



**UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE**

**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

---

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica

**MIGLIORARE LA PRODUZIONE E LA LOGISTICA ATTRAVERSO SOLUZIONI LEAN**

**IMPROVING PRODUCTION AND LOGISTIC THROUGH LEAN SOLUTIONS**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Filippo Emanuele Ciarapica

Tesi di Laurea di:

Alessandro Fiore

A.A. 2019/2020



# INTRODUZIONE

---

L'applicazione del "lean thinking" è uno tra gli strumenti più utilizzati per il miglioramento del profilo competitivo delle imprese ed è alla base delle più avanzate tecniche di produzione. La nascita della filosofia lean coincide con lo sviluppo del sistema produttivo Toyota (Toyota Production System), il quale è stato teorizzato e introdotto gradualmente negli impianti produttivi Toyota a partire dalla seconda metà del Novecento.

In Giappone, nel secondo dopoguerra, la disponibilità di materie prime era molto ridotta e Toyota si trovava a fronteggiare la competizione delle industrie americane del settore automotive. Date le fonti a disposizione e i limiti di natura economica e culturale, il primo obiettivo fu quello di incrementare la produttività e minimizzare i costi così da potersi confrontare il più possibile ai mercati occidentali.

Promotore principale di questa rivoluzione fu Taiichi Ono. Infatti, grazie alle sue idee, Toyota si concentrò sul tagliare tutte le attività non necessarie considerando ogni processo. Sarebbe stato infatti impresa ardua e pericolosa imitare il metodo *Ford*, avendo come obiettivo la riduzione dei costi attraverso l'elevata produttività.

Il TPS si basa sull'idea di "fare di più con meno", sfruttando al massimo le risorse limitate con il fine di aumentare sensibilmente la produttività e ottenere il cosiddetto flusso continuo.

La seguente tesi nasce con l'obiettivo di indagare la gestione della produzione snella e della sua applicazione pratica nei processi produttivi. Come vedremo, la parte più complessa non è quella relativa alla sola applicazione in azienda delle tecniche di produzione lean: la vera sfida è adottare la stessa filosofia nel medio e lungo periodo mantenendo validi metodi e strumenti volti agli obiettivi ideali della produzione snella.



# INDICE

---

<b>INTRODUZIONE</b> .....	1
<b>LEAN MANUFACTURING</b> .....	5
Il primo principio: VALUE .....	5
Il secondo principio: MAP .....	6
Il terzo principio: FLOW .....	6
Il quarto principio: PULL .....	7
Il quinto principio: PERFECTION .....	7
Il continuous flow.....	7
<b>LE CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO</b> .....	8
<i>Flessibilità</i> .....	8
<i>Variazione del work content</i> .....	9
<i>Similarità dei processi produttivi</i> .....	9
<i>Takt time</i> .....	10
<b>IL KAIZEN</b> .....	12
<b>LA GESTIONE DEI MACCHINARI</b> .....	16
<i>Livelli di automazione snella</i> .....	19
<b>LA GESTIONE DEL PERSONALE</b> .....	25
Opzioni di caricamento dell'operatore.....	26
Cos'è il kanban? .....	27
<b>IL BILANCIAMENTO DELLA LINEA</b> .....	30
<b>GESTIONE DELLE PRODUZIONE</b> .....	34
Livellamento del volume.....	35
Livellamento del mix .....	37
<b>CONCLUSIONI</b> .....	40
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	41



# LEAN MANUFACTURING

---

La produzione snella, o lean manufacturing, è un metodo sistematico per la riduzione degli sprechi all'interno di un sistema produttivo (Hirano, 1990). In sostanza ha come obiettivo il mantenimento delle sole attività che producono valore per il cliente e necessita uno studio dettagliato dei processi produttivi, i quali devono essere costantemente e progressivamente ottimizzati nel corso della vita aziendale. L'approccio a questa filosofia si è sviluppato ampiamente negli impianti produttivi Toyota, ma solo a partire dagli anni novanta del secolo scorso, con il riconoscimento dell'azienda quale uno dei maggiori produttori al mondo di veicoli, il mondo accademico e industriale ha iniziato ad indagare sulle ragioni che hanno portato l'impresa al successo.

Il fulcro attorno al quale fa leva la filosofia di Toyota è il lean thinking, un insieme di modi di pensare, background culturale e strumenti che raggruppano e analizzano tutti gli elementi che entrano in gioco nella produzione di un bene o servizio: design del prodotto, coordinamento della supply chain, produzione vera e propria e gestione dell'intera impresa.

I principi che stanno alla base della filosofia Lean sono cinque e, nel seguito, li analizzeremo brevemente

## Il primo principio: VALUE

Il punto di partenza per la Lean Production è il concetto di Valore che va ripensato da un punto di vista diverso, quello del cliente.

Solo una piccola parte delle azioni e del tempo totale che sono impiegate per produrre uno specifico prodotto aggiungono effettivo valore per il cliente finale. È di fondamentale importanza definire il valore del prodotto secondo la

prospettiva del cliente, così che si possa procedere alla rimozione passo dopo passo di tutte le attività a non valore o MUDA (sprechi).

## Il secondo principio: MAP

Una volta stabilita la definizione di valore per il cliente, è necessario focalizzarsi sull'analisi delle attività che lo generano. L'analisi chiama in causa tutte le attività che vanno dalla progettazione, alla gestione dell'ordine sino alla produzione del prodotto, identificando:

- Le attività che generano valore secondo il cliente;
- Le attività che non creano valore, ma che sono imprescindibili, considerati i sistemi di produzione e gestione dell'azienda. Queste attività non possono essere eliminate fin da subito.
- Le attività che non creano valore aggiunto e che possono essere eliminate da subito.

## Il terzo principio: FLOW

Dopo aver definito il valore e dopo che il flusso di valore è stato completamente identificato ed è stato eliminato ogni tipo di spreco, ci si concentra sulle attività che generano valore. Il fine ultimo è fare in modo che il flusso di queste attività generatrici di valore sia costante e continuo. Per fare questo bisogna valutare come gestire il lavoro, che tipo di macchinari impiegare per facilitare la produzione onde evitare flussi a ritroso, scarti e fermate, quale struttura creare per facilitare il flusso, che tipo di figure professionali cercare.



## Il quarto principio: PULL

Il termine Pull (letteralmente “tirare”) sta ad indicare che non vengono prodotti beni sino al momento in cui il cliente li richiede. Questo consente a tutta la catena produttiva, e quindi al produttore del bene, ai fornitori e così via sino ad arrivare alle aziende produttrici delle materie prime, di limitare sensibilmente il livello di materie prime.

Un’altra conseguenza benefica immediata che apporta la gestione “Pull” è la linearizzazione della domanda da parte del cliente. Infatti è il cliente ad ordinare quello di cui ha bisogno e non l’azienda che, applicando delle campagne di sconti, influenza la domanda verso una determinata tipologia di prodotto per eliminare le scorte dovute alla sovrapproduzione tipica della linea produttiva a lotti.

## Il quinto principio: PERFECTION

Una volta definito accuratamente il valore, identificato il flusso di valore, fatto sì che i diversi passaggi fluiscano con continuità e che il cliente possa “tirare” il valore dell’impresa, è necessario perseguire la perfezione tramite continui miglioramenti (Kaizen).

## Il continuous flow

Ora andremo ad analizzare i passi principali della trasformazione di un processo produttivo secondo la logica lean e quindi, di conseguenza, nell’instaurazione del cosiddetto “continuous flow”. Nel far questo andremo ad utilizzare alcuni dei principi fondamentali del lean thinking e li vedremo meglio.

# LE CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO

---

A seconda della situazione in cui ci troviamo, dobbiamo analizzare molto attentamente il prodotto da assegnare alla nostra linea produttiva. Analizziamo alcune linee guida.

## *Flessibilità*

A seconda di ciascun prodotto, a volte la domanda è abbastanza elevata da permettere la creazione di linee dedicate al singolo prodotto.

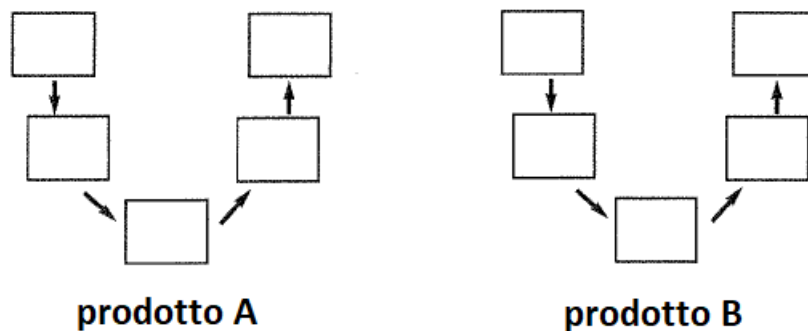


Figura 1

Molto più spesso, quando la domanda varia con i diversi prodotti, la soluzione migliore è quella di avere celle di produzione miste. Questo avviene soprattutto quando è possibile mantenere i tempi di cambio configurazione delle celle relativamente corti.

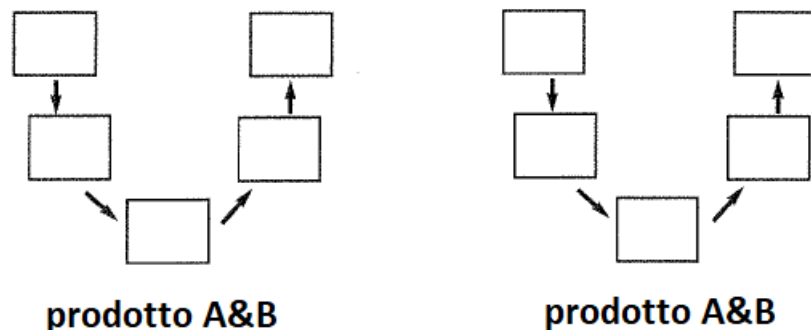


Figura 2

È evidente come la capacità totale sia la stessa in entrambi i casi ma l'abilità di ogni linea di produzione di adattarsi a cambi nella domanda tra due prodotti sia nettamente migliore nel secondo caso. Inoltre è importante ricordare che, mentre per il singolo prodotto la domanda può subire variazione più o meno repentine, quella per un'intera famiglia di prodotti è molto più stabile.

### *Variazione del work content*

Il total work content, che rappresenta effettivamente il tempo operativo richiesto per processare un pezzo dall'inizio alla fine, non dovrebbe variare più del 30% tra i diversi articoli prodotti nella cella. Variazioni troppo accentuate renderebbero difficile mantenere un buon flusso. In questi casi, è buona norma dividere la cella o assegnare alcuni prodotti non molto richiesti o con una domanda molto bassa ad altre celle.

### *Similarità dei processi produttivi*

Prodotti molto diversi tra di loro e, nella fattispecie, con step produttivi che variano molto da un prodotto all'altro non sono molto adatti alla creazione di un flusso continuo. Infatti, i continui cambi di setup della cella produttiva

ridurrebbero la produttività e incrementerebbero le possibilità di incorrere in problemi di qualità.

## *Takt time*

Il takt time è uno dei concetti fondamentali del lean thinking: è il parametro che lega la produzione al mercato. In effetti è un numero che esprime un tempo: in questo tempo deve essere ottenuta un'unità di prodotto. Si tratta in sostanza del ritmo della produzione.

$$TT = \frac{\text{tempo tot. disponibile}}{\text{pezzi richiesti}}$$

Come indicazione generale, quando il takt time per una cella scende sotto i dieci secondi il lavoro del singolo operatore può diventare altamente ripetitivo e, di conseguenza, molto stressante per l'operatore.

Anche Takt Time troppo lunghi possono creare problemi. In particolare, quando il takt time supera i 120 secondi, il numero di step operativi potrebbe diventare talmente alto da rendere il flusso produttivo difficile da standardizzare.

Il calcolo del takt time è di fondamentale importanza. Le vendite sono di solito calcolate su base giornaliera o settimanale ma la maggior parte dei processi produttivi sono in esecuzione solo alcune frazioni della "settimana lavorativa". Quindi, visto che l'obiettivo del takt time è quello di dare informazioni sul ritmo produttivo più aggiornate possibile, la cosa più sensata da fare è quella di dividere il numero di prodotti richiesti giornalmente o settimanalmente per il numero effettivo dei cambi di setup effettuato in quel periodo per ottenere, infine, la domanda per turno di lavoro. Un altro aspetto da considerare nel calcolo del takt time è la variazione della domanda nel lungo periodo. Cosa fare se la domanda media a lungo termine e la domanda giornaliera sono diverse?

Una strategia che può essere adottata è quella di controllare e analizzare l'intervallo con cui è variata la domanda per il prodotto nel corso di un

determinato periodo di tempo. Per sopperire a occasionali picchi di richiesta è generalmente meglio operare ad un takt time costante basato sul lungo termine mantenendo un magazzino di prodotti finiti o avviare turni di produzione straordinari. Si sceglie di andare a lavorare su questi parametri al fine di mantenere il più possibile costante il takt time.

Seppur simile al takt time, il concetto di **tempo di ciclo** merita un approfondimento. è il tempo lavorativo manuale necessario al completamento del processo analizzato. Il tempo di ciclo - dunque - è una misura più "meccanica" della capacità del processo. Salvo particolari eccezioni, il tempo di ciclo deve essere sempre minore del takt time per garantire la produzione richiesta nonostante tempi morti non programmati.

Dall'altro canto, è utile tenere a mente che avere un tempo di ciclo eccessivamente più veloce del takt time portano ad incrementare le possibilità di incorrere nel rischio di sovrapproduzione e di aumentare inutilmente il numero di operatori.

## IL KAIZEN

---

Un ingrediente fondamentale per creare e mantenere il flusso di lavoro continuo è quello di analizzare nel dettaglio le singole operazioni elementari che svolge ciascun operatore. Definiamo operazione elementare “il più piccolo incremento di lavoro che può essere trasferito ad un'altra persona”.

Individuare le singole operazioni aiuta ad identificare e eliminare sprechi e perdite che altrimenti sarebbero incluse nel tempo totale del ciclo per l'operatore.

In questa fase della “costruzione” di un processo operativo a flusso continuo quasi certamente andremo incontro ad un altro pilastro del lean thinking, ovvero la filosofia **Kaizen**.

Kaizen è un termine giapponese formato da due parole: KAI che sta ad indicare cambiamento, e ZEN che significa meglio: da qua il significato di miglioramento continuo. Esso trova le sue radici nel vecchio detto giapponese: “se non si vede un uomo per tre giorni, i suoi amici dovrebbero guardarlo attentamente per scoprire quali cambiamenti si sono verificati”. Da qui traspare la convinzione che ogni cosa, anche se di poco, cambia continuamente.

In termini aziendali, questo significa produrre piccoli miglioramenti continui che, se eseguiti quotidianamente, rendono possibili cambiamenti importanti nel tempo. Tale convinzione, radicata nella cultura giapponese, è meno conosciuta nella realtà industriale occidentale, in cui le aziende sostanzialmente possono rimanere inalterate nella struttura e nella forma anche per molti anni e dove i

soli cambiamenti visibili sono nelle innovazioni tecnologiche ad alti investimenti.

A questo punto è utile andare a distinguere tre diversi livelli di miglioramento che hanno relativamente effetto diverso sul sistema produttivo (vedi fig.3):

- **Kaizen**: come detto sopra, significa migliorare con sforzi di piccola entità, ma continui. Questo porta ad effetti visibili già nel breve tempo.
- **Kaikaku**: letteralmente viene tradotto come cambio radicale. In ambito produttivo riguarda l'introduzione di nuove conoscenze, nuove strategie, nuovi approcci, nuove tecniche di produzione o nuove attrezzature.
- **Kakushin**: equivale al concetto espresso in inglese con il termine breakthrough, ed è la realizzazione di un progetto di trasformazione in una prospettiva futura. Esso comporta la rimozione di fattori d'ostacolo e il rinnovamento delle strutture di produzione



Figura 3

Le ultime due tipologie sono gestite da dirigenti, in quanto richiedono sforzi elevati sia in termini di risorse sia in termini di progettazione. Il kaizen, invece, presuppone il coinvolgimento di qualunque livello del processo aziendale, che ha la possibilità di apportare dei piccoli miglioramenti ogni giorno, avendo accesso ad un numero esiguo di risorse.

Diversi modelli sono stati sviluppati nel corso degli anni seguendo la filosofia del kaizen. Uno dei più validi è il ciclo di Deming (vedi fig. 4), o ciclo PDCA, che prevede il susseguirsi di quattro operazioni:

- **P** – Plan. Pianificazione: definire gli obiettivi e i processi necessari per fornire i risultati attesi. Quando possibile, si avvia un modello di produzione su piccola scala, per verificare i possibili effetti.

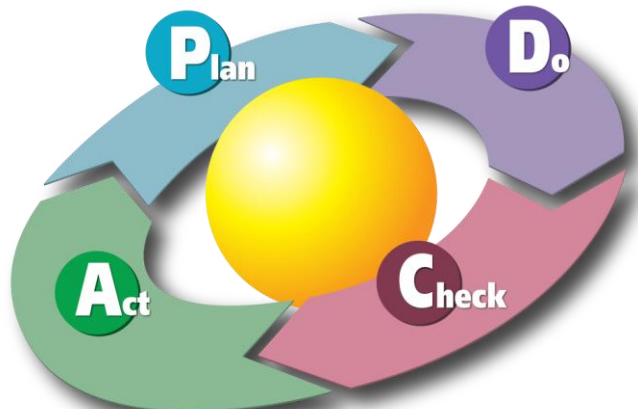


Figura 4

- **D** – Do. Si esegue il programma, dapprima attraverso delle simulazioni. In questa fase si raccolgono anche i dati per la fase di “Check” e “Act”.
- **C** – Check. In questa fase avvengono i test e i controlli. Si studiano i risultati, misurati e raccolti nella fase del “Do” confrontandoli con i risultati attesi.
- **A** – Act. È la fase prettamente pratica per rendere definitivo e/o migliorare il processo. Inoltre si analizzano le differenze significative tra i risultati effettivi e previsti.

Tornando ad una trattazione più pratica, la filosofia Kaizen è di particolare utilità nel momento in cui andremo a stilare la lista di tutte le singole procedure che compongono l'intero processo produttivo. Alcune linee guida che possono tornare utili sono:

- 1. Non includere alcun spostamento degli operai come elemento di lavoro.** Ignorare gli spostamenti in questa fase ci permetterà in seguito di minimizzarli.
- 2. Non includere lavori di fine ciclo degli operatori come elementi di lavoro.** I lavori di fine ciclo, come effettuare un controllo qualità o spostare un contenitore di pezzi finiti, interrompono il flusso continuo e rendono impossibile mantenere una produzione coerente al takt time. Questi lavori potrebbero essere affidati ad



uno staff di supporto, come team leader o magazzinieri, che lavorano fuori dal flusso continuo dettato dal takt time.

**3. Non includere il tempo che gli operatori aspettano in attesa che le macchine eseguano il ciclo come elemento di lavoro.** Aspettare il termine del ciclo di una macchina è uno spreco evidente. Difatti, salvo alcune eccezioni, si preferisce andare a saturare gli operatori attraverso la progettazione di una cella produttiva che permetta all'operatore di caricare la macchina, avviarla, e muoversi alla successiva stazione di lavoro mentre la macchina lavora.

Altro aspetto prettamente pratico riguarda la misurazione del tempo effettivo di ciascuna operazione elementare. Per raccogliere tempi precisi per ogni elemento di lavoro è sempre consigliabile effettuare delle misurazioni direttamente nella stazione interessata, senza fare affidamento né a tabelle standard né sui dati archiviati nell'eventuale ufficio tecnico. La "raccolta" delle informazioni in loco è particolarmente utile per capire la situazione reale e vedere gli sprechi che altrimenti rimarrebbero nascosti.

# LA GESTIONE DEI MACCHINARI

---

A questo punto, calcolato il takt time e stabilite le operazioni elementari del nostro processo produttivo, dobbiamo verificare la capacità delle macchine di soddisfare effettivamente il ritmo imposto dal takt time. Per far sì che questo avvenga ogni macchina dovrebbe essere in grado di completare il proprio lavoro in un tempo sensibilmente minore del takt time.

Diverse stime stabilizzano il tempo di ciclo ottimale per ogni macchina nella cella produttiva a circa l'80% del takt time usato per il volume di produzione più elevato. Questo assicura sia che l'operatore non debba aspettare che le macchine finiscano il proprio ciclo e soprattutto provvede un margine di extra produzione per soddisfare eventuali picchi della domanda senza il bisogno di investire in nuove attrezzature o pagare un gran numero di lavoro straordinario.

Nella pratica industriale è veramente facile trovarsi in una condizione tale che un macchinario o un'intera stazione produttiva non riesca a raggiungere il tempo di ciclo stabilito. Diverse sono le soluzioni che si prestano ad attenuare questo fenomeno:

- Eliminare gli sprechi nel ciclo operativo della macchina per ridurre il tempo di ciclo. Questo può essere fatto, per esempio, riducendo la distanza percorsa e il tempo delle parti in movimento della macchina
- Dividere alcune delle operazioni della stazione che rappresenta il collo di bottiglia.
- Installare due macchine o più dello stesso tipo nel punto critico della stazione.

Poniamoci adesso nella condizione estrema di dover progettare un layout da zero di una cellula produttiva. Le vie progettuali da attuare, parlando strettamente

di macchinari, sono principalmente due: utilizzare una o poche “super macchine” complesse che eseguono molte attività con tempi relativamente lunghi, oppure si opta per una serie di macchine semplici che ne eseguono solo una o alcune delle fasi di lavorazione con tempi di ciclo brevi.

I tassi di domanda e i portafogli di prodotti possono cambiare rapidamente, anche in settori relativamente stabili. Per questo, nella maggior parte dei casi, si preferisce acquistare o costruire un numero di macchine semplici. Questo tipo di macchine forniscono alla cella una maggiore flessibilità nel rispondere alle fluttuazioni di mercato. Praticamente, però, si deve andare ad analizzare se questo vantaggio non venga annullato da aspetti prettamente tecnici, come, per esempio, un eccessivo tempo di carico della macchina semplice.

Ad esempio, se i tempi di ciclo di due macchine multifunzione in un processo sono vicini al takt time (vedi fig. 5) non c'è molto margine per gestire domanda o prodotti aggiuntivi senza acquistare un altro macchinario.

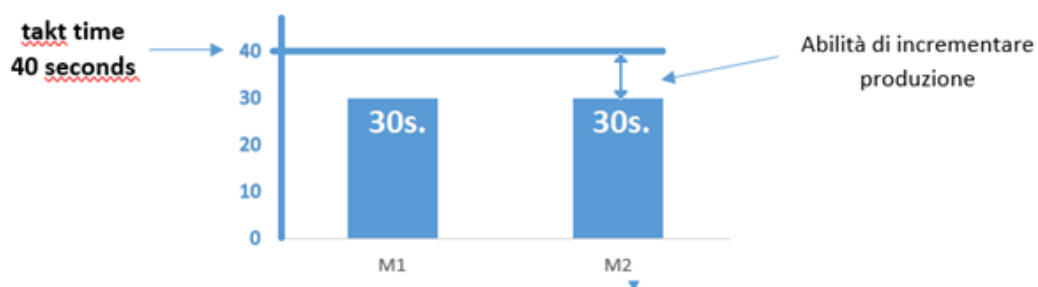


Figura 5

Gli aumenti di capacità di questo esempi devono essere effettuati da macchine aggiuntive in incrementi di 30 secondi, poiché il tempo di ciclo della macchina più lungo determina l'incremento complessivo in cui è possibile aggiungere capacità.

Se questo processo utilizza invece una serie di macchine semplici con un tempo di ciclo di 10 secondi (vedi fig. 6) la cella o la linea ha la capacità di gestire aumenti nella domanda o ulteriori richieste di prodotti senza acquistare altre attrezzature.

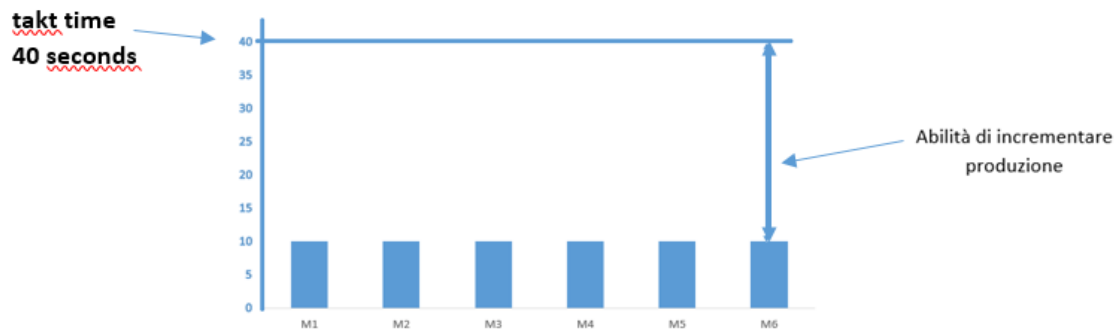


Figura 6

Un ulteriore vantaggio di questa soluzione è che gli aumenti di capacità possono essere aggiunti con incrementi di soli dieci secondi. Ulteriore pregio è la maggiore affidabilità e il minor costo di queste macchine.

Spesso, erratamente, si pensa che l'efficienza si ottiene massimizzando l'utilizzo dei macchinari. La produzione è il risultato di tre ingredienti fondamentali: le persone, le macchine e il materiale. Nel progettare un processo produttivo si andrà obbligatoriamente a cercare un compromesso tra questi elementi. Se si cerca di massimizzare l'utilizzo di un elemento, l'utilizzo degli altri due tende a diminuire.

Ad esempio, se si tenta di massimizzare l'utilizzo delle macchine, eseguendole continuamente e il più velocemente possibile avremo bisogno di un surplus del personale per far funzionare la macchina tutto il tempo. Avrai anche bisogno di materiale in-process aggiuntivo tra i processi per coprire i problemi e mantenere le macchine in funzione.

Allo stesso modo, per massimizzare l'utilizzo del materiale (dovremo avere praticamente nessun inventario) avremo bisogno di persone e attrezzature extra per gestire le fluttuazioni e le interruzioni della domanda.

È interessante notare che cercare di massimizzare l'utilizzo delle persone è unico perché gli esseri umani sono flessibili. Se l'articolo prodotto da una macchina non è ancora necessario per la fase di lavorazione successiva allora va bene che quella macchina resti inutilizzata (ciò è particolarmente valido con attrezzature semplici). Ma un operatore può spostarsi su una macchina diversa per realizzare qualcosa che è necessario in quel determinato istante. La macchina non è molto flessibile, l'operatore lo è.

Ciò significa che nelle celle e nelle linee produttive non dovremmo progettare il lavoro dell'operatore in modo tale da massimizzare semplicemente l'utilizzo delle apparecchiature, ma dovremmo farlo per agevolare e massimizzare l'utilizzo delle macchine da parte dell'operatore.

A volte può sembrare che l'attrezzatura sia sottoutilizzata, ma produrre più velocemente del takt significa sovra produrre, il peggior spreco di tutti.

### *Livelli di automazione snella*

L'automazione snella è una tecnica che viene utilizzata per applicare la giusta quantità di automazione a un determinato lavoro. Sebbene ci sia ancora un dibattito su snellezza e automazione, Patrick Waurzyniak, redattore senior di PMI, afferma che i principi di produzione snella e l'automazione possono coesistere e la combinazione di strumenti di produzione snella con la giusta automazione può aumentare produttività. (Waurzyniak, 2009)

Secondo discussioni e ricerche precedenti è sempre bene implementare il continuous flow prima di qualsiasi sviluppo dell'automazione. Un altro grosso problema nell'automazione snella è stabilire il livello di automazione. E di questo si discuterà nella sezione seguente.

I produttori devono eseguire le seguenti operazioni prima di automatizzare la produzione snella (Anna granlund, 2014):

- Migliorare la progettazione del lavoro e le pratiche di produzione esistenti;
- Rimuovere prima gli sprechi in queste aree;
- Semplificare l'intero processo di produzione;
- Applicare prima l'automazione nei progetti su piccola scala;
- Semplificare i prodotti e le materie prime per semplificare le attività da automatizzare;
- Utilizzare solo automazioni flessibili;
- Progettare sistemi automatizzati in modo che possano essere facilmente adattati ad altri prodotto o processi;
- Progettare il sistema automatizzato in modo che si corregga automaticamente;
- Tutte le apparecchiature automatizzate dovrebbero offrire una semplice ispezione visiva per l'identificazione dei problemi di produzione.

Prima di stabilire qualsiasi strategia di automazione, è importante comprendere i livelli di automazione esistenti nel settore.

Nel primo livello tutto viene eseguito manualmente. L'operatore carica la macchina e avvia la macchina, quindi l'operatore scarica i pezzi e trasferisce manualmente i pezzi alla macchina successiva e il ciclo della macchina continua.

Il secondo livello di automazione descrive una situazione in cui l'operatore carica la macchina e la macchina avvia automaticamente il ciclo e l'operatore scarica i pezzi e li sposta alla macchina successiva.

Il terzo livello è dove l'operatore carica manualmente la macchina, la macchina avvia automaticamente il ciclo e le parti vengono automaticamente scaricate dalla macchina e l'operatore trasferisce manualmente le parti alla macchina successiva.

Nel livello quattro dell'automazione le parti saranno caricate, lavorate e scaricate automaticamente e quindi trasferite manualmente alla stazione successiva. La macchina viene caricata, avviata, scaricata e trasferita automaticamente alla stazione successiva nel livello cinque.

Come si nota nella figura 7 che c'è una grande differenza tra il livello tre e il livello quattro. Questa divisione rappresenta i costi sostenuti come il costo di manutenzione, il costo della macchina e così via.



Figura 7 (www.rolandberger.com)

Risulta chiaro che l'automazione fa bene a qualsiasi azienda di produzione o di manifattura. Tuttavia, se l'automazione viene implementata senza un metodo adeguato, potrebbe addirittura arrecare danni all'organizzazione. (Zafarzadeh, n.d.)

Pertanto è importante utilizzare il metodo lean per identificare la dose necessaria di automazione nel processo corretto. Le start-up che si sono concentrate sull'automazione possono utilizzare l'automazione snella come strumento di riduzione dei costi. È sempre importante considerare e utilizzare strumenti snelli, prima di automatizzare un processo per evitare costi, sprechi e migliorare la produzione e la qualità.

Analizziamo più nel dettaglio i vari livelli.

Per permettere all'operatore di muoversi tra le macchine e aggiungere valore mentre una macchina funziona, sarà necessario almeno un livello 2 di automazione. Ciò consente alle macchine di completare automaticamente il loro ciclo una volta avviate senza la necessità di ulteriore attenzione da parte dell'operatore.

Questa progressione del lavoro consente agli operatori di gestire più processi entro il takt time (vedi fig. 8). Mentre la macchina esegue il ciclo, l'operatore passa alla fase di lavorazione successiva.

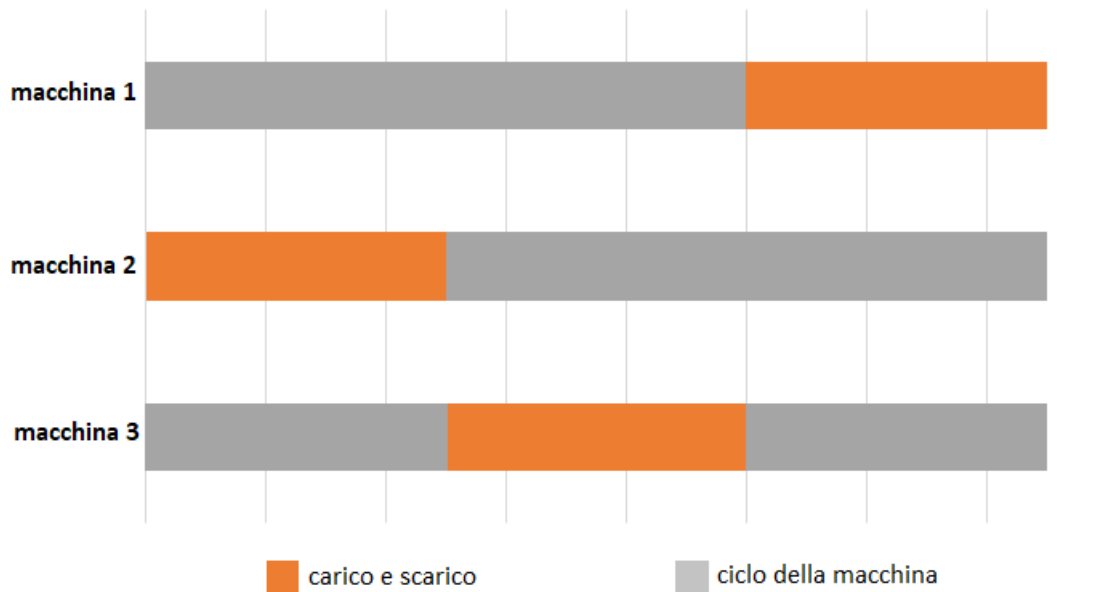


Figura 8

L'operatore non attende mai la macchina. Potremmo ragionare in questi termini: quando l'operatore attende davanti a una macchina mentre esegue il ciclo, l'operatore sta lavorando per la macchina. Quando l'operatore si sposta per eseguire elementi di lavoro successivi mentre una macchina esegue cicli, la macchina sta lavorando per l'operatore.

Si nota molto spesso che gli operatori rimangono alle macchine per monitorarli. Ancora una volta, l'operatore sta lavorando per la macchina, ovvero stiamo creando sprechi. In questi casi gli ingegneri devono sviluppare sensori in grado di rilevare i problemi, avvisare qualcuno e, se necessario, anche arrestare automaticamente la macchina. Quindi, gli operatori vengono richiesti alla macchina solo quando il loro intervento è veramente necessario. Il costo di semplici sensori per rilevare i problemi è quasi sempre molto inferiore al costo di mantenere un operatore su una macchina. E comunque l'ispezione umana non è mai efficace al 100%.



L'automazione di livello 2 funziona bene quando le parti possono essere scaricate e caricate con una mano. Tuttavia, c'è un problema quando le parti in lavorazione richiedono entrambe le mani per scaricare e caricare.

Sembrerebbe più efficiente usare due operatori e quindi rimuovere semplicemente una parte finita, appenderla su un rack per l'operatore successivo, quindi prendere e caricare una nuova parte. In effetti, le parti sono ancora a doppia movimentazione ma gli sprechi sono oscurati perché distribuiti su due operatori. Si può anche pensare che mantenere gli operatori sulle macchine, e quindi ricaricare le macchine immediatamente dopo la fine del ciclo, comporti un elevato utilizzo della macchina e una sensazione di efficienza. Ma ovviamente, questo ignora completamente il tempo necessario, causa sprechi e interrompe il flusso.

La doppia manipolazione è un campanello che ci avverte che molti di quei processi di pacemaker (processi a ritmo imposto) richiedono l'automazione di livello 3 per ottenere un flusso continuo efficiente. Il livello 3 di automazione significa che il pezzo finito viene automaticamente espulso dalla macchina alla fine del ciclo. Di conseguenza, la macchina presenta un "nido vuoto" ogni volta che l'operatore ritorna con una nuova parte. È possibile caricare una nuova parte senza dover maneggiare entrambe le parti.

Poiché generalmente non è richiesta una grande precisione per espellere una parte, l'automazione di livello 3 è generalmente piuttosto economica. Un pezzo può spesso essere espulso utilizzando l'energia dai movimenti ciclici finali della macchina, ad esempio tramite un braccio di espulsione del pezzo (o "kicker") collegato a un pistone in movimento.

Un punto interessante nella tabella dei livelli di automazione, come già citato in precedenza, è che quando si va oltre l'automazione di livello 3 per l'automazione di livello 4 o 5, i costi di capitale e la complessità tecnica aumentano notevolmente. Caricare correttamente le parti è facile per gli operatori, ma può richiedere tecnologie non indifferenti per l'automazione. Allo stesso modo, il trasferimento automatico delle parti potrebbe richiedere robot o linee di trasferimento. Sulla carta può sembrare interessante, ma la complessità spesso

riduce l'affidabilità del processo al di sotto del 70%. Inoltre, cosa si può fare con una linea costosa e altamente automatizzata quando la domanda dei clienti cambia?

Quando la domanda diminuisce, il sistema, ad alto ammortamento, è sottoutilizzato. Se invece la domanda supera la capacità, è necessario acquistare un'altra costosa linea automatizzata.

Salvo alcuni casi in cui sono strettamente necessari sistemi di automazioni di 4 o 5 livello, in genere il livello 3 permette di raggiungere molti dei benefici della totale automazione ma senza le grandi spese, la manutenzione richiesta e l'inflessibilità nel rispondere alla domanda tipiche dei livelli di automazione 4 o 5.

# LA GESTIONE DEL PERSONALE

---

Fino ad ora abbiamo parlato di macchine e automazione. Andiamo ad analizzare, adesso, come organizzare il lavoro degli operatori. In primis, stabiliremo quanti operatori sono necessari nel nostro layout.

Il numero appropriato di operatori non è il risultato di equazioni o di negoziazioni tra i differenti membri del team, bensì si determina in maniera empirica con il susseguirsi di prove. Una prima indicazione su qui lavorare è data da questo semplice calcolo:

$$\text{numero di operatori} = \frac{\text{tempo tot. del lavoro (dopo kaizen)}}{\text{takt time}}$$

È chiaro che difficilmente che otterremo un numero intero da questa equazione. La tabella seguente (tab. 1) fornisce una linea guida per valutare il calcolo iniziale del "numero di operatori".

<b>Resto (.X) nel calcolo degli operatori</b>	<b>Linee guida</b>
<b>&lt; .3</b>	Non aggiungere un operatore extra. Cercare di ridurre ulteriormente gli sprechi.
<b>.3 - .5</b>	Non aggiungere un operatore extra. Dopo due settimane di operatività e di kaizen della cella, valutare se è possibile eliminare ulteriori sprechi
<b>&gt; .5</b>	Aggiungere un operatore extra se necessario e continuare a ridurre sprechi per eliminare eventualmente il bisogno di un operatore nella cella.

Tabella 1

Questa tabella presuppone che il carico dell'operatore sarà compreso tra il 90 e il 95%. Cioè, dal 90 al 95% di ogni intervallo takt sarà riempito con il lavoro e gli operatori non dovranno guardare le macchine o aspettare i pezzi.

Come è possibile produrre con un numero inferiore di operatori? Impegnando tutta la squadra di responsabili, ingegneri e addetti alla produzione per un processo di risoluzione dei problemi e debug di 2-4 settimane presso la cella.

Quando si gestisce la cella con un numero inferiore di operatori, difficilmente saremo in grado di raggiungere il target richiesto per la produzione. Questo è un momento critico della progettazione del layout perché aggiungendo un operatore extra la pressione per eliminare gli sprechi è probabile che scompaia.

Invece, è consigliabile operare nella cella di produzione con un numero di operatori inferiore, anche se saremmo costretti a produrre per un tempo extra alla fine del turno o nel fine settimana per ottenere l'obiettivo di output necessario mentre continuerà il processo di kaizen.

In diverse esperienze di progettazione di layout è risultato che, un team disposto a impegnarsi in un kaizen intenso alla ricerca di un numero target di operatori basato sulle linee guida citate in precedenza può solitamente raggiungere l'80% della produzione richiesta entro una settimana dall'avvio e il 90% entro due settimane. (Harris, 2001) Il 10% restante è la parte difficile da raggiungere e richiederà che tutti gli elementi di produzione e supporto si uniscano. Tuttavia, raggiungendo questo obiettivo avremmo creato un'operazione che può essere eseguita per mesi a basso costo con vero flusso continuo.

## Opzioni di caricamento dell'operatore

Quando siamo nel range superiore ( $> .5$ ) siamo costretti a interfacciarci con una ridistribuzione del lavoro totale non completa tra gli operatori. Ci sono principalmente due soluzioni.

L'approccio tradizionale è definito "bilanciamento della linea". Il contenuto del lavoro è diviso ugualmente tra gli operatori. Questa soluzione integra nel

processo gli sprechi di attesa distribuendoli tra tutti gli operatori. Il tempo di ciclo di ogni operatore è effettivamente bilanciato, ma ogni operatore è solo parzialmente caricato. Questa pratica non solo rende più difficile eliminare gli sprechi, ma così facendo si creano anche i presupposti per un eventuale sovrapproduzione. Per la filosofia lean, questo rappresenta un problema tanto quanto non soddisfare la domanda.

Gli operatori di una cella bilanciata in modo tradizionale, dopo alcuni giorni di funzionamento, di solito iniziano a lavorare come se fossero reparti a sé stanti. Infatti, tra gli operatori cominciano ad accumularsi piccoli lotti di inventario e il flusso continuo cercato si sfalda. Un modo per poter risolvere questo problema potrebbe essere quella di adottare la tecnica del kanban tra ogni operatore.

## Cos'è il kanban?

Il kanban è uno strumento della Lean Production che rende possibile il Pull Flow dei materiali.

Kan significa “visuale”, Ban sta ad indicare “segnale”. Il kanban si basa infatti su dei cartellini fisici che acconsentono la produzione, l'acquisto o la movimentazione dei materiali.

L'obiettivo del kanban è di evitare la sovrapproduzione che, come ribadito più volte, è lo spreco più impattante sulle performance di un sistema produttivo.

Il kanban è un metodo operativo per far circolare le informazioni in modo sistematizzato all'interno dell'azienda ed eventualmente tra azienda e fornitori eliminando la necessità di sistemi complessi di programmazione della produzione. Esso si configura come un cartellino quadrato che contiene le informazioni necessarie per produrre, acquistare o movimentare componenti e materiali nel sistema produttivo. Di conseguenza il kanban rappresenta il motore dell'attività dell'azienda, gestendo in modo automatico la quotidianità degli ordini di lavoro, consentendo ai responsabili di occuparsi di risolvere le criticità e di sviluppare i miglioramenti del sistema. (kanban.it, 2020)

I kanban si possono distinguere in due grandi tipologie:

- I kanban di movimentazione o di trasporto che servono per spostare componenti e materiali verso un processo produttivo
- I kanban di produzione che rappresentano veri e propri ordini di produzione mediante i quali si autorizza il processo a monte a produrre un certo componente per un processo a valle.

Le informazioni che generalmente si possono trovare su un cartellino kanban sono:

- Il codice del componente interessato
- Il fornitore di quel componente
- Il cliente che lo richiede
- Il tempo a disposizione per il ripristino
- La quantità da ripristinare
- Il contenitore da utilizzare
- Altre informazioni personalizzate

I cartellini kanban vengono posizionati su un contenitore che contiene una quantità prefissata di un componente. Solo dopo che questo materiale viene consumato il cartellino viene passato al fornitore che può ripristinare i componenti consumati. Il flusso dei materiali in una produzione a kanban è perciò definito “tirato” in quanto la produzione di un componente è autorizzata solo da un effettivo consumo.

I flussi produttivi tirati non necessitano di risorse dedicate alla programmazione della produzione e hanno il vantaggio di eliminare l'Effetto Forrester.

L'effetto Forrester o effetto bullwhip è una delle cause principali della variabilità della domanda all'interno della supply chain.

Spesso la variabilità della domanda aumenta muovendosi a ritroso nella supply chain per colpa del cosiddetto effetto Forrester (o effetto bullwhip, effetto frusta)

per cui ogni attore della catena di fornitura tende a mantenere un livello di scorte superiore al necessario con la diretta conseguenza di fare, al proprio fornitore, ordini sempre più rari e cospicui. In altre parole una domanda di prodotti quasi costante da parte dei consumatori finali “arriva” al produttore con una distribuzione caratterizzata da periodi domanda molto limitata e picchi di richieste in periodi “di punta” con enormi costi inutili (cioè sprechi) legati alle difficoltà del livellamento della produzione e all’organizzazione delle operazioni e dei compiti logistici. (www.leansolutions.it, 2020)

Ritornando alla distribuzione del lavoro, potremmo progettare i contenitori kanban in modo tale da contenere solo un pezzo di lavoro e gli operatori non vengono autorizzati a fare un altro pezzo fino a quando il contenitore kanban a valle non viene svuotato dall'operatore a valle successivo.

Questa tecnica ci consente di ristabilire un flusso di materiale continuo, ma al costo di incorporare permanentemente lo spreco del tempo di attesa nel processo.

Una soluzione migliore è ridistribuire il lavoro in modo tale da riempire ogni operatore tranne uno (vedi figura 9). Questa rappresenta una soluzione lean perché concentrando su unico operatore la maggior parte dei tempi di attesa, l’opportunità di operare del kaizen viene messa in evidenza. Infatti, una volta che la cella è in grado di operare con un addetto alla produzione in meno, l’azienda realizza un risparmio notevole sui costi.

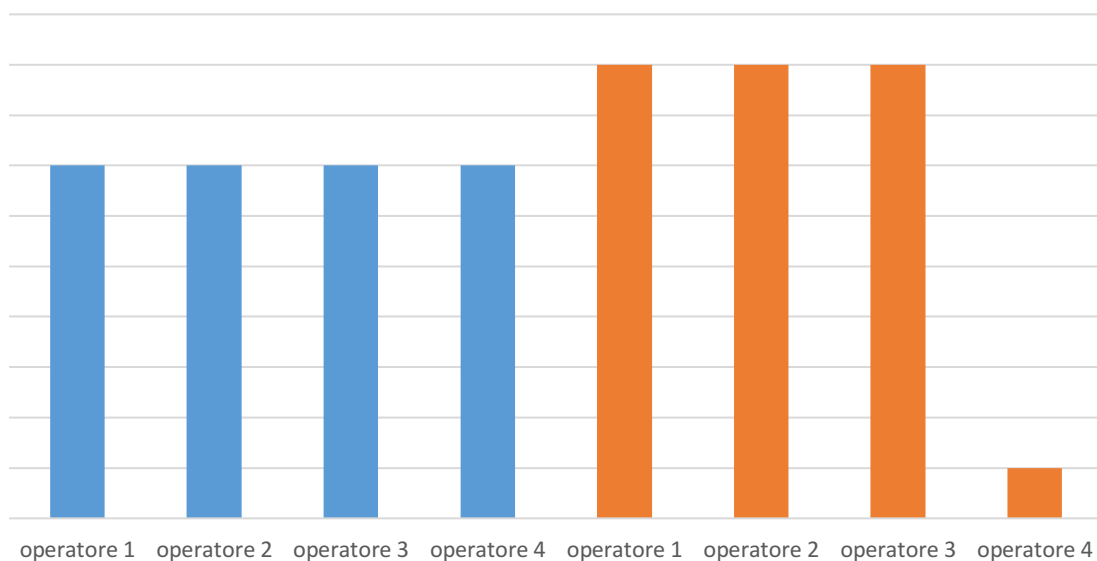


Figura 9

# IL BILANCIAMENTO DELLA LINEA

---

Stabilito il numero di operatori, e quindi anche il carico di lavoro assegnato, a questo punto è necessario andare a stabilire quali operazioni assegnare a ciascun operatore.

L'allocazione degli elementi di lavoro in una cella può essere eseguita in molti modi. Questi sono alcuni di questi approcci:

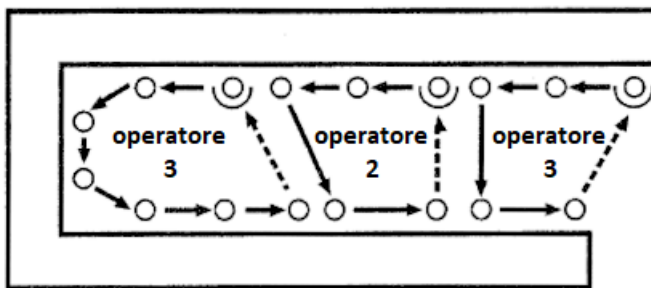


Figura 10

1. **Dividere il lavoro** tra gli operatori in modo che ognuno esegua un tempo utile del contenuto totale del lavoro, spesso spostandosi tra più macchine.

Una disposizione ad U della linea di produzione, sicuramente facilita questa disposizione in quanto gli operatori possono facilmente passare da un lato all'altro della cella durante il ciclo di lavoro.

Ciò significa che è possibile dividere il lavoro tra gli operatori in più di una sequenza che può essere diversa dalla sequenza di lavorazione del prodotto. La capacità di creare combinazioni di lavoro in tutta la cella è particolarmente utile per trovare nuove combinazioni di singole operazioni di lavoro al fine di adeguarsi al takt time in seguito ad un kaizen o a causa di una variazione della domanda del cliente.

Nella suddivisione del lavoro è una buona idea assegnare allo stesso operatore il primo e l'ultimo elemento di lavoro nel flusso di materiale perché questo crea un effetto di stimolazione automatico per l'intera cella.



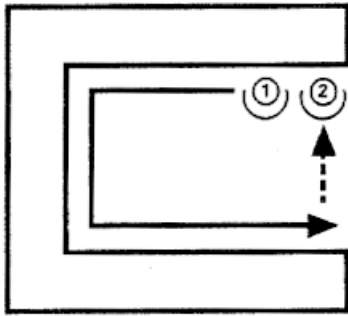


Figura 11

**2. Il circuito**, dove ciascun operatore svolge tutte le singole lavorazioni per completare un circuito della cella nella direzione del flusso del materiale. Un secondo operatore segue alcuni stazioni dietro. Può essere progettato anche in modo che l'operatore lavori nella direzione opposta del flusso del materiale.

Assegnare tutte le singole operazioni a ciascun operatore ed avere l'operatore seguente a pochi stazioni dopo comporta alcuni vantaggi. In primis garantisce un effetto stimolante intrinseco nel layout, oltre che ad una facile implementazione. Inoltre può ridurre le distanze a piedi poiché gli operatori hanno un breve percorso di ritorno per iniziare il ciclo successivo al termine del circuito. Infine, ruota automaticamente i lavori e rende il lavoro più interessante per l'operatore che non è costretto a ripetere all'infinito la singola operazione.

Comporta però una serie di problematiche:

- È limitato di solito ad un numero massimo di due operatori perché sarebbe difficile coordinare il lavoro per un numero maggiore.
- Il circuito non funzionerà, generalmente, se più del 40% delle operazioni totali vengono fatte ad una singola stazione di lavoro visto che la postazione in questione rappresenterebbe una sorta di collo di bottiglia. Se è possibile sostituire una macchina complessa e ad alto tempo di ciclo con macchine semplici, a caricamento rapido, si potrebbe rendere fattibile la distribuzione secondo un circuito.
- Richiede operatori altamente qualificati, in quanto ogni operatore deve essere qualificato per eseguire ciascuna operazione.

Come già detto è possibile invertire la direzione dell'operatore in un circuito. Questa rappresenta un'ottima scelta quando le macchine non sono attrezzate con l'espulsione automatica.

La soluzione a lungo termine è modificare le macchine con espulsione automatica dei pezzi, ma ciò può richiedere tempo e potrebbe anche essere necessario attendere fino al lancio di un nuovo prodotto. Poiché vogliamo mantenere un orientamento all'azione e introdurre subito il flusso continuo, il flusso inverso può essere un buon passo intermedio.

Oltre a queste due soluzioni potremmo crearne una terza, combinando le prime due.

**3. Combinazione** delle precedenti due soluzioni. In molte celle una combinazione di divisione del lavoro e un circuito o flusso inverso avrà più senso. Ad esempio, alcuni operatori lavoreranno in stazioni specifiche o combinazioni di stazioni, mentre una o più coppie di operatori lavorano in circuiti o flussi inversi in altre parti della cella. Utilizzando questa strategia si possono ottenere molti dei vantaggi dei circuiti nelle celle che richiedono più di due operatori. Inoltre, quando una coppia di operatori svolge sia l'operazione iniziale che gli elementi di lavoro finali nei loro circuiti, fornisce un eccellente meccanismo di stimolazione per l'intera cella.

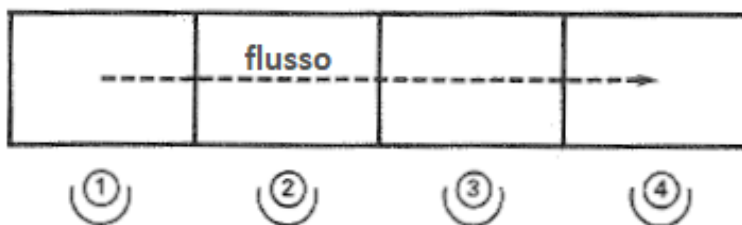


Figura 12

**4. Un operatore per stazione,** dove ogni postazione di lavoro è occupata da un singolo operatore.

Alcuni processi comportano solo il lavoro manuale senza apparecchiature automatizzate. In questa situazione il numero di postazioni di lavoro può essere uguale al numero di operatori, oppure può esserci un operatore su ogni lato di una stazione di lavoro. Ogni operatore esegue tutte le operazioni elementari sulla singola stazione di lavoro e poi passa il lavoro alla stazione successiva.

L'assegnazione degli elementi di lavoro è facile, ma può essere più difficile bilanciare in modo uniforme il lavoro e caricare completamente gli operatori a causa della limitata capacità di ideare combinazioni di lavoro flessibili.

Un convogliatore in movimento per trasferire il pezzo è spesso una buona idea per mantenere un flusso continuo con questo tipo di distribuzione del lavoro, perché senza di esso può esserci una tendenza alla regressione al dosaggio.

**5. Il ratchet.** In questa disposizione il numero di postazioni di lavoro è maggiore di uno rispetto al numero di operatori. Ogni operatore lavora su due postazioni di lavoro e si sposta avanti e indietro tra le postazioni ad ogni incremento di takt. Ad eccezione delle postazioni iniziali e finali, due operatori lavoreranno in ciascuna stazione, uno dopo l'altro. Quando gli operatori si spostano verso la stazione di lavoro a valle, trasportano il pezzo da lavorare. Lo spostamento a monte è fatto a mani vuote. In questo modo il lavoro va avanti con ogni ciclo degli operatori.

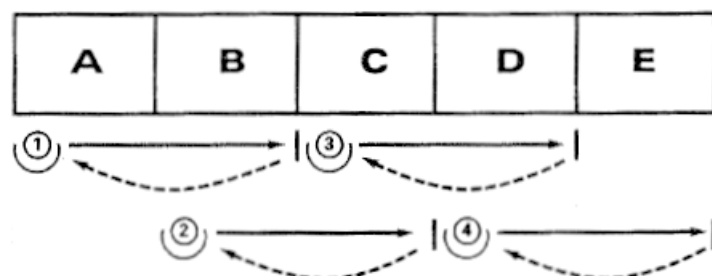


Figura 13

Le operazioni di lavoro per ogni operatore deve essere suddiviso tra le due postazioni di lavoro in modo tale che ogni operatore divida il takt time nello stesso rapporto tra le due postazioni.

Poiché tutti gli operatori si muovono contemporaneamente, il Ratchet fornisce un potente meccanismo di stimolazione ed è eccellente per il kaizen quotidiano perché gli squilibri di linea sono immediatamente visibili. Tuttavia, un layout siffatto, è pratico solo quando gli elementi di lavoro possono essere suddivisi uniformemente in tempo utile in ogni stazione di lavoro. Ciò implica generalmente per lo più macchine load-and-start, tempi di ciclo macchina brevi e macchine leggere che possono essere spostate facilmente per uniformare gli elementi di lavoro. Un buon settore su cui applicare questo modello è la cucitura di articoli complessi nell'industria dell'abbigliamento.

# GESTIONE DELLE PRODUZIONE

---

Ora bisogna progettare un flusso di informazioni adeguato alle richieste del cliente. Si può far questo attraverso la tecnica del Heuijunka.

Come sostiene Ohno, infatti, per una efficace implementazione del sistema pull è necessario che il processo precedente produca solo la quantità di merce prelevata dal processo successivo: perché questo sia possibile, le linee produttive dovranno cercare di "abbassare i picchi produttivi e avvicinarsi il più possibile alle valli, cosicché il flusso divenga scorrevole". (Ohno, 1978)

Non è realistico aspettarsi che la domanda dei clienti sia completamente regolare. Tuttavia, se proviamo a regolare l'uscita della cella per rispondere di ora in ora a ogni contrazione richiesta, sarà molto difficile sostenere qualsiasi tipo di flusso. I costi aumenteranno e la qualità diminuirà. Allo stesso modo, non è realistico aspettarsi che il mix di tipi di prodotto richiesto sia costante. Tuttavia, se proviamo a passare da un tipo di prodotto a un altro, mentre ogni articolo passa attraverso la cella, potremmo incontrare problemi di movimentazione e produttività.

L'alternativa di produrre grandi lotti di un tipo di prodotto tra i cambi riduce questi problemi, ma al prezzo di rallentare la risposta alle esigenze del cliente per diversi tipologie di prodotto e inviando a monte grandi ondate di ordini di componenti. Ciò richiederà lo stoccaggio di scorte di prodotti finiti a valle della cella - nella speranza di avere a portata di mano ciò che il cliente desidera - e delle parti e componenti necessarie a monte della cella. Entrambi questi inventari aumentano il tempo di consegna attraverso il flusso di valore.

Per ottenere e mantenere un flusso continuo e un flusso di valore lean, dobbiamo programmare e far funzionare una cella con la minore fluttuazione di volume possibile. Chiamiamo questa ottimizzazione "livellamento del volume" del lavoro. Allo stesso modo, dobbiamo decidere le dimensioni del lotto più appropriate da eseguire prima di passare a un altro tipo di prodotto. Lo

chiamiamo "livellamento del mix di prodotti". Sia il livellamento del volume che il livellamento del mix devono far parte del processo di progettazione della cella.

Nel realizzare il livellamento, il primo passo prevede di individuare il cosiddetto "processo pacemaker", che è quello su cui si basa tutta la pianificazione e che tira tutti i processi a monte, stabilendo il takt time; di solito si trova a valle del flusso, il più vicino possibile al cliente finale. Su questo processo, quindi, si dovranno livellare il volume produttivo e il mix produttivo, in quanto lo scopo ultimo è quello di riuscire a produrre ogni giorno la stessa quantità e lo stesso mix di prodotti.

## Livellamento del volume

Se la pianificazione del cliente per un prodotto varia notevolmente per periodi prolungati, sarà necessaria una capacità (persone, macchine, materiale) ben al di sopra della media della domanda di lungo periodo per soddisfare sempre le esigenze del cliente. Ma, per i picchi e i cali più tipici della domanda, quando la domanda media a lungo termine è abbastanza stabile, creare un supermarket con merci finite tra il processo di produzione e il cliente, può consentire di livellare i requisiti di produzione nella cella pur soddisfacendo le richieste del cliente. Il costo del supermarket - collegato alla cella da segnali pull - è spesso molto inferiore al mantenimento di capacità extra.

Le richieste del cliente non sono l'unica causa di fluttuazione della domanda. Nella maggior parte dei processi le variazioni interne delle prestazioni creano anche ondate di variazione della domanda. Ad esempio, a volte può verificarsi che il processo di produzione può incorrere in problemi delle macchine, difetti di qualità o materiali mancanti che ne fanno variare la produzione e i requisiti di materiale. In questi casi ci sono due strade principali: rispondere molto rapidamente a questi problemi o aggiungere maggior inventario di prodotti finiti a valle e di materie prime a monte della cella.

La risposta rapida ai problemi è la scelta migliore. Per rispondere rapidamente è necessario prendere coscienza dei problemi non appena si verificano. La velocità della consapevolezza è correlata alla quantità di produzione rilasciata contemporaneamente al ritmo di produzione. Ad esempio, se il controllo della produzione è basato su una pianificazione giornaliera, i responsabili della produzione tenderanno a scoprire un eventuale problema solo verso la fine della giornata. A quel punto potrebbe essere difficile recuperare il ritardo e ovviare al problema in tempo utile.

Quindi è molto utile avere un "lasso di tempo di gestione" molto più piccolo. Riducendo i tempi di gestione e rispondendo rapidamente ai problemi, dovrebbe diventare possibile nel tempo produrre un volume coerente senza la necessità di tenere un inventario di prodotti finiti extra "per ogni evenienza".

Se è in atto un meccanismo di risposta rapida ai problemi, dovrebbe essere possibile correggere i problemi e riportare la produzione in carreggiata senza la necessità di grandi quantità di straordinari. I manager possono davvero gestire la loro cella passo per passo se:

- 1) Conoscono l'obiettivo di produzione (pezzi/unità di tempo).
- 2) Controllano regolarmente i progressi per individuare anomalie (ogni tot unità di tempo).
- 3) Rispondono rapidamente alle anomalie.

Molte strutture sono comunque soggette solo a piccole fluttuazioni quotidiane della domanda. Considerare una media delle spedizioni in un periodo relativamente lungo, come ad esempio un anno, mostrerà che molto spesso la domanda è stabile. Per gestire al meglio fluttuazioni della domanda giornaliera è molto utile, come già accennato in precedenza, avere un supermercato di prodotti finiti.

Come rispondere, però, a cambiamenti della domanda nel lungo periodo? Se il volume diminuisce e si mantiene lo stesso numero di operatori, la produttività diminuirà e aumenterà il potenziale di sovrapproduzione. Se il volume aumenta,

il takt time per la cella diminuirà. Dovremmo aggiungere persone e forse implementare nuove macchine per continuare a produrre al takt.

La necessità periodica di aumentare o ridurre il numero di operatori è uno dei motivi principali per l'utilizzo di un layout a celle e la loro disposizione a forma di U stretta. La grande varietà di modelli di deambulazione offerti dall'U crea molte opzioni per ridistribuire gli elementi di lavoro su un diverso numero di operatori.

Durante la progettazione di una cella, gli ingegneri dovrebbero preparare diversi scenari per rispondere ai cambiamenti nei requisiti di volume. Lo fanno disegnando layout diversi per l'attuale numero di operatori e per le distribuzioni di lavoro con un operatore in meno e uno in più. Chiamiamo queste diverse posizioni "alternanze" perché sono come le diverse posizioni di un interruttore a levetta. È possibile modificare l'output di una cella "spostando" il numero di operatori verso l'alto o verso il basso in risposta al cambiamento della domanda dei clienti.

## Livellamento del mix

Nel livellare il mix, invece, bisogna considerare la varietà di prodotti finali, per cercare di bilanciare l'utilizzo del personale e degli impianti; anche in questo caso, la soluzione è quella di produrre lotti di piccole dimensioni, seguendo una pianificazione mixed-model che permette di ottenere linee in cui vengono assemblati prodotti diversi, alternandosi lungo la linea. 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:

Sulle righe, per ogni prodotto, si inseriscono i cartellini kanban sui quali sono indicate le quantità da produrre; i kanban poi vengono tolti all'ora indicata, per consentire la produzione delle parti. Il livellamento del volume viene ottenuto grazie alle colonne verticali, mentre il livellamento del mix attraverso le righe.

Un parametro chiave nella costruzione dell'heijunka box è quello del pitch time,

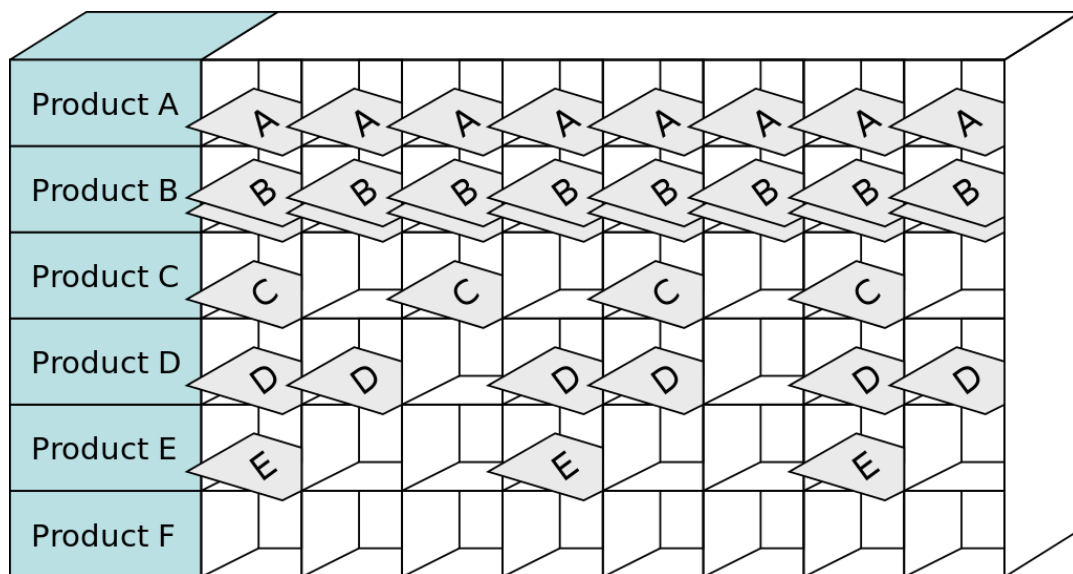


Figura 14

ovvero il takt time riferito all'unità minima di confezionamento, fondamentale per calcolare gli intervalli temporali di ogni colonna; conoscendo la quantità definita su un cartellino kanban e il takt time, dal prodotto di questi due fattori è possibile ottenere il pitch time.

L'heijunka box, inoltre, funge anche da sistema per il controllo visivo, perché indica i ritardi di produzione: infatti, quando il capo reparto va a controllare la situazione ad una certa ora, se le caselle precedenti a quell'ora non sono tutte vuote significa che si è verificato un problema che ha ritardato la produzione. Questo dovrebbe essere il segnale che spinge a ricercare e risolvere la causa del ritardo ed eventualmente ad avviare degli straordinari per recuperare la produzione.



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 nella figura 14, 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).

Questo consente di ottenere una migliore gestione del personale, una migliore risposta al cliente, una standardizzazione delle attività, un utilizzo uniforme degli impianti e un consumo frequente e ripetitivo dei componenti, permettendo di introdurre strumenti come il kanban.

# CONCLUSIONI

---

In questo elaborato, naturalmente, non è stato possibile illustrare tutti i metodi, le tecniche e gli strumenti della *lean production*, ma si è cercato di porre in evidenza gli aspetti principali e utili a spiegare il funzionamento dei processi.

Pertanto, sono stati approfonditi i principi della filosofia lean e i concetti di base che la compongono al fine di valutare in che modo sia possibile applicarli alla logistica e alla produzione di un'azienda. È stato ribadito quanto importante sia lavorare e investire non solo in macchinari e nell'impianto produttivo in sé, ma altrettanti sforzi andranno fatti in ottica di istruzione e formazione del personale, volti a conferire all'azienda un background culturale in linea con il lean thinking. Ciò nonostante è emerso che i miglioramenti più redditizi vengono rappresentati da quelli che hanno come obiettivo ridurre le inefficienze e le interruzioni dell'impianto.

Un particolare approfondimento è stato fatto riguardo alla parte logistica dell'impianto e alle diverse configurazioni di layout.

# BIBLIOGRAFIA

---

www.rolandberger.com. Tratto il giorno 11/08/2020 da  
www.rolandberger.com<https://www.rolandberger.com/sv/Point-of-View/Autonomous-production-New-opportunities-through-Artificial-Intelligence.html>

Anna granlund, M. W. (2014). *Applying Lean principles to the automation development process*. Palermo.

Harris, M. R. (2001). *Creating Continuous Flow*. Rick Harris.

Hirano. (1990). *JIT Implementation Manual*. CRC Press.

[www.kanban.it](http://www.kanban.it). Tratto il giorno 10/08/2020 da <https://www.kanban.it/it/>

Ohno, T. (1978). *Lo spirito Toyota*. Torino: Einauid Editore.

Waurzyniak, P. (2009). *Lean Automation*. Tratto il giorno 25/08/2020 da  
<http://www.sme.org>

[www.leansolutions.it](http://www.leansolutions.it). (2020, 10 10). *effetto-forrester-o-effetto-bullwhip*. Tratto  
il giorno 10/08/2020 da [www.leansolutions.it](http://www.leansolutions.it)

Zafarzadeh, M. (n.d.). *A Guideline for Efficient Implementation of Automation in Lean Manufacturing Environment*. s.l.: s.n.