.	B001	DESTINATO A:	PRODUZIONE	DATA:	27/09/2018		
CLASSIFICAZIONE	B	CONOSCENZE DI BASE	M	MIGLIORAMENTO	P	PROBLEMA	
 <p>STEP 1: Prelevo l'ultimo componente rimasto nella scatola</p>		 <p>STEP 2: Prendo la scatola VUOTA</p>					
 <p>STEP 3: posiziono la scatola VUOTA in modo corretto DIETRO alla seconda scatola. SOLO COSI' il magazziniere saprà quale componente dovrà essere riordinato</p> <p>VISTA POSTERIORE DEL CARRELLO</p>		 <p>STEP 4: Dopo il riordino, la scatola deve essere GIRATA come in figura.</p> <p>All'arrivo del materiale bisogna RIEMPIRE LA SCATOLA GIRATA</p>					
FORMAZIONE EFFETTUATA A	Firma						
PREPARATA DA	NOME: Thi Hong Loan Tran	DIPARTIMENTO:		Produzione			

FIG. 4.14 – OPL creato in TRUMPF-Sisma S.r.l.

2. **Problema:** per insegnare agli operatori cosa fare in determinate situazioni, per evitare errori, guasti, difetti o incidenti.

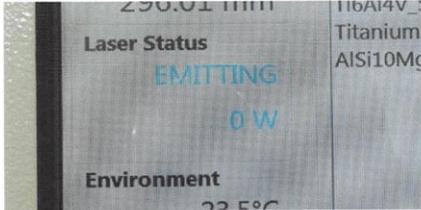
One Point Lesson		Laser non cambia potenza		 	
REF NO.	P 001	DESTINATO A	Produzione G01	DATA:	11-10-2018
CLASSIFICAZIONE	■ CONOSCENZE DI BASE	■ MIGLIORAMENTO	■ PROBLEMA		
<p>Descrizione problema Il laser non effettua il cambio della potenza sul Laser Status appare la scritta EMITTING 0 W</p>  <p>Causa Il laser è settato per il cambio potenza in analogico anziché digitale</p> <p>Soluzione Riavviare l'HMI con chiave di abilitazione laser in posizione OFF</p> 					
FORMAZIONE EFFETTUATA A	Firma	GISSO CARLEGGAR U.C. [Signature]			
	Firma	GIANCARLO GORDAN [Signature]			
	Firma	PIETRO MARINO P.G. [Signature]			
PREPARATA DA	NOME:	LUCA VALLI CARLO [Signature]			

FIG. 4.15 – OPL creato in TRUMPF-Sisma S.r.l.

3. **Miglioramento:** per diffondere la conoscenza di casi di miglioramento realizzati sull'impianto, sulle attrezzature, sul metodo di lavoro o sul prodotto, il tutto allo scopo di far condividere il *know-how*.

Il sistema appena implementato ha già avuto qualche buon risultato: tramite l'OPL sul kanban, siamo riusciti ad evitare errori nel riordino del materiale da parte degli operatori.



FIG. 4.16 – esempio di OPL in linea.

4.7.2. Shopfloor management

Lo Shop Floor Management è una modalità di gestione del *shopfloor* (*gemba*) tramite un insieme di strumenti e metodi che hanno lo scopo di individuare rapidamente i problemi; garantire una gestione ordinata dello *shopfloor*; garantire un processo di risoluzione sistematico dei problemi; garantire il massimo utilizzo delle conoscenze del personale, garantire lo sviluppo delle competenze del personale; aumentare la leadership e la motivazione del personale; attivare un processo di miglioramento continuo. L'obiettivo principale però rimane sempre quello di comunicare.

Per fare questo ci siamo serviti di due metodi.

4.7.2.1. Lavagne visual

Una chiara visualizzazione dei dati fondamentali e del grado di implementazione delle soluzioni da condividere con i lavoratori serve a migliorare le prestazioni aziendali. L'impiego di strumenti visual nella comunicazione aumenta il numero di canali sensoriali tramite i quali l'informazione viene fornita, permettendone l'utilizzo immediato e una sua maggiore permanenza nella nostra memoria: a tal scopo, in TRUMPF-Sisma S.r.l., vengono utilizzate lavagne con grafici e piani, posizionati in aree

dedicate direttamente nella zona di lavoro. Esse visualizzano in modo sistematico la situazione giornaliera della produzione e permettono di capire i problemi e definire le misure correttive per la loro risoluzione. Gli indicatori chiave utilizzati sono: la pianificazione delle attività giornaliere; l'andamento dei materiali; l'andamento della qualità; l'andamento della produzione; le date di consegna (fig 4.17).



FIG. 4.17 – Lavagne visual in TRUMPF-Sisma S.r.l.

4.7.2.2. Morning meeting

Il *morning meeting* è costituito da una sequenza di incontri formali, brevi e focalizzati che consentono di migliorare e potenziare la comunicazione tra manager e collaboratori, capi reparto e team leader. La riunione si trasporta nel *gemba*, nell'area dove si produce il valore aggiunto e si manifestano i problemi. Inizialmente la riunione veniva effettuata "per linea": si effettuavano due riunioni in sequenza, prima con gli operatori della linea G01, in un secondo tempo con gli operatori della linea G02. La riunione risultava però dispersiva, i problemi maggiori venivano spesso riscontrati nelle attività di final test e molte volte si arrivava a partecipare ad una discussione anche di 20 minuti svolta solamente tra l'operatore del final test e l'operation manager, con conseguente *muda* di tempo per tutti gli altri operatori.

Oggi, con la nuova linea mixed model, la riunione è stata strutturata in modo differente, soprattutto grazie alla ridefinizione dei ruoli di alcuni operatori, quali la designazione di un team leader e di un responsabile dei premontaggi.

La scaletta delle riunioni è stata strutturata come segue:

- 07:45 : il team leader e il responsabile dei premontaggi effettuano un giro di controllo nelle aree di competenza rilevando problemi avuti il giorno prima o riscontrati all'arrivo;
- 08:45 : ha luogo la prima riunione tra l'operations manager, il responsabile della qualità, il responsabile della produzione, il team leader, il responsabile dei premontaggi e gli operatori del final test;
- 09:00 : ha luogo la seconda riunione in cui è presente il top management;
- 09:15/30 : l'operation manager e il responsabile della qualità effettuano il giro di controllo per i problemi riscontrati e presentati nella prima riunione.

4.8. Non conformità

Per ridurre i problemi di qualità, in particolare le non conformità interne, sono state introdotte delle *checklist* per stazione. Si tratta di uno strumento semplice ma efficace, se utilizzato nel modo corretto.

Le *checklist* hanno lo scopo di aumentare l'attenzione dell'operatore in fase di assemblaggio, obbligandolo a verificare e segnare su carta le operazioni di controllo da effettuare al fine di ridurre i possibili errori. In ogni stazione è presente la checklist contenente le attività di controllo da effettuare: i vari punti inseriti all'interno vengono aggiornati periodicamente, in base alla ripetitività e/o alla gravità dell'errore.

4.9. Risultati

Dopo un primo periodo di avviamento, il progetto ha raggiunto degli importanti obiettivi, primo fra questi la riduzione del carico di lavoro.

Grazie ad una migliore distribuzione delle attività ottenuto tramite il nuovo bilanciamento della linea e l'applicazione di nuovi strumenti Lean per la

gestione dei flussi di informazione, il carico di lavoro ha avuto un calo significativo.

Questo possiamo osservarlo nella figura 4.18.

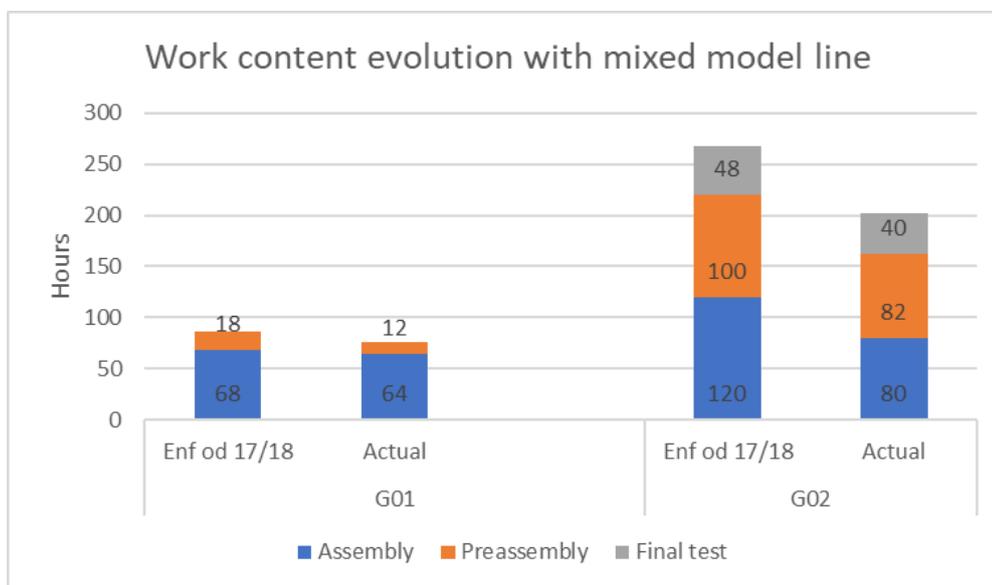


FIG. 4.18 – Carico di lavoro di entrambi i modelli G01 e G02

Il carico di lavoro della gamma G01 passa da 86 ore a 76 ore: un calo del 12%.

Il carico di lavoro della gamma G02 passa da 268 ore a 202 ore: un calo molto più importante, quasi del 25%.

In particolare, abbiamo ottenuto un calo del tempo ciclo della fase di assemblaggio molto significativo, evidenziato in blu nel diagramma raffigurato in figura 4.18. Questo ci ha permesso di pianificare un numero molto minore di fattori produttivi da impiegare rispetto a quello previsto inizialmente, a parità di quantità richiesta di produzione.

Possiamo vederlo nella seguente figura, in cui viene mostrato il calcolo della capacità (fig. 4.19).

	Line Dimensioning 09/03/2018	Official budget	Sisma cancellation	Optimisation of line and preassembly
Date	File in Financial Planning	apr-18	09/06/2018	From June 18
Source		Data from Alessandro and Andreas	Mail from M Petilli	New measuring in line
People on board Ass+Preass+FT	17	17	17	17-18
Data available at the various stages				
Assembly configuration:				
G01	Taktet line	Taktet line	Taktet line	
G02	Stationary	Taktet line and unoptimised preassembly	Taktet line and unoptimised preassembly	
Capacity (in hrs) needed for:				
G01 Assembly	56	56	56	56
G01 Preassembly	18	18	18	12
G01 Final test	12	12	12	8
G02 Assembly	86	86	86	76
G02 Preassembly	120	80	80	80
G02 Final test (minimum)	100	100	100	82
G02 Final test (minimum)	48	48	48	40
Additional items per G02 (average)	268	228	228	202
	10	10	10	10
Plan summary				
G01	156	134	120	120
G02	46	59	59	59
Total machines	202	193	179	179
Single capacity calculation				
Planned working days	211	211	211	211
Average illness/absence	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Average illness/absence days	5,275	5,275	5,275	5,275
Rated capacity in days	206	206	206	206
Rated capacity hours	1545	1545	1545	1545
Planned workload for assembly and final test	18796	17254	16302	15350
Required capacities to cover ass and FT	13	12	11	10
Planned workload for pre assembly	7408	8312	8060	6278
Required capacities to cover preassembly	5	6	6	5
Holidays minimum (weeks)	72	72	68	60
Capacity to cover holidays	2	2	2	2
Line leader	1	1	1	1
Total needed capacity	21	21	20	18
Competencies required				
Final test min	3	3	4	4
Pure electrical assemblers min	3	3	3	3

FIG. 4.18 – foglio di calcolo per la capacità necessaria

La capacità iniziale pianificata per far fronte alla domanda prevista era di 21 persone.

Dopo l'implementazione di tutte le attività di ottimizzazione, la capacità richiesta attualmente risulta essere pari a 18 persone.

Di conseguenza la produttività, calcolato come rapporto tra la quantità della produzione e la quantità dei fattori produttivi impiegati, ha subito un aumento di ben 6 punti percentuali, come mostrato in tabella 4.4:

	Jul	Aug
G01 Machines delivered	6	4
Standard Production time G01	86	76
G02 Machines delivered	3	3
Standard Production time G02	228	202
Machines produced	9	7
Standard hours produced	1.200	910
Headcount (all Operations direct and indirect, excluding purchasing)	25	25
Hours of Presence	4.180	2.452
Average presence / person	167	98
Hours of training	600	160
Average training / person	24	6
Hours borrowed to service		
Hours borrowed to R&D		
Hours borrowed to other companies		
Actual attendance	3.580	2.292
Productivity	33,52%	39,70%
Productivity/machine	3,72%	5,67%

TAB. 4.4 – Calcolo della produttività dopo l'implementazione della nuova linea

I risultati raggiunti non sono solamente quantitativi, ma anche qualitativi.

Il miglioramento infatti è stato riscontrato anche nell'ambiente lavorativo:

- L'ottimizzazione della gestione dei flussi dei materiali ha permesso di ridurre il livello di confusione degli operatori;
- La maggiore efficienza nella gestione del flusso di informazioni ha permesso di ridurre il rischio di errori durante le fasi di assemblaggio, con conseguente miglioramento del clima nel team di lavoro;

- La creazione di ordine nella postazione di lavoro tramite le tecniche Lean quali 5s, *shopfloor management*, hanno portato alla consapevolezza da parte degli operatori di avere a disposizione un ambiente lavorativo migliore.

Lo sviluppo in positivo di tali indici di performance dimostrano come l'utilizzo delle tecniche e dei principi della Lean Manufacturing applicati ai processi di produzione possano contribuire positivamente

In particolare, tale progetto ha evidenziato la validità dell'applicazione ai processi di produzione e della logistica di alcuni strumenti tipici della Lean Manufacturing come: la metodologia 5S per migliorare la visibilità, il flusso di materiali, l'organizzazione del lavoro e la standardizzazione delle attività; le tecniche di Visual Management per migliorare la visibilità del flusso di materiali e delle informazioni.

Conclusioni

Questo elaborato ripercorre passo dopo passo lo stage svolto all'interno di TRUMPF-Sisma S.r.l. e può essere suddiviso in 4 parti.

Nella prima sono stati descritti i principi e gli strumenti principali del Lean Thinking, una filosofia che ha come obiettivo la ricerca e l'eliminazione degli sprechi al fine di migliorare l'efficienza. Il processo può essere perseguito a piccoli passi, ma essi devono essere compiuti ogni giorno: la ricerca del miglioramento deve essere continuo.

Nella seconda parte è stata presentata TRUMPF-Sisma S.r.l., una piccola realtà vicentina fondata 4 anni fa e in espansione. È nata da una joint-venture stipulata tra due importanti aziende, TRUMPF GmbH + Co. KG e Sisma S.p.A., entrambe forti nella conoscenza della tecnologia laser. Sono state

dunque presentate le due realtà alle spalle di TRUMP-Sisma S.r.l., la tecnologia core e i prodotti realizzati.

Successivamente si è entrati nel vivo del processo: dopo una prima presentazione del reparto produttivo e il suo funzionamento, si è passati a disegnare la situazione iniziale presente in termini di organizzazione e gestione dei flussi. Da qui sono state rilevate alcune criticità, che verranno poi ridotte con l'adozione di nuovi strumenti Lean.

Nell'ultima parte è stato descritto quindi tutto il progetto, le attività eseguite per dimensionare la nuova linea di assemblaggio e tutte le azioni di ottimizzazione. Questi cambiamenti hanno permesso, in base ai primi dati raccolti, di diminuire notevolmente il tempo ciclo di assemblaggio e di migliorare tutto l'ambiente lavorativo.

I risultati raggiunti sono stati simbolo della validità degli strumenti e delle metodologie Lean: dalla semplice riorganizzazione del posto di lavoro all'implementazione di nuovi processi per la gestione del materiale, il tutto ha portato ad un ambiente lavorativo più chiaro e trasparente per tutti gli operatori. La nuova visibilità del processo, dall'inizio alla fine, permette a tutti quanti di percepire l'appartenenza vera e propria in un team di lavoro.

Il percorso intrapreso non è sicuramente concluso: come sottolinea la Lean, il miglioramento non è da considerarsi un obiettivo fermo e stabile, ma dev'essere un continuo ciclo, rendere standard ciò che risulta essere un miglioramento e andare alla ricerca di nuove attività in cui migliorarsi.

Bibliografia

Battini D., *Dispense del corso Impianti Industriali*, anno accademico 2015/2016, Università degli studi di Padova.

Euclides A. Coimbra, 2016, *Total flow management : Kaizen per l'eccellenza nella supply chain e oltre*, 2 ed., nuova ed. italiana / a cura di Kaizen Institute Italia, Milano, HOEPLI.

Giovanni Graziadei, *Lean manufacturing: come analizzare il flusso di valore per individuare ed eliminare gli sprechi*, Milano, HOEPLI.

Lucchetta G., 2016/2017 *Dispense del corso di Sistemi Integrati di Produzione*, Università degli Studi Padova.

Panizzolo R., 2016/2017, *Dispense del corso di Gestione snella dei processi*, Università degli Studi Padova.

Pierluigi Santolini, 2010, *Flow time e processi produttivi: metodologie, flusso delle merci, gestione delle scorte, logiche di produzione* / Milano, U. Hoepli.

Womack J. P., Jones D. T., Ross D., 1990, *The machine that changed the world*, Free Press, New York.

Womack James P., Jones Daniel T., *Lean Thinking. Come creare valore e bandire gli sprechi*, Milano, Guerini e associati, 2006.

Sitografia

www.considi.it/lean-thinking

www.qualitiamo.it

www.leanthinking.it

www.makeitlean.it

www.leanmanufacturing.it

www.logisticaefficiente.it

www.kanban.it