Università Politecnica Delle Marche

Facoltà di Ingegneria

Corso di laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

"Tecniche SMED per la riduzione dei tempi di assemblaggio"

"SMED techniques for reducing assembly times"

Relatore

Ch.mo Prof.

Filippo Emanuele Ciarapica

Laureando

Leonzi Simone

Anno Accademico: *2019/2020*

Sommario

Ringraziamenti 5
1.Introduzione.....6
2. Miglioramenti Sistema Produttivo 8
2.1 Progettazione Linea E Layout 8
2.2 Diagramma PQ 8
2.2 Layout Funzionale e Layout di processo 9
2.3 Linee singole o frammentate 10
2.4 Grafico del processo 10
2.5 Progettazione del Bordo Linea 12
2.5.1 L'uso di piccoli contenitori 12
2.5.2 I principali vantaggi dei piccoli contenitori 12
2.5.3 Il posizionamento di componenti e contenitori nel bordo linea 13
2.5.4 Flusso dei materiali (flow containers) 13
2.6 Standard Work 14
2.6.1 Ottimizzare lo standard work 14
2.7 SMED 15
2.7.1 Introduzione allo SMED 15
2.7.2 L'effetto SMED 16
2.7.3 Gli Step dello SMED 17
2.7.4 LCA – low cost automation 18
2.7.5 Dispositivi LCA e poka yoke 19
3 Inizio delle pratiche SMED 20
3.1 Introduzione allo SMED 20
3.1.1 Perché lo SMED? 20
3.2 Analisi del "Pay Back period" 21
3.2.1 Esempio 1: un nuovo presetter degli strumenti 21
3.2.2 Esempio 2: Valutazione acquisto tester durezza portatile 21
3.3 programma di riduzione dei cambi e mini-setup. 22
3.3.1 Riunioni 22
3.3.2 Esempio: 22
4 Full Scale Setup 23
4.1 Formazione del Team e scelta di progetto 23
4.1.1 Il ruolo del coordinatore 24

4.2 Acquisire informazioni per il progetto 24
4.2.1 Documentazione Video.....24
4.2.2 Analisi video e Foglio dei tempi di Setup.....25
4.3 Separazione da lavoro interno ad esterno.....26
4.3.1 Esempi di separazione da lavoro interno ad esterno. 27
4.4 Conversione di lavoro da interno ad esterno 28
4.5 Semplificazione del bordo linea 29
4.6 Standardizzare le operazioni 30
4.6.1Check-list di setup 30
4.6.2 Training operatori 31
4.6.3 Lista Delle operazioni rimanenti.....31
5 Conclusioni.....32

Ringraziamenti

Prima di cominciare la trattazione della mia tesi di laurea vorrei dedicare questo spazio alle persone che hanno contribuito al raggiungimento di questo traguardo.

Un grandissimo ringraziamento alla mia famiglia, in particolare ai miei nonni, che mi hanno sostenuto fino alla fine di questo percorso e mi hanno sempre spinto a non mollare mai e spero davvero di essere diventato un orgoglio per loro.

Un ringraziamento speciale a mio zio Maurizio un mio importante riferimento per i suoi consigli e una grande fonte di ispirazione personale.

Ringrazio la mia fidanzata Maila, che mi ha trasmesso la forza di continuare e mi ha aiutato a sconfiggere tutte le difficoltà che mi si sono presentate davanti. Grazie per esserci stata!

Grazie anche ai miei due colleghi Giulio e Giustino, con cui ho condiviso le gioie e le difficoltà nel nostro percorso comune.

1.Introduzione

Il principio di “Lean production” è sempre stato al centro delle attenzioni della maggior parte delle aziende manifatturiere grazie alla sua elevata efficienza se applicata alle linee produttive.

Con “Lean Production” si intende reinventare le fasi di produzione e logistica al fine di massimizzare l’efficienza riducendo gli sprechi, i tempi e massimizzando la produzione.

Ci troviamo in Giappone dove a partire dalla seconda metà del ‘900, a seguito della crisi economica dovuta alla Seconda guerra mondiale, l’ottica industriale cambiò radicalmente spostandosi verso i concetti della Lean production.

Quest’ultimi vennero definiti sotto la guida di Taichii Ohno ed applicati alla Toyota Motor Corporation per rispondere alla necessità di mercato con alta flessibilità della produzione mantenendo comunque un elevata produttività.

Queste nuove regole verranno poi successivamente raggruppate in quello che oggi è la “Toyota Production System” (TPS), una metodologia che si concentra sulla continua caccia del minimizzare gli sprechi e migliorare l’efficienza produttiva.

In questa tesi si vuole approfondire quelli che sono i concetti riguardanti la progettazione e il miglioramento delle linee produttive adottando un concetto fondamentale della TPS, ossia il *flusso di produzione*.

Gli obiettivi del flusso di produzione sono:

- La creazione del one-piece flow (un pezzo alla volta, dalla materia prima al prodotto finito);
- La minimizzazione dei movimenti degli operatori e l’incremento della loro ergonomia attraverso lo studio del bordo linea e standard work;
- L’alta flessibilità e la personalizzazione delle linee utilizzando tecniche SMED – Single Minute Of Exchange of Die;
- Automazione a basso costo

Per raggiungere tali obiettivi bisogna però ridisegnare il layout, la sequenza delle operazioni e anche le macchine stesse, ottimizzandole per la produzione di singoli pezzi alla volta raggiungendo quindi un processo di fabbricazione continuo senza nessuna interruzione.

Tale concetto è raggiungibile eliminando tutte le attività che non aggiungono valore e lasciare solo quelle che invece lo fanno.

Essenziale risulta dunque che il flusso dei materiali sia continuo ed è uno dei principali obiettivi che la Toyota continua a ricercare.

Le migliorie del sistema produttivo possono essere raggruppate in cinque importanti aree che analizzeremo in dettaglio successivamente:

- Progettazione della linea e del layout
- Il bordo linea
- Standard work
- SMED
- Automazione a basso costo.

2. Miglioramenti Sistema Produttivo

2.1 Progettazione Linea E Layout

Il primo punto da analizzare per migliorare il flusso di produzione è la progettazione della linea e del layout.
In questa fase bisogna focalizzarsi sull'analisi dei processi delle diverse famiglie di prodotti, progettare la linea in modo da rispettare i principi del one-piece flow e posizionarle al meglio.
L'obiettivo principale è quello di eliminare tutte le fasi che non aggiungono valore al prodotto che possono essere di trasporto, controllo o attesa, eliminandoli dal processo produttivo e infine migliorare quelli che aggiungono valore.
Il principale parametro che quindi va studiato è il tempo, precisamente il takt time.
Quest'ultimo è il rapporto tra il tempo disponibile di lavoro e la quantità richiesta di prodotti definiti in un intervallo di tempo (nella maggior parte dei casi è il giorno lavorativo).
Le linee quindi lavoreranno a tempo imposto (takt time), cioè tutte le postazioni lungo la stessa linea avranno lo stesso ritmo imposto ed in caso ottimale, ogni postazione dovrà lavorare un prodotto.
Quindi possiamo definire un primo criterio cioè che il numero di prodotti ideali in lavorazione (denominato WIP) è pari al numero di postazioni di lavoro.

2.2 Diagramma PQ

La progettazione della linea inizia principalmente con un'indagine di mercato attraverso e stilando un diagramma prodotto-quantità PQ (figura 1).
Questo strumento ci permette di rilevare (stimando) la quantità di prodotti venduti l'anno e quindi definire la quantità da produrre.

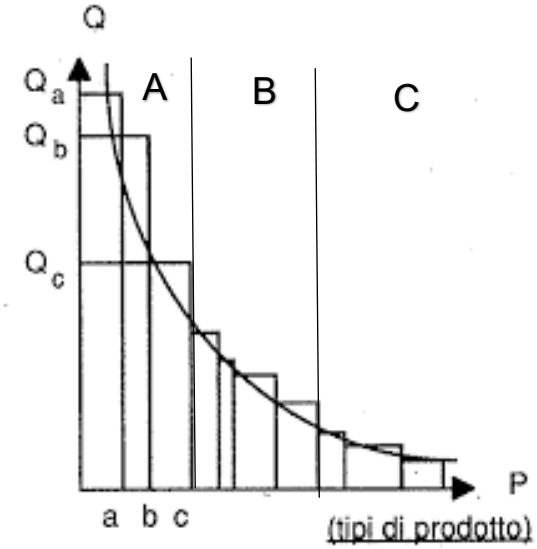

Figura 1 - diagramma PQ

Come mostrato in Figura 1 si possono evidenziare tre zone:

- A: Poca varietà di prodotti alta quantità
- B: Zona mista
- C: Alta varietà di prodotti a bassa quantità

In linea generale la zona A è una buona candidata a soluzioni di produzione in linee di processo, giustificato dall'alta quantità ma bassa varietà.
Viceversa, nella zona C dove l'alta varietà di prodotti giustifica l'utilizzo di un layout funzionale.
I Prodotti intermedi invece richiedono soluzioni miste con reparti specializzati e zone di produzione in serie automatizzate.

2.2 Layout Funzionale e Layout di processo

Si è perciò introdotto due tipi di layout: Il layout funzionale e il layout di processo.
Nel layout funzionale (o per reparto) si raggruppano in reparti tutte le macchine che svolgono mansioni simili (ad esempio il reparto tornitura, fresatura, foratura ecc..). In questo caso lavoriamo grandi varietà di prodotti quindi il flusso dei materiali sarà abbastanza elevato e il trasporto interno avviene ad esempio con dei carrelli elevatori.
Questo porta però ad un WIP alto ed anche un Lead time (quantità in wip divisa per l'output giornaliero) alto dell'ordine di cinque giorni.
Invece il layout di processo è organizzato come una sequenza di operazioni e macchine lungo un nastro trasportatore. Questo tipo di soluzione si presta molto ad essere automatizzata ed è caratterizzata da un basso lead time ed è anche il fulcro dei principi del TPS.
La linea one-piece flow ideale avrà un'impostazione ad U rispetto le classiche a linea retta, perché questo permetterà una maggior comprensione del flusso per gli operatori. Già questa soluzione porterà una notevole riduzione del wip. Insieme alla soluzione ad U si cerca di integrare le macchine esterne (che magari svolgono più mansioni) in una linea specifica facendole svolgere un'unica mansione. Il contro principale sta nel fatto che avremmo bisogno di più macchine dello stesso tipo e quindi richiedere un investimento iniziale maggiore.

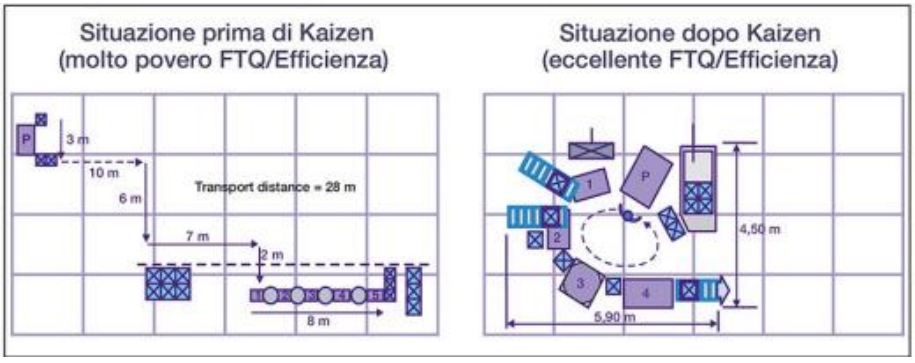

Figura 2.1 – prima ottimizzazione linea classica a linea one-piece flow.

In realtà questa sarà comunque una soluzione efficace:

“Si dice che uno stabilimento Toyota abbia il triplo delle macchine che ha di solito uno stabilimento similare, ma progettato funzionalmente. Toyota ha sviluppato molte macchine all’interno, specificatamente per l’integrazione nelle linee one-piece flow. Quando un’azienda calcola il ritorno sull’investimento (ROI) per le macchine aggiuntive, spesso riesce ad ammortizzarlo in meno di un anno.” (Coimbra, 2018, p. 77)

2.3 Linee singole o frammentate

È importante valutare la possibilità di utilizzare all’interno del progetto grandi linee di produzioni singole o frammentare, creando linee più piccole.
L’utilizzo della linea singola porterà tempi di ciclo brevi (ordine di 30 secondi) mentre la stessa linea potrà essere frammentata in due da 60s, in quattro da 120s, e così via.
Il tempo di ciclo maggiore nelle linee frammentate porta ad un vantaggio sul bilanciamento degli operatori sulla linea e in più si ha un incremento della flessibilità.
Valutiamo l’incremento di flessibilità: se ad un certo punto si verificasse un urgente bisogno di cambiare un prodotto o effettuare delle piccole modifiche sul ciclo produttivo è ovvio che l’impatto riguarderebbe solo una delle varie linee frammentate (che magari si ferma per rispondere all’esigenza ed effettuare cambiamenti di utensili).
Invece nel caso di una grande linea singola l’impatto di un cambiamento al suo interno potrebbe provocare eccessive perdite e momenti di fermo che va in contrapposizione con l’obiettivo dei nostri principi.

2.4 Grafico del processo

Nella nostra progettazione è importante a questo punto stilare un grafico del processo produttivo evidenziando le fasi di processo, i tempi per l’assemblaggio in ogni stazione e un possibile ordine di sequenza in modo da avere una rappresentazione grafica che ci aiuta ai fini della progettazione.
Un grafico di processo contiene quindi:

- Una stima del tempo di assemblaggio
- Le varie parti o componenti
- Operazioni che aggiungono valore (rappresentati da dei cerchi)

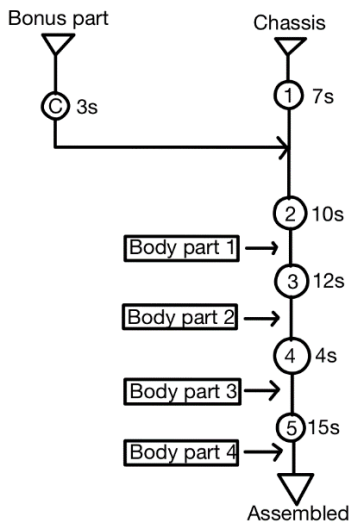

Figura 2.2 – esempio di grafico di processo per produzione in linee

Si parte dal componente principale (chassis) e seguono le operazioni di assemblaggio con l'introduzione di nuove parti. I tempi stimati sono calcolati tenendo conto anche delle operazioni che non aggiungono valore (in modo da avere un impatto visivo immediato sulle operazioni più problematiche).

A questo punto è importante procedere con il bilanciamento della linea per ricavarsi il numero di stazioni di lavoro. Assegnato un tempo di ciclo da rispettare, si formano stazioni in cui il tempo totale per stazione non superi il tempo di ciclo e si cerca di rendere omogeneo il tempo per ogni stazione. Successivamente a tale esercizio di bilanciamento, si riporta il tutto in un diagramma denominato Yamazumi Chart, uno strumento visuale che mostra i carichi di lavoro sui vari operatori nelle varie stazioni.

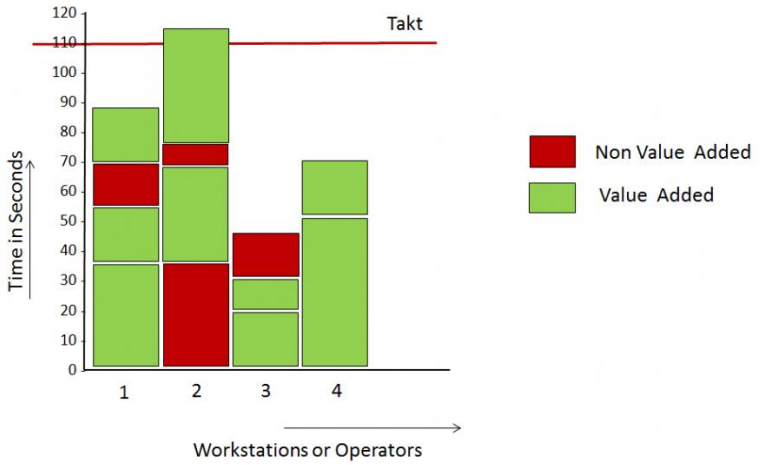

Figura 2.3 – Yamazumi Chart – www.mudamasters.com

2.5 Progettazione del Bordo Linea

Il bordo linea si occupa della posizione adeguata, le proprietà e le dimensioni dei contenitori al fine di ottimizzare il flusso dei materiali e quindi anche l'ergonomia e l'efficienza dell'operatore.

2.5.1 L'uso di piccoli contenitori

All'interno del bordo linea si adotta la nozione di "piccolo contenitore".
Il piccolo contenitore sarà una scatola di plastica di misure 600 x 400 x 320 mm.
Tale proporzione gli permetterà di contenere la maggior parte delle tipologie di componenti e permetterà inoltre un posizionamento più efficace in modo da ridurre al minimo gli spostamenti degli operatori.
L'*autonomia* di un contenitore sarà il tempo in minuti dell'esaurimento del suo contenuto quindi possiamo definire anche un piccolo contenitore una scatola con autonomia non superiore a dieci minuti.
La fornitura di questi contenitori può avvenire in due modi diversi:

- Fornitura kanban (approvvigionamento continuo) ossia che tutti i componenti e le sue varianti saranno disponibili al bordo linea
- Fornitura junjo (fornitura in sequenza) ossia i componenti verranno forniti in sequenza in base alla produzione

2.5.2 I principali vantaggi dei piccoli contenitori

L'utilizzo dei piccoli contenitori porterà vantaggi su vari livelli.
Per quanto riguarda la qualità degli imballaggi un contenitore piccolo offre sicuramente un miglioramento rispetto ai contenitori standard grazie all'utilizzo di protezioni sagomate (dunning) all'interno del contenitore che migliorano l'impatto visivo (più ordine) e l'ergonomia.
Nei classici contenitori a pallet o scatola invece possiamo avere problemi di danneggiamento per accatastamento errato, mescolamento di prodotti simili (ad esempio cavi elettrici).
Riusciamo anche a diminuire i costi perché ad esempio non sarà più necessario utilizzare dei compattatori per smistare le scatole di cartone, eviteremo l'uso eccessivo di protezioni per l'imballaggio delle grandi scatole e risparmieremo spazio.
Contenitori piccoli, facili da maneggiare ed ordinati migliorano di molto l'ergonomia e riducono i tempi di spostamento ed inoltre, il ridotto peso e la non più necessità di doversi chinare per raggiungere il fondo degli scatoloni, riduce il rischio di infortuni.

2.5.3 Il posizionamento di componenti e contenitori nel bordo linea

L'obiettivo a questo punto è disporre i contenitori (e quindi i componenti da prelevare) in modo che l'operatore esegua movimenti più brevi possibili. Il posizionamento dei contenitori può avvenire in due modi:

- Frontale (preferito)
- Posteriore.

Nel posizionamento frontale i contenitori sono disposti frontalmente all'area di lavoro facilitando e velocizzando così i movimenti che l'operatore deve svolgere.
Il rifornimento della linea avviene per mezzo di scaffali FIFO (first in first out) collocati il più vicini possibile all'area di lavoro
Se non è possibile il collocamento frontale si passa ad una soluzione posteriore.
Questa sarà spesso una scelta obbligata dalle grandi dimensioni dei componenti che non permettono il collocamento frontale. L'operatore allora dovrà girarsi per prelevare i componenti.
Per evitare tale movimento si può passare ad una fornitura per kitting, cioè, i componenti verranno forniti sotto forma di kit ad esempio su un vassoio (ciò implica però una linea junjo perché il kit deve rispettare la sequenza di assemblaggio)

2.5.4 Flusso dei materiali (flow containers)

L'ottica della lean Production per facilitare ed ottimizzare il flusso dei materiali per il rifornimento delle linee di produzione introduce il concetto dei flow containers.
Essi sono dei contenitori che hanno determinate caratteristiche e che facilitano la movimentazione del materiale senza l'utilizzo di macchinari o carrelli elevatori.
Per far parte del flusso un contenitore deve pesare massimo 12 kg, altrimenti necessiterà supporti su ruote.
I Flow containers vengono classificate in base alle dimensioni:

- Standard piccolo (600 x 400 mm)
- Standard medio (600 x 800 mm)
- Standard grande (800 x 1200 mm)

I contenitori Standard piccoli sono facilmente impilabili e le loro dimensioni sfruttano in pieno la trasportabilità nei camion (larghezza di 2.400 mm) e il trasporto su ruote all'interno dell'azienda (ad esempio con l'uso di roller). Sul bordo linea essi vengono posizionati su scaffali o carrelli.
I contenitori standard medi non presentano sostanziali differenze progettuali oltre la loro dimensione doppia rispetto a quelli piccoli

I contenitori Standard grandi vengono posizionati nel bordo linea su un carrello chiamato ergo pack.
Come abbiamo introdotto precedentemente, per facilitare l'ergonomia e l'ordine dei componenti all'interno dei contenitori, essi vengono sagomati (seguendo la forma del componente).
Le sagomature possono essere rigide (akilux), termoformati (in questo caso richiederebbero attrezzi speciali).

2.6 Standard Work

Con standard work si intende raggiungere la massima efficienza nel movimento degli operatori, minimizzando gli spostamenti e permettendo lo svolgimento del loro compito nel minor tempo possibile e con la massima ergonomia. Lo studio e l'ottimizzazione dello standard work parte dallo stilare una "spaghetti chat" che permette di visualizzare gli spostamenti degli operatori e misurare il tempo delle operazioni. Sarà quindi facilmente visibile il tempo perso e dove dobbiamo intervenire.

2.6.1 Ottimizzare lo standard work

Innanzitutto, è importante raccogliere dei dati. Il team di miglioramento quindi procederà ad osservare gli operatori (anche con l'ausilio di video, cronometri, etc..) e calcolare il tempo necessario all'operatore di svolgere il proprio compito.
Gli step iniziali saranno quindi:

- Calcolare il tempo di ciclo
- Calcolare i tempi per ogni postazione
- Redigere la scheda di Bilanciamento del lavoro (work balancing sheet)
- Redigere una scheda di Capacità di processo (process capacity sheet)
- Redigere la scheda di combinazioni di lavoro (Work combination sheet)

Queste schede conterranno i risultati delle varie rivelazioni e permetteranno di individuare i tempi problematici.
A questo punto bisogna attuare i miglioramenti eliminando i tempi inutili (muda):

- Si redige la scheda di miglioramento (improvement action sheet)
- Ridurre gli spostamenti e raggruppare i movimenti delle mani nell'area a valore aggiunto (VAA)
- Sperimentare varie soluzioni.

I vari miglioramenti vengono inseriti in una scheda di lavoro standard (standard work sheet) che sarà la base su cui formare gli operatori: un solido programma di training è essenziale per la riuscita dei miglioramenti e il mantenimento a lungo termine dei nuovi standard.

Vediamo alcuni esempi di miglioramento dello standard work:

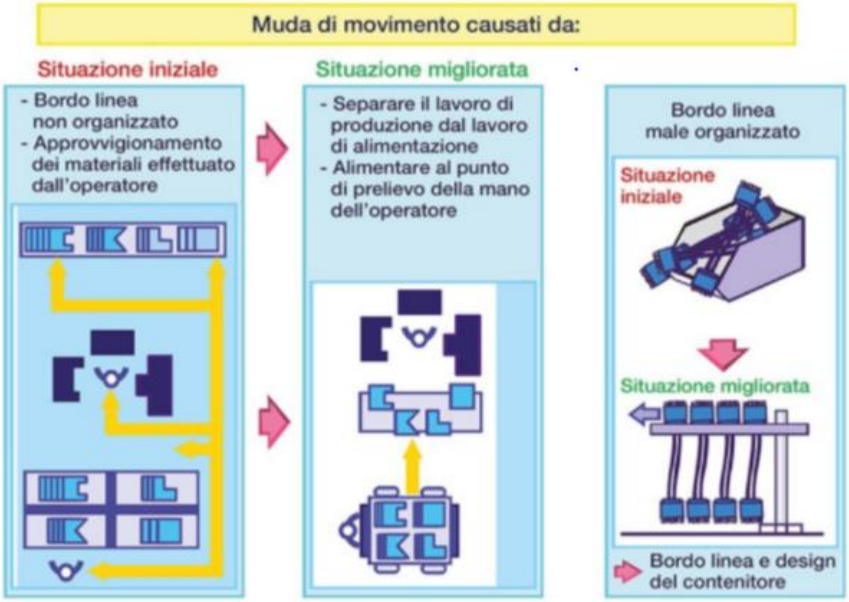

Figura 2.4 - (Coimbra, 2018)

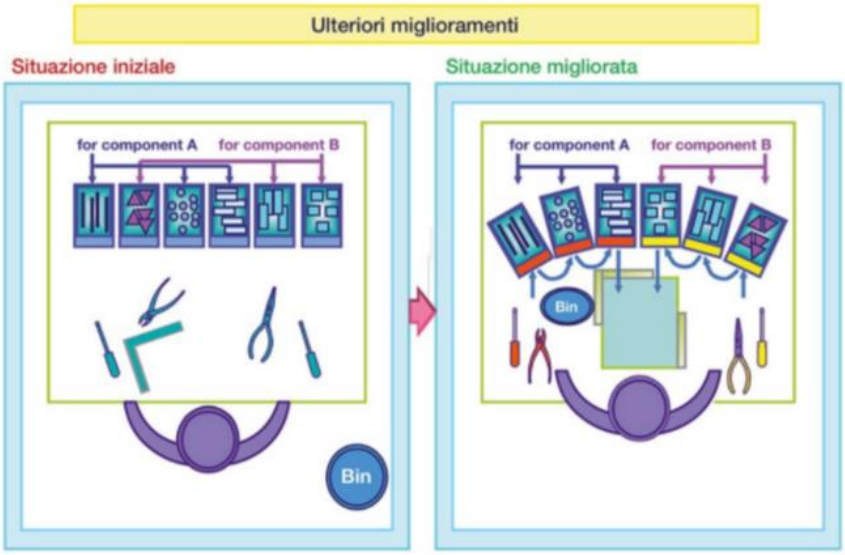

Figura 2.5 - (Coimbra, 2018)

2.7 SMED

2.7.1 Introduzione allo SMED

SMED (Single Minute Exchange of Die) è una metodologia applicata alle macchine o postazioni di lavoro che richiedono troppo tempo il cambiamento da un prodotto all'altro. È

molto importante quindi applicarlo approfonditamente se il compito della linea è quella di essere il più flessibile possibile.
La metodologia SMED è stata sviluppata da Shigeo Shingo, un ingegnere industriale di Toyota.
Fu applicata da Shigeo per ridurre il tempo di cambio delle presse di stampaggio del metallo lungo le linee produttive passando da 4 ore a meno di 2 ore. Il primo passaggio vincente fu quello di operare con lotti più piccoli con conseguente abbassamento di materiali in attesa che caratterizzavano i grandi lotti. Nell'industria della stampa dove il principale problema è il lungo tempo di cambio (changeover) delle presse, l'utilizzo delle tecniche SMED aumenterebbe in modo notevole la capacità produttiva

2.7.2 L'effetto SMED

Oltre che all'aumento della produttività della linea diminuendo i tempi di changeover, abbiamo anche una notevole riduzione dei costi totali d'impianto che si manifesta attraverso il cosiddetto effetto SMED.
Il modello EOQ (Economic Order Quantity) di Wilson definisce la quantità dell'ordine (Order Quantity) che minimizza i costi totali di magazzino (Total inventory Holding cost) e i costi di produzione dell'ordine (ordering cost). Perciò l'EOQ sarà la dimensione del lotto che minimizza i total inventory cost (scorte) e gli ordering cost (rappresentati dalla perdita di efficienza per i changeover).

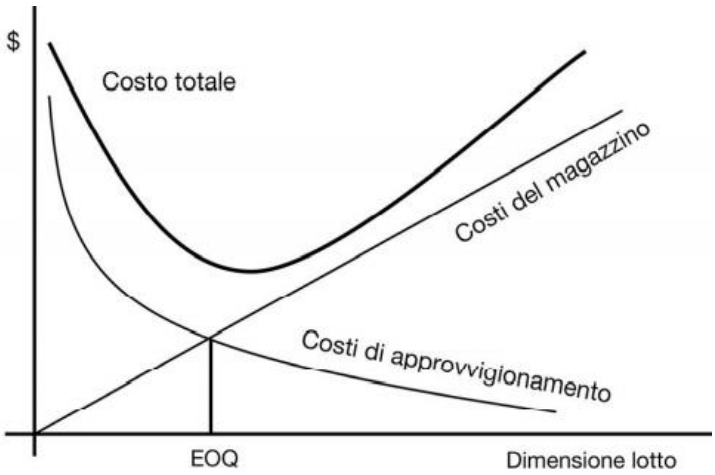

Figura 2.6 – EOQ - (Coimbra, 2018)

Abbassando i tempi di changeover attraverso i modelli SMED si avrà un abbassamento dei costi di magazzino e quindi una riduzione delle dimensioni dei lotti (EOQ). Questo è l'effetto SMED.
La condizione ideale che Toyota vuole raggiungere è l'EOQ unitario in cui si azzerano le scorte in magazzino ed il flusso è continuo.

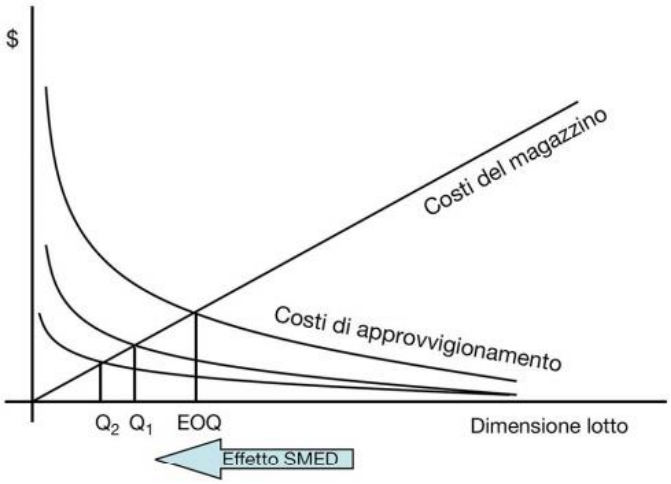

Figura 2.7 – Effetto SMED con conseguente abbassamento dei costi di magazzino - (Coimbra, 2018)

2.7.3 Gli Step dello SMED

La variabile importante è il tempo di set up. Il tempo di set up è definito come il tempo che intercorre tra la produzione dell'ultimo pezzo conforme del prodotto A e il primo pezzo conforme del prodotto B.

Il tempo di set up tiene conto delle fasi di scarico, carico e controllo a macchina ferma o che non sia a regime. Le metodologie SMED vogliono ridurre il tempo di set up al minimo.

Si seguono cinque step:

- Studiare la situazione iniziale. Un team studia le condizioni di lavoro della macchina, ossia analizzando i tempi, studiando la spaghetti chart e i movimenti ed effettuando registrazioni video.
- Dai risultati si classifica il lavoro interno (ciò che può essere fatto a macchina ferma) o lavoro esterno (operazioni a macchina a regime). Il miglioramento avviene raggruppando i lavori esterni alla fine/inizio del processo e creare uno standard work per i lavori interni
- Convertire, ove possibile, lavoro interno in esterno
- Ridurre il lavoro interno adottando soluzioni che permettono di velocizzare tali operazioni
- Ridurre il lavoro esterno.

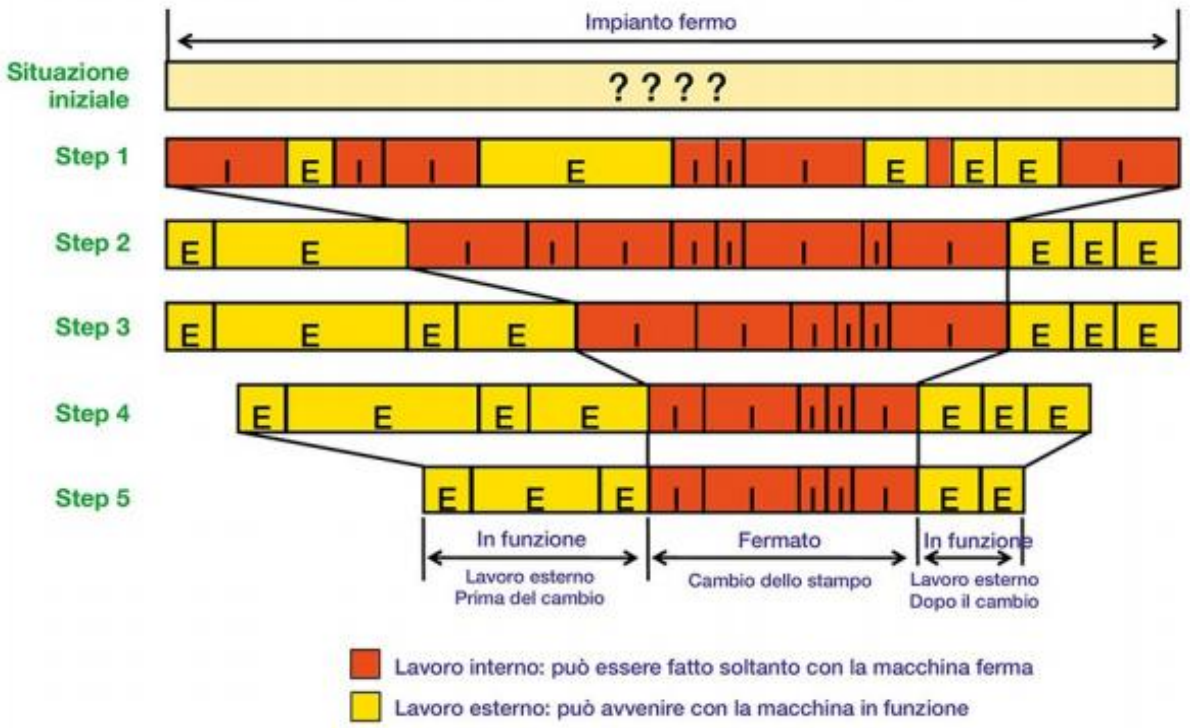

Figura 2.7 – applicazione dei vari step - (Coimbra, 2018)

È importante inoltre migliorare anche tutti i vari team che si occupano delle operazioni interne ed esterne. Ad esempio, bisogna formare il team di pulizia finale, il team addetto al cambio, il reparto di controllo qualità e manutenzione e così via.

Tutto il personale deve essere formato al nuovo standard work per minimizzare il tempo della loro mansione e non avere nessun collo di bottiglia.

Se è necessario un ulteriore contributo alla diminuzione dei tempi di set up (oltre che ad un'ottima preparazione del personale) si può procedere ad automatizzare le operazioni.

2.7.4 LCA – low cost automation

Il Compito della lca è quello di aumentare la produttività riducendo lavoro manuale al minor costo possibile. A differenza dell'automazione completa la lca si occupa di automatizzare movimenti più semplici e lineari, tramite l'utilizzo di leve, scivoli o rulli, camme e la sola forza di gravità. Nella progettazione di linee lca si tiene anche conto delle precedenti tecniche di ottimizzazione trattati (SMED, bordo linea e standard work, one-piece flow).

I dispositivi LCA prendono esempio dalle karakuri, delle tipiche bambole meccaniche che con meccanismi alimentati esclusivamente ad energia meccanica, si animano.

Alcuni concetti chiave della lca sono:

- Celle chaku chaku. Sono linee di produzione in cui l'operatore si occupa solo delle operazioni di carico e scarico.
- Dispositivi poka yoke (a prova di errore). Sono dispositivi di controllo che aiutano gli operatori a ridurre/eliminare gli errori commessi.

- La fase di scarico è una fase molto spesso automatizzata attraverso lca.

2.7.5 Dispositivi LCA e poka yoke

Tipo di dispositivo	Funzione
Sollevamento dei pesi	• Sollevatori delle parti • Piattaforme di carico
Supporti al trasporto	• Cinture • Scatole • Scaffali su ruote • Veicoli automatizzati prodotti in azienda
Presentazione dei componenti	• Scivoli • Protezioni per imballaggio • Parti in sequenza • Unità di rifornimento al punto di utilizzo (*seiretsu-sochi*) • Kit di montaggio
Piattaforme mobili per assemblaggio	• Piattaforme mobili per sedersi • Carrelli mobili
Maschere e sistemi di fissaggio	• Per semplificare le operazioni

Tabella 2.1 – principali dispositivi LCA

Questi dispositivi quindi avranno il compito di minimizzare i tempi di produzione e semplificare le varie operazioni (aumentando l'ergonomia degli operatori).
I poka yoke hanno il compito di controllare o prevenire azioni sbagliate.
Possiamo riconoscere tre tipi di poka yoke:

- Il Motion-step determina se la procedura è stata eseguita correttamente.
- Metodo del valore fisso. Si impone un valore fisso di movimenti e si verifica che essi siano stati eseguiti.
- Metodo del contatto. Si verifica attraverso le proprietà del pezzo se ci sarà o meno contatto tra il dispositivo e il componente.

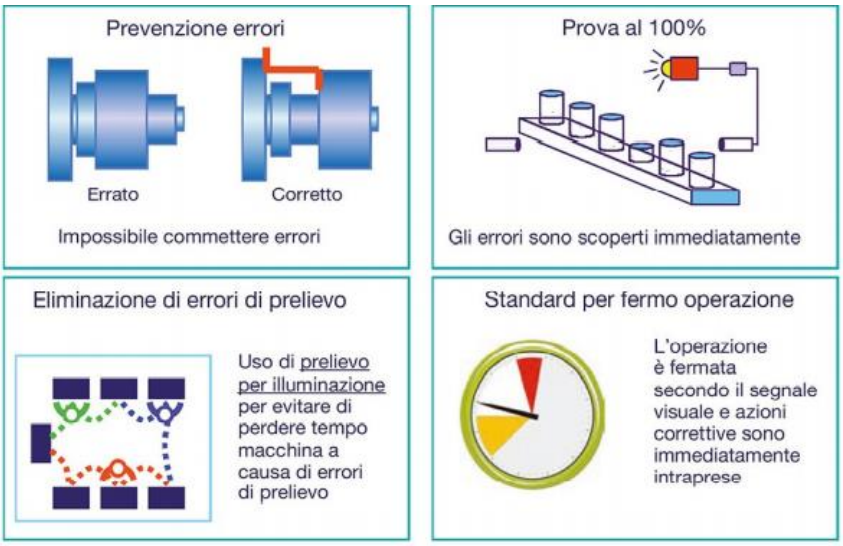

Figura 2.8 – poka yoke - (Coimbra, 2018)

Una tecnica sicuramente efficace LCA è lo scarico del pezzo automatizzato che permette un recupero non trascurabile di tempo.

In sintesi una linea lca contiene:

- Meccanismi semplici e lineari che sfruttano sola energia meccanica (karakuri) come rulli e scivoli.
- Utilizzo di leve e contrappesi per il sollevamento di carichi
- Piccole dimensioni per ridurre tempi, peso degli strumenti e i costi.
- Aree di lavoro piccole e raggruppate per ridurre gli spostamenti.
- Macchine per il controllo automatiche (poka yoke) e utilizzo dello scarico automatico per ridurre tempi ed errori di produzione.
- Alta flessibilità e facilità di modifica della linea (requisito SMED)

Secondo la Lean Management per attuare tecniche di LCA efficaci bisogna formare e disporre di un team dedicato.

3 Inizio delle pratiche SMED

3.1 Introduzione allo SMED

Dopo aver descritto di cosa si occupa lo SMED ed aver elencato le principali caratteristiche elencate nella TPS, vediamo delle applicazioni pratiche aziendali attraverso degli esempi descrivendo le migliorie apportate e come quest'ultime vengono ragionate.

3.1.1 Perché lo SMED?

Innanzitutto, dobbiamo parlare del perché un'azienda vuole applicare i principi dello SMED.

L'utilizzo delle tecniche SMED e della strategia LEAN all'interno del proprio processo produttivo porterà a notevoli vantaggi soprattutto per le aziende che vogliono competere nel mercato globale: il costo della manodopera e della tecnologia, le varie tassazioni e la qualità della manodopera stessa può variare di molto paese per paese portando sicuramente degli svantaggi per chi, a parità di produttività e di classe aziendale, sostiene costi maggiori e quindi per questi è sicuramente necessario migliorare la produttività per competere.
Ridurre i tempi di cambio (SMED) è un cambiamento critico per raggiungere la massima capacità produttiva e apporterà dei vantaggi:

- Semplificazione del processo. Un processo con SMED semplificherà le operazioni e renderà il lavoro più facile e appagante per gli operai
- Qualità dei prodotti superiore. Il programma di miglioramento aumenterà la qualità dei prodotti (scarti inferiori, processo più semplice).
- Aumenterà la competitività globale. Grazie alla riduzione dei tempi, dei costi e delle risorse e anche grazie all'aumento della qualità dei prodotti, si attirerà sempre più clientela.

3.2 Analisi del "Pay Back period"

Grazie ai vari miglioramenti elencati nel precedente paragrafo si otterranno dei ricavi sotto forma di "risparmi".
L'applicazione dei criteri SMED richiederà un investimento iniziale discreto e quindi si terranno conto solo delle idee che avranno un Pay back, ossia il momento in cui il ricavo estingue l'investimento iniziale. Il periodo di PB è tipicamente inferiore ad un anno se le tecniche vengono applicate correttamente.
Si avranno dei risparmi anche dopo il periodo di PB.
Alcuni esempi presi da (Fletcher Birmingham, 2007).

3.2.1 Esempio 1: un nuovo presetter degli strumenti

- Investimento iniziale €16,000
- Risparmi stimati a 12 ore a settimana a 30€/ora per 52 settimane, cioè €18,720 l'anno
- $Payback\ Period = €16{,}000 \div €18{,}720\ \times 12\ mesi = 10.25\ mesi$

Ossia "risparmi" dopo 10.25 mesi, al rateo di €18,720 l'anno se si effettua l'acquisto.

3.2.2 Esempio 2: Valutazione acquisto tester durezza portatile

- Prezzi €7,500
- Risparmi stimati a 8 ore a settimana a 30€/ora per 52 settimane, cioè €12,480 l'anno
- $Payback\ Period = €7500 \div €12{,}420\ \times 12\ mesi = 7{,}2\ mesi$

Si deve tenere conto che questi acquisti di nuovi macchinari vengono fatti ovviamente per ridurre i tempi di lavoro all'interno della linea produttiva. Un'azienda potrebbe impostare un valore minimo di PB al di sotto del quale qualsiasi valutazione di investimenti che porterebbero benefici, verrebbero automaticamente approvati, diminuendo i tempi per la loro attuazione.

3.3 programma di riduzione dei cambi e mini-setup.

Come spesso accade, l'acquisto di sole macchine più efficienti non basta per attuare un miglioramento della linea produttiva (costi troppo elevati per l'azienda). Come ho spiegato precedentemente, le tecniche della TPS sono fatte per ridurre gli sprechi, diminuire i tempi e quindi aumentare i profitti a minor costo di investimento possibile. Per questo si inizia con il programma di riduzione dei cambi e mini-setup. Un team dedicato ha il compito di trovare delle soluzioni che rispecchiano la mentalità della Lean manufacturing.

3.3.1 Riunioni

Delle riunioni verranno stabilite, un giorno a settimana, per discutere di nuove procedure di miglioramento.
Le principali fasi sono:

- Si sceglie un'area critica in cui i tempi di setup sono molto elevati.
- Si inizia la riunione con il Lead Team e con gli operatori che lavorano direttamente nell'area critica
- Si discute dei problemi che gli operatori riscontrano maggiormente rispondendo ad una serie di domande mirate ("quali sono i maggiori problemi che riscontri ogni giorno? Quale genere di equipaggiamento migliorerebbe il tuo lavoro? Quali sono le tue raccomandazioni per migliorare i tuoi compiti?" ecc.)
- Si elencano le varie idee in una TO-Do-list
- Si stimano i tempi e i costi per procedere e si calcolo il PB.
- Si inizia subito con risolvere le lista ed effettuare le operazioni nella to-do-list. Alcune operazioni richiederanno più tempo.
- Si Documenta il nuovo processo e si istruisce il personale.

3.3.2 Esempio:

Dopo la riunione per il miglioramento dei processi un'azienda ha raggiunto queste conclusioni

- Gli operatori richiedevano tempo per pulire e riorganizzare l'area di lavoro vicino le macchine. Questo perché l'eccessivo accumulo di sporcizia e di scarti di lavorazioni

precedenti portavano a enormi sprechi di tempo per ricercare gli strumenti necessari nell'area di lavoro.

- Inoltre, richiesero che i carrelli contenente l'attrezzatura fossero disponibili uno per postazione mentre attualmente sono uno per tre postazioni portando ad inevitabili sprechi di tempo.
- Necessità di illuminazione migliore in determinate aree e l'utilizzo di portautensili specifici per area.

Effettuate le seguenti apparentemente semplici migliorie, si vede subito che in realtà si avrà un miglioramento non trascurabile: gli sprechi di tempo si minimizzeranno, ed inoltre gli operatori lavoreranno in un ambiente più efficiente e meno stressante portando anche ad un miglioramento del loro atteggiamento.
A questo punto si procede ad effettuare il mini-setup a tutte le aree aziendali.

4 Full Scale Setup

Quando il processo di mini-setup è completo in tutte le aree aziendali in cui era possibile ottenere dei miglioramenti, si passa al Full Scale Setup che prevede i seguenti step:

1. Formazione del team e scelta di progetto
2. Acquisire informazioni per il progetto
3. Separazione da lavoro interno ad esterno
4. Conversione di lavoro interno ad esterno
5. Semplificazioni del Bordo linea

4.1 Formazione del Team e scelta di progetto

Come primo passo si forma un team per ogni area di miglioramento. Se l'azienda è "nuova" nel campo si inizia scegliendo aree meno complesse (anche se avranno minor impatto) questo perché un team non formato potrebbe fallire facilmente se l'operazione è troppo complessa, portando a frustrazione per i risultati poco soddisfacenti.
Solitamente si inizia con linee di montaggio comuni e non troppo specifiche e particolari. Il Team leader dovrà essere un supervisore o un manager dell'area scelta. Egli avrà il compito di decidere l'ordine delle operazioni e di formare il gruppo. Il team dovrà essere formato dai sei e i dodici membri di varie aree di lavoro in modo da avere più punti di vista. Una tecnica di formazione del gruppo è la formula $\frac{1}{3},\frac{1}{3},\frac{1}{3}$:

- Un terzo del gruppo è formato dagli operatori che lavorano direttamente nell'area di lavoro scelta. Saranno i diretti interessati.

- Un terzo del gruppo dovrà essere formato da operatori con competenze simili che lavorano in un'area differente.
- Un terzo del gruppo dovrà essere composto da ingegneri progettisti e di processo, addetti alla manutenzione e alle risorse umane.

Il leader del gruppo organizzerà il periodo delle riunioni nelle fasi di minor intensità di lavoro e supervisionerà la riunione.

4.1.1 Il ruolo del coordinatore

Una scelta critica è quella della figura del coordinatore. Tutti possono prendere parte del ruolo (operatori, manager, consulenti esterni, ecc.).
Il coordinatore deve fare in modo che le idee che vengono fuori dalle riunioni rispettino i principi della lean manufacturing.
Dovrà essere scelta tenendo conto di ottime capacità comunicative e conoscenza della Lean Manufacturing.

4.2 Acquisire informazioni per il progetto

Per garantire un programma di riduzione dei tempi c'è bisogno di studiare le operazioni correnti. Tipicamente per le operazioni più complesse si procede con una documentazione video che permette un'attenta analisi delle procedure. Le stesse videoregistrazioni verranno usate come misuratore dei risultati ottenuti con il miglioramento.

4.2.1 Documentazione Video

Prima di tutto bisognerà assegnare dei ruoli in un team di ripresa video:

- Operatore/i di setup. È l'operatore che normalmente svolge il compito in esame nella linea produttiva. L'operazione dovrà essere eseguita normalmente come se fosse di routine.
- Cameraman. Si occuperà della ripresa video. Dovrà concentrarsi su tutte le minime azioni dell'operatore come la preparazione dell'area di lavoro, la ricerca di strumenti, le fasi di azione e ispezione fino a lavoro completamente concluso. È importante che il cameraman è un operatore specializzato a quella linea in quanto conoscerà tutte le fasi perfettamente.
- Assistente cameraman. Si occuperà dell'illuminazione e degli strumenti di aiuto video come le batterie di ricambio (le riprese possono essere anche molto lunghe) e dei treppiedi.
- Cronometrista. Egli terrà conto della durata di ogni operazione.
- Scrivano. Prenderà nota dei tempi di ogni operazione e li registrerà sul Foglio dei tempi di setup

La videoripresa dovrà essere più di routine possibile e quindi includere quelle che sono le perdite di tempo abituali come ad esempio le pause pranzo degli operatori, attese per preriscaldamento forni, attese di materiali ecc., annotando i tempi sul Foglio dei tempi di setup.

4.2.2 Analisi video e Foglio dei tempi di Setup

A questo punto si torna in riunione e si comincia l'analisi dei tempi raccolti e si prende visione attentamente della documentazione video presa analizzando ogni movimento dell'operatore. a seguito dell'analisi il team propone delle soluzioni e scrive le idee su una flipchart. Implementare queste idee significa separare e convertire le attività da interno ad esterno, e semplificare il bordo linea.

Setup Baseline Worksheet					
Date 03/04/xx	**Part Name and Description** Part 27, Line 2	**Die** From: 32366 To: 40212			
Element Number	**Element Description**	**Duration (min:sec)**	**Elapsed Time**	**Internal Setup**	**External Setup**
1	Turn off extruder	0:15	0:15	X	
2	Unhook pelletizer	0:22	0:37	X	
3	Get purge	0:38	1:15		X
4	Purge extruder	0:59	2:14	X	
5	Shut off screener	0:11	2:25	X	
6	Get forklift	0:10	2:35		X
7	Move bin of processed product	1:00	3:35	X	
8*	Get paperwork while bin is unloading	1:32	5:07	X	X
9	Move dirty collection bin	0:23	5:30		X
10	Move tote to weight scale	0:55	6:25		X
11	Weigh and mark tote	0:39	7:04		X
12	Remove tote and prepare tumbler	1:39	8:43		X
13	Tumble tote	4:02	12:45		X

Figura 2.9 – Esempio di Foglio dei tempi di setup di una postazione di lavoro - (Fletcher Birmingham, 2007)

4.3 Separazione da lavoro interno ad esterno

Un'operazione di setup consiste in due tipi di attività:

- Attività interne sono le attività che l'operatore svolge mentre la macchina è spenta.
- Attività esterne sono le attività che l'operatore svolge a macchina in moto come ad esempio prepararsi per il compito successivo.

Per applicare un'idea dopo aver analizzato attentamente le operazioni nella stazione di lavoro e quindi ridurre i tempi di lavoro, si procede separando lavoro da interno ad esterno. Essi verranno identificati nel Foglio dei tempi di setup.

L'idea è quella di svolgere più attività possibili per il prossimo lavoro mentre la macchina è in moto

Vediamo un esempio di separazione di lavoro per una pressa.

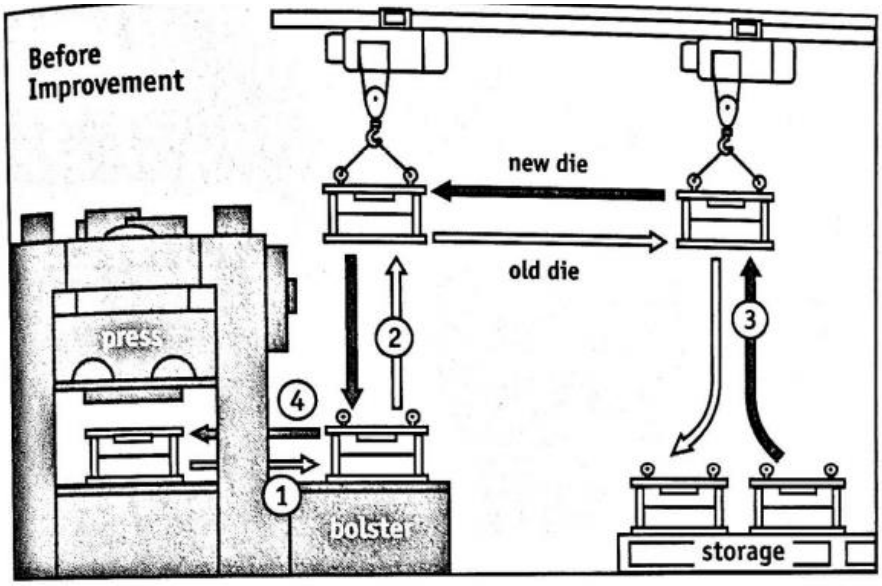

Figura 3 – operazione per pressa prima del miglioramento - (Fletcher Birmingham, 2007)

Le operazioni sono così fatte:

1. La pressa ha concluso il suo ciclo. Il pezzo completo viene espulso e poggiato su un sostegno.
2. Una carrucola sposta il pezzo in magazzino
3. La stessa carrucola raccoglie il nuovo pezzo da lavorare
4. Il nuovo pezzo viene messo sul sostegno in attesa dell'operatore che inizia la carica

Queste sono le classiche operazioni di una pressa standard sul quale possiamo eseguire delle migliorie per ridurre i tempi in cui la macchina non lavora ed è in attesa di un nuovo pezzo.

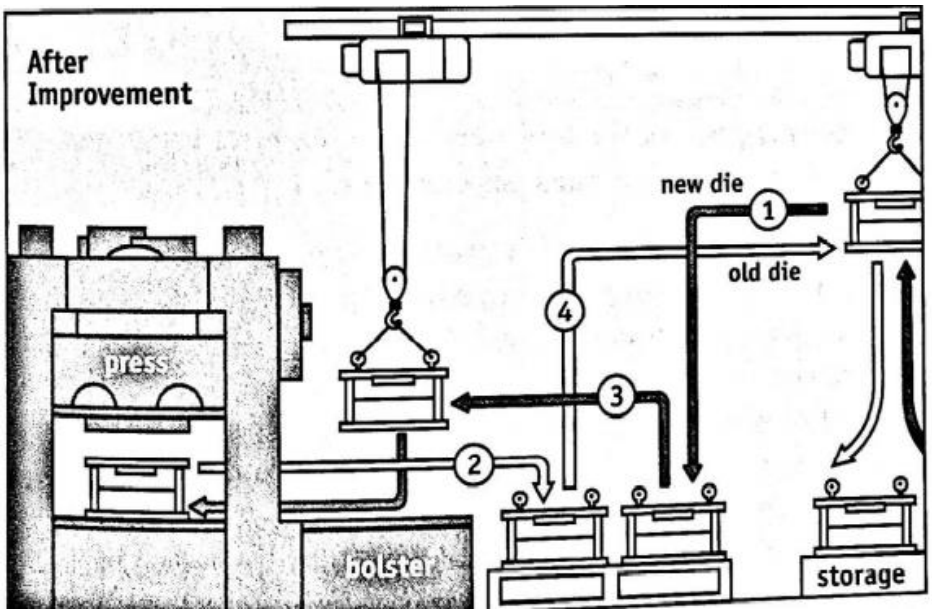

Figura 3.1 – Operazioni per pressa dopo miglioramento - (Fletcher Birmingham, 2007)

Le operazioni sono così fatte:

1. Si prende un pezzo da lavorare in magazzino e si posiziona il più possibile vicino alla macchina
2. Si ferma la macchina e si sposta il pezzo in area di lavoro
3. Si carica il pezzo da lavorare
4. Si sposta il vecchio pezzo in magazzino

Grazie a queste modifiche negli step di carica/scarica abbiamo ridotto i tempi morti della macchina in cui è in attesa di un nuovo pezzo.

Dopo l'analisi video, si indentificano le operazioni interne ed esterne come in [*figura 2.9].* Inoltre, bisogna identificare ed eliminare tutte le operazioni che non aggiungono valore per il cliente.

Queste operazioni possono portare ad una notevole riduzione dei tempi anche fino al 50% con conseguente risparmio di costi.

4.3.1 Esempi di separazione da lavoro interno ad esterno.

Il gruppo di riduzione tempi deve identificare quelle operazioni esterne che vengono eseguite a macchina ferma. Queste operazioni devono essere eliminate o eseguite mentre è in corso la vecchia operazione (come nell'esempio di figura 3.1 in cui gli spostamenti vengono fatti a macchina accesa)

Alcuni esempi possono essere:

- Se il completamento di un lavoro richiede grandi spostamenti degli operatori per fornirsi delle attrezzature prese nei magazzini, si può pensare di spostare i magazzini vicino alle aree di lavoro con conseguente risparmio di tempo.

- In un'azienda di saldatori una volta terminata un'operazione di saldatura si inizia la prossima. A circa metà del lavoro è richiesta un'ispezione da un operatore specializzato prima di continuare il lavoro. L'attesa per l'ispezione può essere anche oltre trenta minuti in cui l'operatore è fermo. La soluzione adottata è installare nella area di lavoro una nuova stazione di saldatura, così che l'operatore prima di finire il vecchio pezzo, comincia il nuovo, e quando richiede l'ispezione torna a completare il vecchio pezzo. Così facendo si è eliminato del lavoro Esterno.
- Operazioni di routine come il cambio dello stampo di una pressa, richiedono delle procedure standardizzate e formare gli operatori a seguirle.

4.4 Conversione di lavoro da interno ad esterno

Quando è possibile farlo bisogna convertire il lavoro da interno ad esterno. Nella separazione del lavoro non si stanno cambiando le fasi di lavorazione, ma quando devono essere eseguite.

Durante una conversione invece, si cambia l'attività per ottimizzare la procedura.

- Ad esempio, una pressa richiede una temperatura di 230°C per lavorare ottimamente. Tipicamente lo stampo viene prelevato a temperatura ambiente, installata e fatta riscaldare. L'operazione così descritta può richiedere anche più di un'ora. Il preriscaldamento della pressa in un forno prima dell'istallazione riduce notevolmente i tempi.
- Standardizzare i pezzi porta ad un'istallazione e cambio di setup molto più veloci che utilizzare ogni volta pezzi diversi.

La conversione da lavoro interno ad esterno è un'operazione più complicata ma otteniamo maggiori incrementi di produttività rispetto alle operazioni descritte precedentemente.

Alcuni esempi di conversione posso essere:

- Lo stampaggio dei codici prodotto sulla guaina di cavi elettrici avviene attraverso una stampante apposita. Per Ogni prodotto viene cambiata la ruota di stampa mentre le macchine sono in funzione. Questo provoca grandi quantità di scarti e perdite di tempo. Il gruppo Lean adotta una soluzione basata sul setup di una stampante fuori linea che successivamente viene cambiata con la stampante corrente. Cosi si evitano gli sprechi e il tempo di setup viene notevolmente ridotto.
- In un'azienda di produzione equipaggiamenti per il trattamento di acqua a livello civile e industriale, una pressa ha un tempo medio di setup che va da 1 ora a 4 ore in determinate applicazioni. A seguito di un'analisi approfondita utilizzando software specifici il team di riduzione-setup ha ridotto i tempi attraverso la formazione degli operatori e l'eliminazione delle operazioni che non aggiungevano valore al prodotto finale. Rimaneva comunque un importante fonte di perdita: Il cambio della pressa

richiedeva lo smontaggio di molte connessioni che avvenivano a macchina spenta. Una riprogettazione della pressa (riducendo queste connessioni) ha ridotto notevolmente i tempi di cambio.

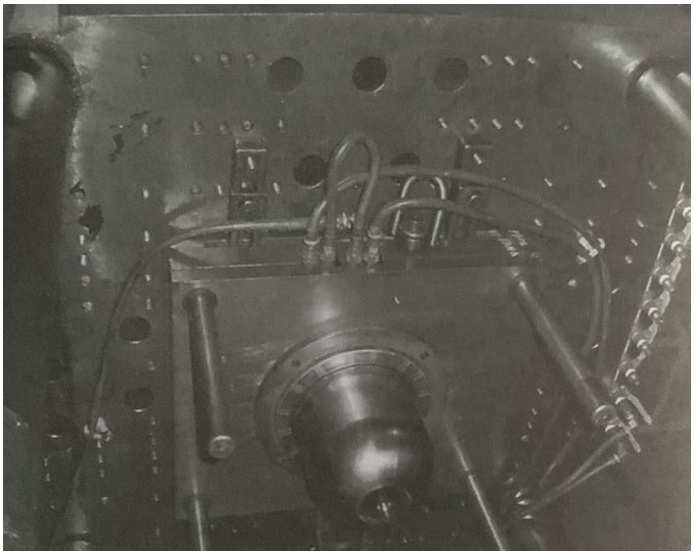

Figura 3.2 – Pressa Prima del miglioramento - (Fletcher Birmingham, 2007)

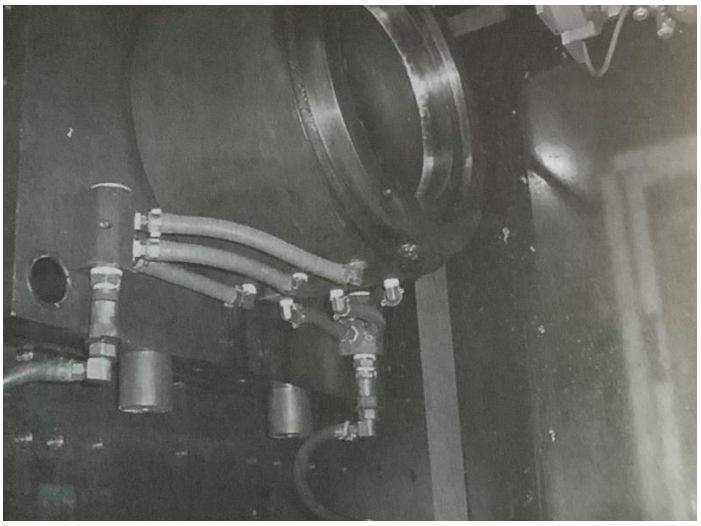

Figura 3.3 – pressa dopo il miglioramento - (Fletcher Birmingham, 2007).

4.5 Semplificazione del bordo linea

A questo punto gran parte del lavoro è stato fatto ma resta comunque la possibilità di semplificare il lavoro agli operatori e aumentarne l'ergonomia delle postazioni.

- Se possibile si può semplificare le operazioni di montaggio modificando il pezzo (aumentando tolleranze, operazioni di assemblaggio più semplici).

- Si può standardizzare le parti delle macchine in modo da evitare l'utilizzo di troppi strumenti per le operazioni.
- È importante semplificare il più possibile la fornitura di strumenti per gli operatori nell'area di lavoro per evitare perdite di tempo: in caso di perdite di bulloni, strumenti posizionati in ordine di utilizzo, sfruttare contenitori adeguati.

L'utilizzo di contenitori adeguati sul bordo linea è molto importante per gli operatori, per la loro ergonomia e per la minimizzazione delle perdite di tempo.

Figura 3.4 – Speciali contenitori organizzativi - (Fletcher Birmingham, 2007)

Ottimizzato anche il bordo linea e semplificato il più possibile le operazioni, ci sarà comunque del tempo morto per gli operatori che potrà essere utilizzato per pulire le aree di lavoro o aiutare altre aree in modo da rendere produttivo anche questa fase.

4.6 Standardizzare le operazioni

alla fine del programma di riduzione, si confrontano i risultati ottenuti con i dati raccolti dalla documentazione video in modo da quantificare i miglioramenti ottenuti. A questo punto si conclude il lavoro con:

- La produzione di una check-list di setup
- Formazione degli operatori al nuovo ciclo produttivo
- Una lista di operazioni rimanenti

4.6.1 Check-list di setup

Una volta completate le modifiche al ciclo produttivo, esse devono essere documentate all'interno di una check-list che gli operatori dovranno seguire per le nuove operazioni. Un esempio di una check-list per un'azienda di estrusione della gomma è riportato in figura 3.5, dove sono state fatte le seguenti migliorie:

Contenitori delle strisce di gomma (materiale base per la produzione) è posto vicino all'area di lavoro

Carrelli con strumenti e pezzi per ogni stazione di lavoro

Rubber Extrusion Setup Checklists

External Checklist

Get process sheet envelope
Get material
Get die and screen
Get labels and staple gun
Get skids and packaging
Get the 10-to-1 drawing
Get the 10-to-1 comparator and make sure it works
Get the template and tools
Get the opening die and the air die

Internal Checklist (Operator)	**Internal Checklist (Helper)**
Set zones	Change/review cutter
Die placement	Change length on cutter
Feed stock	Set puller speed
Heat die	Install opening die and air die
Set conveyor speed	Set weight scale
	Set 12-inch cut fixture

Figura 3.5 – Esempio di check-list - (Fletcher Birmingham, 2007)

4.6.2 Training operatori

Nuove procedure di produzione richiede un training per gli operatori. Un elemento importante per il successo del programma di riduzione dei tempi è che gli operatori debbano rispettare precisamente il nuovo setup delle operazioni ed essere allenati a farlo. Inizialmente dovranno essere organizzate delle sessioni di training.

4.6.3 Lista Delle operazioni rimanenti

Come abbiamo detto precedentemente, non tutte le migliorie potranno essere implementate immediatamente, ma alcune di esse possono anche richiedere settimane prima di entrare nella routine della produzione. Alcuni motivi di questi ritardi possono essere sessioni di training prolungate degli operatori o ordini che richiedono tempi più lunghi. Le idee non implementate devono essere elencate in una lista. Questa lista poi deve essere esposta ed essere visibile per tutti gli operatori

Redesign die holder	Jason	By 03/05/xx
Repair puller/FPM indicator	Bill	By 03/08/xx
Tape machine—		
positioned blocks (two sets)		
Identify plates	Dianne	By 03/08/xx
Accu. punch		
Relocate punch dies/tool tray	Bill	By 03/08/xx
Set screws	Dianne	By 03/08/xx
Simplify adjustment for eyes and rollers	Bill/Dianne/Jason	By 03/08/xx
Comparator sun shield	Jason	By 03/15/xx
Repair or replace lights	Bill	By 03/15/xx

Figura 3.6 – Esempio di Lista - (Fletcher Birmingham, 2007)

5 Conclusioni

La lean production è nata per far fronte alle crisi post-belliche delle aziende produttive. Oggi è un importante concetto, fondamentale all'interno delle aziende per uno sviluppo duraturo e soprattutto è un contributo non trascurabile per la concorrenza internazionale.
Secondo me è importante lo studio e la formazione di teams dedicati alla lean production anche all'interno delle piccole imprese manifatturiere in quanto i vantaggi possono essere considerevoli anche per concorrere a livello locale: l'adozione dei concetti base e fondamentali della Lean Production sicuramente porterebbe allo sviluppo a basso costo delle linee produttive o ambienti di lavoro delle piccole imprese, aumentandone la produttività.