

Sommario

La seguente tesi si pone come obiettivo quello di andare ad analizzare alcune peculiarità della lean production, una tematica molto attuale negli ultimi anni in diversi contesti aziendali. In particolar modo verrà discusso uno tra i vari cardini di tale argomento: la metodologia Single Minute Exchange of Dies per la riduzione dei tempi di setup all'interno dei reparti. Dopo aver analizzato attentamente tale metodo in tutti i suoi obiettivi, fasi, vantaggi e svantaggi, ne verrà presentato un caso studio preso dalla letteratura. Tale caso riguarderà l'applicazione delle tecniche dello SMED supportate da strumenti informatici ed innovativi e ne verranno infine indicati i principali benefici apportati in termini di tempi e di costi all'impianto produttivo.

Indice

Introduzione	4
1.1 Definizione e tecniche principali	6
1.1.1. Value Stream Mapping (VSM)	7
1.1.2. Le 5S	8
1.1.3. Total Productive Maintenance (TPM)	9
1.1.4. Quality Function Deployment (QFD)	10
1.1.5. Kanban	11
1.1.6. Il metodo Single Minute Exchange of Dies	13
2. La metodologia S.M.E.D	14
2.1 Gli 8 pilastri dello S.M.E.D.	18
2.1.1. Separazione dell' IED e OED	19
2.1.2. Inversione dell'IED con l'OED	19
2.1.3. Standardizzazione funzionale	20
2.1.4. Adozione dei morsetti funzionali	20
2.1.5. Utilizzo di dime di montaggio	21
2.1.6. Operazioni in parallelo	21
2.1.7. Eliminazione degli aggiustamenti	21
2.1.8. Adozione della meccanizzazione	22
2.2 Tipi di perdite negli impianti	23
2.3 Un indicatore globale di efficienza: l'OEE	24
2.4 Approccio tradizionale e approccio S.M.E.D.	27
2.5 Fasi concettuali per l'applicazione	28
2.5.1. Fase preliminare: organizzare, osservare, registrare	29

2.5.2. Fase 1: operazioni interne ed esterne	31
2.5.3. Fase 2: Conversione da attrezzamento interno ad attrezzamento esterno	33
2.5.4. Fase 3: Semplificazione delle operazioni di setup	35
2.5.5. Fase 4: documentazione del nuovo processo	42
2.6 Aspetti critici	42
3. Analisi del caso studio: riduzione dei tempi di setup nell'assemblaggio elettronico- combinazione dello S.M.E.D e altri metodi sofisticati	44
3.1 Obiettivo dello studio.....	44
3.2 Descrizione delle operazioni di setup e produzione	44
3.2.1. Panoramica di processo	45
3.2.2. Panoramica dei setup	45
3.2.3. Setup offline	46
3.2.4. Setup online	48
3.3 Applicazione dello S.M.E.D. al setup di assemblaggio PCB	50
3.3.1. Hot swapping	52
3.3.2. Sistema di gestione alimentatori (feeder management system).....	52
3.3.3. Architettura del sistema.....	53
3.4 Risultati	54
3.4.1. Miglioramenti statistici dei tempi nei setup della macchina di collocamento	55
3.4.2. Miglioramento economico per i setup più veloci	55
3.4.3. Risparmio di lavoro	57
3.4.4. Costi di sviluppo	58
3.4.5. Problemi di implementazione	58
3.5 Conclusioni	59
4. Conclusioni	61

Introduzione

Lo scopo di questo lavoro è quello di analizzare la metodologia S.M.E.D. (Single Minute Exchange of Dies) all'interno della lean production. Verrà quindi fornita, nel primo capitolo della tesi, una panoramica di alcune tra le tecniche principali che fanno parte della produzione snella tra cui la Value Stream Mapping (VSM), le 5S, la Total Productive Maintenance (TPM), la Quality Function Deployment (QFD), il Kanban e infine lo SMED.

Nel secondo capitolo verranno delineati con precisione gli obiettivi di tale metodo teorizzati dal consulente aziendale giapponese Shigeo Shingo intorno agli anni 70-80 che vogliono portare, tramite tecniche semplici e intuitive, alla riduzione dei tempi di setup macchina, tramite processi iterativi e che coinvolgono personalmente gran parte degli operatori dell'azienda. Si tratta di processi di miglioramento che richiedono molto tempo per l'attuazione, in particolare per quanto riguarda la raccolta e l'analisi dei dati statistici aziendali. Vi possono essere, talvolta, operatori che si mettono con il cronometro a misurare i processi di setup time e di run time prima e dopo di ogni modifica al processo e che poi realizzano delle tabelle con indicati i miglioramenti o i peggioramenti apportati di volta in volta. Tali procedimenti possono andare avanti da qualche mese fino a qualche anno, è necessario pertanto, ricordare costantemente a tutti coloro che sono interessati al progetto, quali sono gli scopi da perseguire, è necessaria una costante motivazione e un forte spirito di lavoro in team. La spinta motivazionale deve essere presente, oltre per il fatto che i tempi del progetto siano piuttosto lunghi, anche perché i risultati in termini economici spesso tendono a non essere perfettamente visibili e quantificabili precisamente. Sovente, può sembrare che tutti quegli sforzi non conducano a nulla di concreto e capita che il progetto venga abbandonato anzitempo.

La sigla SMED, così come è stata teorizzata, vuole ricondurre all'idea di poter riuscire a ridurre i tempi di fermo macchina, in un tempo inferiore ai dieci minuti (un singol digit per la precisione). Gli ulteriori sviluppi di questo metodo hanno portato l'ingegner Shingo a introdurre una tecnica con scopi ancora più ambiziosi e innovativi: l'OTED (One Touch Exchange of Dies), ossia ridurre i setup macchina ad un tempo inferiore ai 100 secondi. Queste due tecniche insieme ad altri principi cardine della lean production sono stati teorizzati grazie al lavoro svolto da Shingo all'interno degli stabilimenti giapponesi Toyota. Per spiegare la tecnica SMED si può prendere come esempio chiarificatore, la differenza tra il cambio delle gomme, il rifornimento di benzina e la sostituzione di alcuni pezzi di un'automobile normale a confronto con una di formula 1. I tempi di fermo di quest'ultime sono,

di solito, intorno ai dieci secondi. Tempi così rapidi sono evidentemente dovuti ad un lavoro, a monte, di analisi dei dati in primo luogo, allenamento per il lavoro in team, organizzazione degli strumenti utilizzati, il tutto migliorato da una serie di miglioramenti iterativi che portano ad avere tempi sempre più ridotti.

Nel terzo capitolo di questa tesi viene infine analizzato un caso studio, preso dalla letteratura, di un'azienda americana che realizza PCB (circuiti stampati). Il capitolo inizia con una panoramica generale dell'azienda, vengono descritti i processi produttivi e i setup come avvenivano prima delle modifiche. Vengono poi raggruppati i setup in interni ed esterni, ossia setup che avvengono con la macchina ferma (offline) e setup che avvengono con la macchina in movimento (online), che è la prima fase teorizzata da Shingo per l'applicazione dello SMED. Successivamente vengono descritti i miglioramenti apportati all'impianto, sempre basandosi sui concetti dello SMED, e quindi la riduzione, per quanto possibile, dei setup offline e la razionalizzazione delle attività interne rimanenti. Vengono successivamente descritti i miglioramenti tecnologici e le attrezzature hardware e software adottate a supporto, in particolar modo l'hot swapping e il feeder management system, oltre a vari pc, terminali wireless, lettori di codici a barre, una piattaforma RF (a radiofrequenza) e un software Qualcomm funzionante tramite sistema operativo UNIX. Alla fine del caso studio vengono riportati i risultati con la descrizione dei miglioramenti in termini di costi e di tempi e i problemi che si sono verificati durante l'attuazione del progetto.

CAPITOLO 1

1.1 Definizione e tecniche principali della lean production

Lean Production, ovvero “produzione snella”, è sempre più un concetto, una filosofia, un modo di pensare e di agire che si sta radicando nelle realtà aziendali mondiali tanto da divenire logica operativa e riferimento di qualsiasi strategia di miglioramento. Il termine Lean Production è stato coniato da James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Ross all’interno del libro “La macchina che ha cambiato il mondo”, (Womack et al., 1990) facente riferimento al programma di ricerca promosso, durante gli anni immediatamente precedenti, dal Massachusetts Institute of Technology sull’industria automobilistica. Questa ricerca, ponendo a confronto il modo di funzionare delle imprese occidentali con quelle giapponesi, mise in luce come i principi e i criteri della produzione di massa di stampo fordista erano oramai ampiamente superati da altri principi e criteri volti costantemente all’aumento della flessibilità, alla qualità, al miglioramento continuo e alla riduzione di tempi e costi attraverso strutture organizzative agili, una partecipazione attiva e intelligente del personale al processo produttivo e ad un uso delle tecnologie meglio integrato con le risorse umane. La nascita del cosiddetto “pensiero snello” è da individuarsi in Giappone nei primi anni Cinquanta. In realtà la vera culla di tale filosofia e metodologia gestionale è stata una particolare azienda giapponese operante nel settore automobilistico: Toyota. L’attenzione di studiosi e manager fu catturata dalla capacità di penetrazione dell’industria automobilistica giapponese, a cominciare dai primi anni Settanta, nei mercati precedentemente controllati dall’industria automobilistica americana ed europea, non soltanto nei mercati di interesse secondario e nei segmenti di vetture utilitarie ma anche nel fondamentale mercato nordamericano e nelle fasce di vetture di alta gamma.

La lean production è un processo produttivo che, paragonato alla produzione di massa tipica dell’industria occidentale, usa “meno di tutto”, e cioè meno lavoro umano, meno tempo per sviluppare nuovi prodotti, minori stock, minore superficie di stabilimento. In questo modo non ci si limita ad abbattere i costi, ma si ottiene contemporaneamente un prodotto migliore, in quanto i difetti qualitativi che caratterizzano la produzione di massa si riducono di due terzi.

1.1.1. Value Stream Mapping (VSM)

Per Value Stream Mapping si intende la mappatura grafica di tutto quell'insieme di processi ed attività che concorrono alla realizzazione di un prodotto, partendo direttamente dal fornitore, passando per tutta la catena di montaggio fino alla consegna del prodotto finito (le tre rivoluzioni, Alberto Galgano, 2002). Il presupposto sul quale basare l'analisi della catena del valore non è il miglioramento del singolo processo, ma l'ottimizzazione globale e continua. Le peculiarità della mappatura del processo sono due (Galgano, 2002):

1. Current State Map: descrive la situazione del prodotto nel flusso del valore
2. Future State Map: indica il modo in cui si vuole vedere il prodotto all'interno del flusso

























SIMBOLI RELATIVI AL FLUSSO (FISICO, INFORMATIVO, TEMPORALE):	SIMBOLI RELATIVI AL MIGLIORAMENTO DEI PROCESSI:
 Flusso fisico	 Obiettivo <i>kaizen</i>
 Informazione elettronica	 "Supermarket"
 Informazione manuale	 Postazione <i>kanban</i>
 Flusso fisico in ingresso/uscita dall'azienda	 Flusso <i>kanban</i>
 <i>Time Line</i>	 <i>Kanban</i> "ordine di produzione" (<i>Production</i>)
SIMBOLI RELATIVI AI PROCESSI INTERNI ED ESTERNI:	
 <i>Process Box</i>	 <i>Kanban</i> "prelievo" (<i>Withdrawal</i>)
 <i>Process Box</i> (processi multipli)	 <i>Kanban</i> "segnale" (<i>Signal</i>)
 <i>Process Box</i> (generico)	 "corsia FIFO"
 Fornitore esterno, cliente esterno	 Cella produttiva a forma di "U"
 Informazioni relative al <i>Process Box</i>	 Magazzino "buffer"
 Magazzino	 Scorte di sicurezza
 Operatore	
 Processo assistito da computer (MRP)	

Figura 1.1: i simboli della VSM

Fonte: www.leanmanufacturing.it

Gli obiettivi sono i seguenti (Galgano, 2002):

- 1) non focalizzarsi sul singolo processo ma sul flusso
- 2) trovare le cause dello spreco all'interno del flusso
- 3) dare a tutto l'organico gli strumenti per leggere il flusso
- 4) visualizzazione degli aspetti che hanno reso più efficiente il processo
- 5) implementare un sistema di Lean Production

La mappatura del flusso di valore, utilizza regole che hanno la finalità di essere comprese da tutto il personale. Di seguito, in figura 1.1 i simboli e gli schemi legati al VSM:

1.1.2. Le 5S

La metodologia 5S racchiude in cinque passaggi un metodo sistematico e ripetibile per l'ottimizzazione degli standard di lavoro e quindi per il miglioramento delle performance operative. (Galgano, 2002)

Nato dalla tradizione giapponese dell'eliminazione di tutto ciò che è spreco (*Muda*), l'obiettivo è quello di eliminare tutto ciò che non è strettamente funzionale all'attività svolta, indipendentemente dall'attività stessa. È un approccio definito di house-keeping, cioè finalizzato a mettere in ordine il posto di lavoro.

Il termine Metodo 5S trae spunto dalle iniziali della pronuncia occidentalizzata delle cinque parole giapponesi che sintetizzano i cinque passi che danno il ritmo alla metodologia:

Seiri - separare: separa ciò che ti serve da ciò che non è funzionale all'attività e quindi crea disturbo e disordine, quindi spreco di tempo o di risorse; un termine alternativo con la S è scarta.

Seiton - riordinare: metti a posto tutto quello che è utile, il vecchio motto "ogni cosa al suo posto e un posto per ogni cosa"; un termine alternativo con la S è sistema.

Seiso - pulire: tieni tale ordine costante e pulisci, un ambiente pulito ed ordinato è un ambiente che "non nasconde" le inefficienze (una logica molto in linea con il Total Quality Management); un termine alternativo con la S è spazza.

Seiketsu - sistematizzare o standardizzare: definisci delle metodologie ripetitive e canonizzate da utilizzare per continuare queste attività di razionalizzazione delle risorse e degli spazi lavorativi;

Shitsuke - diffondere o sostenere: fai che questo modo di pensare ed agire sia pervasivo per tutte le attività aziendali.

Il quinto passo (shitsuke) può anche essere inteso come allargamento delle 5S da esperimenti pilota ad altre attività che possono godere.

Questa metodologia investe quindi un atteggiamento aziendale di miglioramento continuo, in modo che ogni giorno sia un giorno per il miglioramento e per scoprire altri muda ed eliminarli: infatti se i primi tre passi possono essere svolti con poco sforzo, il cuore del miglioramento e del sistema è negli ultimi due che rendono l'attività costante e strutturale.

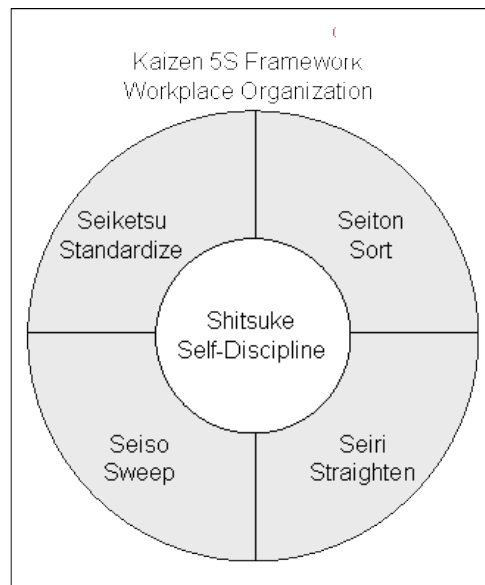


Figura 1.2: le 5S

Fonte: www.12manage.com/methods_kaizen_it.html

1.1.3. Total Productive Maintenance (TPM)

Il Total Productive Maintenance (TPM) è un approccio alla manutenzione messo a punto per minimizzare le fermate indesiderate degli impianti e massimizzare il loro impiego. È una filosofia di miglioramento continuo e di lavoro in team, finalizzata al coinvolgimento della totalità degli operatori, dei manutentori e dei supervisori in modo che loro stessi possano esercitare un diretto controllo sul corretto funzionamento dei loro macchinari. Uno degli scopi è di ottenere un atteggiamento di maggiore responsabilità e attenzione nei confronti degli impianti sui quali quotidianamente si opera (Galgano, 2002).

I principi sui quali si basa il TPM sono i seguenti:

- Ottenere un sistema di manutenzione affidabile, capace di impedire fermate frequenti
- L'operatore è la persona che meglio conosce la macchina
- Pulizia, lubrificazione, serraggio e ispezione sono elementi fondamentali per ridurre il numero di guasti
- Mantenere il costo di manutenzione sotto controllo

I pilastri su cui si basa il TPM sono 5:

- Pulizia: la manutenzione di base della macchina consiste nella sua pulizia quotidiana ed è compito degli operatori che la utilizzano
- Individuazione del problema: attraverso una formazione specifica, alcune persone vengono addestrate a riconoscere per tempo eventuali problemi che dovessero presentarsi sul macchinario
- Correggere: il problema viene risolto
- Perfezionamento: si fa in modo che il problema individuato non si ripresenti più, ad esempio variando i criteri della manutenzione
- Protezione: gli strumenti e i macchinari vengono protetti prima, durante e dopo l'utilizzo, secondo le indicazioni date dal costruttore o maturate a seguito dell'esperienza aziendale-

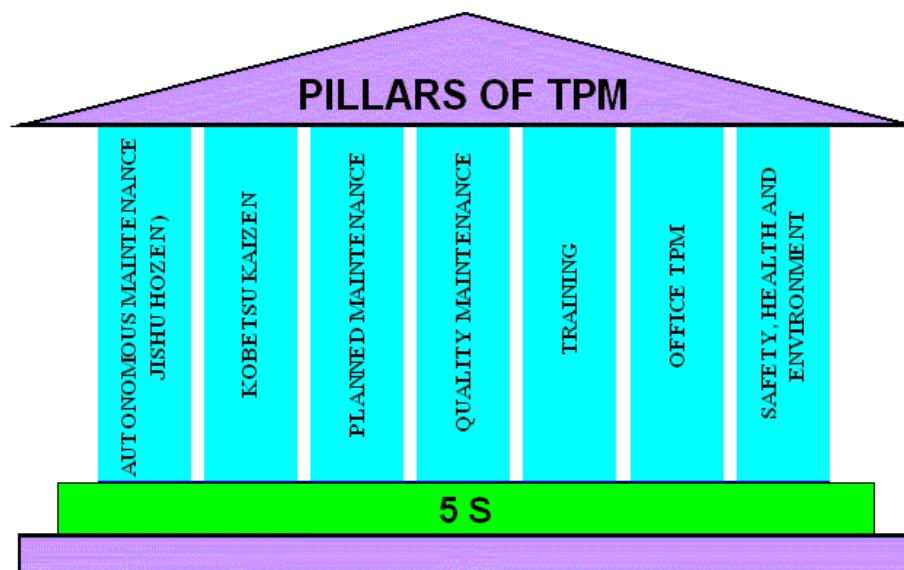


Figura1.3: Pilastri del TPM

Fonte: www.mdcegypt.com/Pages/Operation%20Management/TPM

1.1.4. Quality Function Deployment (QFD)

Il Quality Function Deployment è una metodologia per lo sviluppo dei nuovi prodotti, capace di assicurare la qualità a partire già dalla fase di progettazione. Attraverso la sua applicazione, un'azienda è in grado di tradurre gli specifici bisogni dei clienti in indicazioni tecniche per la produzione del bene o del servizio. Per ottenere questo risultato, è importante

riorganizzare tutte le attività di progettazione e sviluppo, che vengono orientate in modo strutturato, lineare e preciso verso le reali attenzioni del cliente (Galgano, 2002).

I principali obiettivi del QFD sono:

- Sviluppare una visione condivisa dei bisogni e delle vere priorità del cliente
- Ridurre i tempi e i costi di sviluppo
- Minimizzare gli errori di lancio
- Promuovere l'innovazione

Il cuore dello strumento è la “Casa della Qualità”. Ogni casa è una realtà concreta che prende forma in una serie di tabelle che costituiscono uno strumento di integrazione delle informazioni. Il fatto di far convergere nello stesso schema informazioni diverse con le varie tabelle aiuta la presa di decisioni globali.

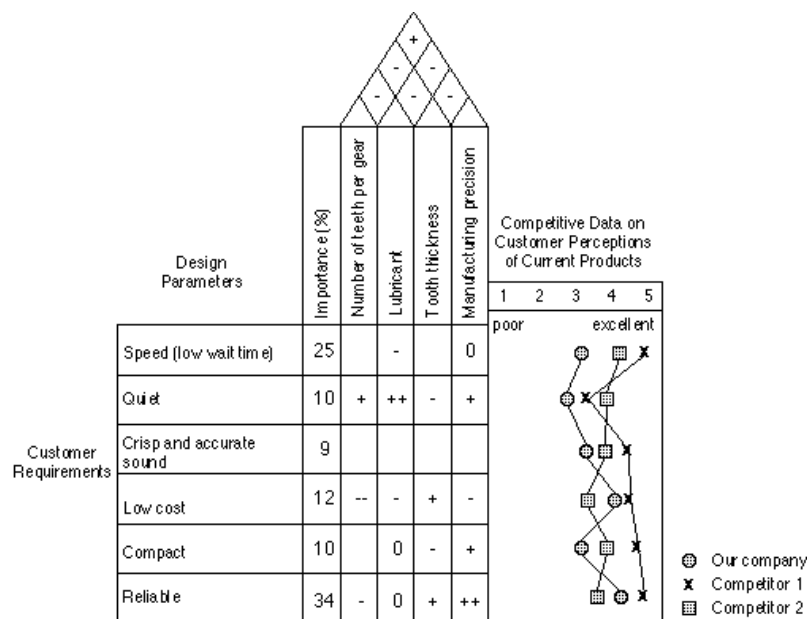


Figura 1.4: House of Quality

Fonte: www.ifm.eng.cam.ac.uk/dstools/control/qfd.html

1.1.5. Kanban

Il sistema kanban consiste in un sistema di gestione della produzione automatico per alimentare la produzione, seguirne le variazioni con una funzione autoregolante. Il sistema sposa al meglio uno dei principi di base della Lean Production: fare le cose nella maniera più semplice. Il termine Kanban consiste in un cartellino recante una serie di informazioni che

circola periodicamente tra fornitore (sia interno che esterno) e cliente, fornendo a entrambi le notizie necessarie per la gestione quotidiana dei materiali in produzione. È un sistema cioè, che consente di avere il materiale al posto giusto nel momento giusto in modo automatico senza che via sia la presenza di una “mente” esterna (generalmente un computer).

Gli obiettivi principali sono :

- Implementare il Pull
- Realizzare un sistema visuale e di pianificazione autonoma
- Velocità di risposta alla variazione del livello scorte e immunità agli errori di inventario
- Strumento per il miglioramento continuo

La metodologia di funzionamento è la seguente:

il Kanban è posto insieme al relativo materiale su appositi scaffali. L'operatore del processo B preleva il materiale che gli occorre per la produzione e, quando il contenitore relativo al Kanban si svuota, il cartellino verrà consegnato al processo a monte allo scopo di evidenziare la necessità di ripristino del materiale. Per il gestore del processo A il Kanban risulta essere un vero e proprio ordine di lavoro da evadere. Una volta ultimata la produzione, il cartellino verrà riportato assieme con il materiale del processo B per riavviare il ciclo appena descritto.

	ORA	EFFETTIVA ORA / CUM	PREVISTA ORA / CUM	DELTA ▲	MOTIVO
	7:00 - 8:00	100 / 100	110 / 110	-10	
	8:00 - 9:00	100 / 200	65 / 175	25	Rivetti mancanti
INTERV	9:00 - 10:00	75 / 275	75 / 250	25	
	10:00 - 11:00	100 / 375	50 / 300	75	Piegac ont. - lam a disallineata
	11:00 - 12:00	100 / 475	50 / 350	125	Unità rivett. - rottura spina tubo aria compressa
PRANZO	12:00 - 1:00	50 / 525	50 / 400	125	

Figura 1.5: Cartellino Kanban

Fonte: leanvalley.eu

1.1.6. Il metodo SMED

Lo SMED, è una metodologia integrata nella teoria della lean production volta alla riduzione dei tempi di setup (o tempi di cambio produzione) teorizzata dall'ingegnere giapponese Shigeo Shingo. L'espressione SMED è una sigla che letteralmente vuol dire "Single Minute Exchange of Die", espressione che tradotta in italiano significa "cambio stampo in un solo digit" (Galgano, 2002). La grande innovazione di tali metodologie risiede nella possibilità di ridurre fortemente i tempi impiegati per effettuare un' operazione di set-up con un singolo digit ossia un lasso di tempo inferiore a dieci minuti. Come si vede dalla sigla lo SMED nasce nell'industria dell'auto, ma poi diventa applicabile in tutti i settori industriali.

I principi fondamentali alla base della tecnica SMED sono due:

- Riconoscere che il tempo di set-up non è un dato immutabile ma una variabile che è possibile migliorare come ogni altra performance aziendale
- Rendersi conto che il set-up di qualsiasi impianto è costituito da due fasi: un set-up interno IED ed uno esterno OED.

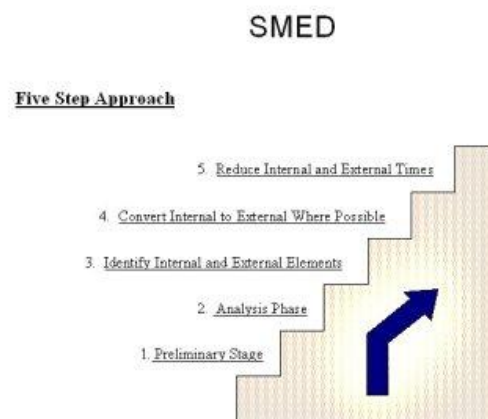


Figura 1.6: S.M.E.D.

Fonte: www.beyondlean.com/kaizen.html

CAPITOLO 2

La metodologia S.M.E.D.

La sigla S.M.E.D. significa Single Minute Exchange of Die (attrezzaggio in un tempo inferiore a 10 minuti, cioè in un numero di minuti espresso da una sola cifra) ed è un metodo per la riduzione dei tempi di setup, tipicamente riferito ad applicazioni nell'industria metalmeccanica e della trasformazione di materie plastiche, ma applicabile anche ad altri settori laddove esistono frequenti cambi di lavorazione che richiedono ogni volta un'adeguata predisposizione e taratura dell'impianto dedicato (a revolution in manufacturing: the smed system, Shingeo Shingo, 1985).

Dalla lettura dell'acronimo non bisogna dedurre che, applicando correttamente tale metodologia, gli impegni di tempo per l'attrezzaggio passino automaticamente da qualche ora ad un solo minuto. Ciò che il nome vuol significare è piuttosto una tensione a ridurre i tempi di fermo effettivo dell'impianto al minimo, per quanto possibile vicino allo zero.

A metà degli anni Cinquanta, quando Shigeo Shingo, (sistema di produzione giapponese Toyota, Shingeo Shingo, 1981) un consulente d'impresa giapponese, sviluppò la metodica SMED per aziende come Matsushita, Toyota e Bridgestone, si trattava di ridurre i tempi di approntamento mediante una coerente organizzazione del lavoro (. Un confronto interessante con la prassi odierna: la sostituzione di una ruota. Una persona mediamente versata nella tecnica la esegue in 10-20 minuti mentre durante il pit-stop in una corsa di formula 1, i tecnici hanno bisogno, per sostituire quattro ruote e fare rifornimento di carburante, solo di un tempo compreso tra 7 e 10 secondi.

Dall'analisi del pit-stop appare evidente quali siano le caratteristiche del metodo Single Minute Exchange of Die: attività standardizzate, precisa suddivisione del lavoro, separazione tra approntamento interno ed esterno, operazioni parallele.

La metodologia ha permesso di superare due concetti su cui si basavano in passato le attività di riattrezzaggio:

- 1 - Effettuare efficientemente ed efficacemente dei set-up richiede tecnici con elevate competenze ed abilità, frutto di anni di addestramento e tirocinio;
- 2 - Produrre a grossi lotti lenisce l'effetto negativo dei set-up sulla produzione e ne controbilancia i relativi costi.

La metodologia S.M.E.D. é molto semplice: trasformare operazioni di set-up in qualcosa di talmente elementare che "chiunque", purché abbia un minimo di conoscenza tecnica del settore (come un operatore macchina od un assistente di linea), possa eseguirlo correttamente, facilmente e rapidamente. L'attenzione focale, pertanto, é sulla semplificazione delle attività di set-up e sull'adozione di metodi poka-yoke (a prova di stupido) ove necessario.

“... many companies have set up policies designed to raise the skill level of the workers, few have implemented strategies that lower the skill level required by the set-up itself.”

Shigeo Shingo, 1981

Per quanto riguarda il secondo concetto, nell'industria manifatturiera, il lotto economico, sempre di mole ragguardevole, é stato inventato proprio per compensare l'impatto tempi-costi di operazioni di set-up di lunga durata.

L'approccio dello S.M.E.D. é, ancora una volta, molto semplice: ridurre all'osso la durata di ogni set-up, così da sbarazzarsi del concetto di grosso lotto e lotto economico una volta per tutte.

L'attenzione focale é sull'eliminazione di tutte quelle attività di set-up "tradizionale" superflue o non necessarie, e nella riorganizzazione razionale di tutte quelle (necessarie) restanti, così da ridurre il tempo totale di set-up ai minimi termini.

Il risultato finale é un sistema produttivo capace di produrre una grande varietà di prodotti anche a lotti piccolissimi, come vogliono i clienti di oggi.

I risultati attesi dall'applicazione della metodologia sono sia diretti che indiretti, così come evidenziato nella tabella seguente.

RISULTATI ATTESI	
DIRETTI <i>Riduzione dei tempi di fermo linea</i> <i>Riduzione dei tempi di attrezzaggio</i> <i>Minori errori di attrezzaggio</i> <i>Miglioramento della qualità del prodotto</i> <i>Maggiore sicurezza del lavoro</i>	INDIRETTI <i>Riduzione degli stocks</i> <i>Aumento della flessibilità produttiva</i> <i>Razionalizzazione di utensili e attrezzature</i>

Tabella 2.1: Risultati attesi dall'applicazione dello S.M.E.D.

Fonte: adattato da Shingo, 1985

Il punto di partenza della metodologia S.M.E.D. è nella suddivisione dell'intero tempo di set-up (o tempo di cambio produzione, come definito sopra) in due entità ben distinte:

- il tempo di set-up interno
- il tempo di set-up esterno

TEMPO DI SET-UP INTERNO

Questo è definito come quell'intervallo di tempo durante il quale la macchina (o la linea, o il processo produttivo) deve essere fermata altrimenti non sarebbe possibile effettuare il set-up. Questo è il vero e proprio tempo di set-up, che inizia alla fine del lotto precedente e termina all'inizio del lotto successivo (primo pezzo "conforme").

Durante quest'intervallo di tempo non si aggiunge alcun valore al prodotto.

TEMPO DI SET-UP ESTERNO

Questo è definito come quell'intervallo di tempo, che trascorre durante le operations produttive sia del lotto precedente che di quello successivo, durante il quale si effettuano alcune attività necessarie per il set-up (come portare o rimuovere materiali e prodotti, preparare o mettere a posto attrezzi, ecc.). Tali attività "esterne" possono essere effettuate da personale vario (operatori, tecnici, manovalanza...). Una parte di questo tempo può trascorrere prima delle attività di set-up interne e parte dopo.

In aziende "tradizionali" la differenza tra le due entità temporali non è conosciuta né evidenziata: molte attività che potrebbero essere effettuate "esternamente" vengono effettuate "internamente" (a macchina ferma), allungando e penalizzando la durata del tempo di set-up interno. In casi limite, il tempo di set-up interno è l'intero tempo di set-up.

La strategia iniziale dello S.M.E.D. è di creare una distinzione netta tra le due entità temporali, ed assicurare che tutte quelle attività che potrebbero essere effettuate "esternamente" vengano rimosse dalla zona "interna".

Parallelamente, lo S.M.E.D. si focalizza su attività di puro spreco (attività superflue durante un set-up, non necessarie, che non dovrebbero neanche sussistere: come "cercare attrezzi" o "consultarsi con capo reparto") e le elimina radicalmente.

I passi successivi sono:

- la riduzione drastica delle durate di attività interne
- la razionalizzazione e riorganizzazione di tutte le attività esterne

Per quanto concerne la riduzione dei tempi necessari per eseguire attività interne (l'obiettivo primario dello S.M.E.D.), si analizzano due classi principali di attività interne:

- attività di rimpiazzo o sostituzione
- attività di regolazione e messa a punto

ATTIVITA' DI RIMPIAZZO O SOSTITUZIONE

Comprendono: lo smontaggio di attrezzature necessarie per le operazioni "precedenti" (stampi, basamenti, guide, nastri) ed il montaggio di quelle relative alle operazioni "successive". Per tal scopo, in generale, ci sono da fare parecchie attività di imbullonaggio (svitare/avvitare/serrare viti, bulloni, dadi) e parecchie attività di movimentazione (sollevare, abbassare, spostare, rimuovere). Tutte attività che prendono tempo.

La strategia dello S.M.E.D. è di minimizzare la durata di tali attività, applicando un certo numero di tecniche e trucchi del mestiere, con lo scopo di: eliminare dapprima il bisogno di imbullonare per "tenere assieme" e "serrare" componenti ed attrezzature, o perlomeno eliminare il bisogno di utilizzare metodi di serraggio tradizionali (bulloni e dadi), magari rimpiazzandoli con metodi di serraggio "rapido" (a morsa, magnetici, idraulici) - e comunque di razionalizzare al massimo tutte le attività di serraggio per ridurre all'osso le corrispondenti durate. Nello S.M.E.D. bulloni, viti e dadi sono il nemico N. 1.

Un approccio molto simile viene utilizzato per ridurre al minimo ogni attività di movimentazione.

ATTIVITA' (INTERNE) DI REGOLAZIONE E MESSA A PUNTO

Comprendono: misurare, centrare, regolare, posizionare con precisione, registrare, calibrare, mettere a punto, tarare, e simili. Il che é necessario per assicurare la corretta qualità del prodotto. Associate a tali attività, ce ne sono altrettante di prova, per verificare che tutte le messe a punto precedenti siano state effettuate correttamente. Tutto ciò divora tempo prezioso (anche a causa di possibili iterazioni e ripetizioni in sequenza di messe a punto e prove), e richiede sicuramente competenza, abilità ed esperienza.



Figura 2.1: Ottimizzazione dei tempi in formula 1

Fonte: operational-excellence-consulting.com

2.1. Gli 8 pilastri dello S.M.E.D.

Sorprende scoprire che lo stesso inventore della metodologia S.M.E.D., Shigeo Shingo, abbia detto che “il migliore metodo per cambiare è non cambiare nulla” (a revolution in manufacturing, Shigeo Shingo). Infatti l’approccio proposto non si basa su ingenti investimenti in mezzi e tecnologia bensì sulla semplificazione delle operazioni con accorgimenti semplici ma di grande effetto. Shingo ebbe modo di formulare le sue teorie a partire dagli anni ‘50 in Giappone osservando la produzione prima negli stabilimenti Toyo relativamente a problemi di cambio dello stampo in una pressa da 800 tonnellate; successivamente nei cantieri navali Mitsubishi si adoperò nello studio sulla capacità produttiva di una piallatrice che risultava essere il collo di bottiglia dell’intero processo a

causa dei lunghi tempi di set up. Infine nel 1970 affrontò il caso della sostituzione degli stampi di una formatrice nello stabilimento Toyota che si effettuava in 4 ore, dopo un anno il tempo necessario si ridusse a 90 minuti e successivamente a 3 minuti. Proprio durante quest'ultima esperienza Shingo, davanti al direttore generale dello stabilimento, tracciò con il gesso su una lavagna gli 8 punti da considerare per l'abbattimento dei tempi di set up. Fu la prima formalizzazione del metodo S.M.E.D. (Shingo, 1985).

2.1.1. Separazione dell'IED e OED

Le operazioni compiute per il cambio di attrezzatura si possono dividere in operazioni interne (Ied – inside exchange of die) e operazioni esterne (Oed - outside exchange of die). Le prime devono essere effettuate necessariamente a macchina ferma mentre le seconde possono essere effettuate in ombra cioè mentre la macchina sta lavorando prima o dopo del cambio vero e proprio. Le operazioni esterne consistono nel preparare il cambio di attrezzatura, le dime, gli attrezzi per fissare e tutto il materiale necessario e posizzarli accuratamente vicino alla macchina controllando che sia tutto in ordine, pulito e in buono stato di manutenzione. Va ricordato che l'ordine e la pulizia degli utensili e dei macchinari contribuisce in modo fondamentale alla prevenzione dei guasti e alla loro immediata identificazione (Quick changeover for operators: the SMED system, Shigeo Shingo, traduzione postuma 1996).

Le operazioni interne devono consistere solamente nella rimozione dell'attrezzatura precedente e nel montaggio di quella nuova.

Da ciò si evince che bisogna massimizzare le operazioni esterne e se le operazioni interne sono inevitabili effettuarle al momento giusto. Già questo primo accorgimento consentirebbe una riduzione del 30-50% del tempo di sostituzione rispetto a quello richiesto con le tecniche tradizionali dove non c'è distinzione tra fasi interne e esterne e in alcuni casi limite l'intero tempo di set up è costituito da operazioni interne.

2.1.2. Inversione dell'Ied con l'Oed

Shingo definisce questa come l'idea più efficace di tutto il sistema S.M.E.D.. Esempi pratici di queste attività sono ad esempio l'adozione di opportuni spessori per evitare l'aggiustamento dell'altezza di uno stampo nella pressa oppure il riscaldamento dello stampo utilizzato per la pressofusione in modo da eliminare il tempo utilizzato nella macchina per effettuare una iniezione di prova (Shingo, 1996).

2.1.3. Standardizzazione funzionale

Se tutte le attrezzature avessero la stessa altezza, lo stesso spessore, gli stessi attacchi le stesse interfacce si potrebbe risparmiare un notevole quantitativo di tempo. D'altro canto la standardizzazione implica notevoli costi e uno studio a monte ben preciso, in questo caso è molto meglio focalizzare l'attenzione solamente su alcuni aspetti funzionali alla sostituzione e standardizzare solamente quelli.

2.1.4. Adozione dei morsetti funzionali

Il metodo di serraggio più usato in ambito industriale è sicuramente il bullone a cui si riconoscono indubbiamente alcuni pregi come la reperibilità e la standardizzazione ma ha anche alcuni difetti spesso poco conosciuti e che possono rallentare lo svolgimento delle operazioni interne.

- Il bullone effettua il corretto bloccaggio solamente quando l'ultimo filetto è in presa, per ottenere ciò è necessario effettuare circa 15 rotazioni. Se il bullone è più lungo del necessario inoltre si ha una perdita di tempo e energia dovuto all'avvitamento.
- Il bullone perde la capacità di serraggio appena si verifica un allentamento.
- Bulloni e dadi vengono spesso persi dall'operatore durante il montaggio all'interno della macchina o in grate del pavimento, ciò provoca uno spreco di tempo dovuto alla ricerca del componente oppure alla sua sostituzione.
- Spesso i bulloni non sono standardizzati all'interno dello stesso set up.

Inoltre quasi sempre non si considera un importante fattore cioè la direzione e il valore della forza da contrastare con il metodo di bloccaggio: i filetti resistono a forze disposte secondo l'asse X Y e Z ma spesso non si conoscono né le direzioni né i moduli delle forze applicate (Shingo, 1996). Si possono trovare soluzioni alternative che agiscono nella direzione dello sforzo e consentano allo stesso tempo un serraggio efficace e più veloce come cunei, camme, montaggi su cave a T. Tutti questi dispositivi possono essere mobili o fissati direttamente sulla macchina e si possono raggruppare in tre grandi categorie: One Turn, One Motion e Interlocking Methods.

I primi si basano sull'adozione di bulloni o altri dispositivi come rondelle appositamente modificate per consentire il serraggio con un solo giro; i secondi richiedono una sola azione per il bloccaggio come camme e morsetti mentre nel terzo gruppo sono compresi tutti quegli accorgimenti che permettono di sostituire i sistemi di bloccaggio con idonei sistemi di riferimento che garantiscano allo stesso tempo il corretto posizionamento reciproco dei due elementi.

2.1.5. Utilizzo di dime di montaggio

La dima è una forma o uno stampo che viene realizzato per poter riprodurre una spaziatura, il profilo di un oggetto, o l'oggetto stesso. L'utilizzo di dime nel montaggio semplifica molto le operazioni nel posizionamento e nell'unione dei pezzi.

2.1.6. Operazioni in parallelo

Spesso gli operai nella sostituzione di attrezzature devono compiere numerosi spostamenti intorno alla macchina che allungano il tempo complessivo di sostituzione. Se la sostituzione fosse affrontata avendo a disposizione due operai si impiegherebbe presumibilmente meno della metà del tempo in quanto le ore-uomo coinciderebbero con quelle precedenti ma il rapporto di utilizzazione sarebbe aumentato. Nella maggior parte dei casi però c'è riluttanza ad adottare questo metodo in quanto non si dispone di operatori di riserva. Bisogna però considerare il fatto che se il tempo di sostituzione è 1 ora saranno necessari 30 minuti di assistenza mentre se il tempo è di 8 minuti allora il tempo di assistenza sarebbe ridotto a solo 4 minuti. È quindi necessario valutare la possibilità di avere un operaio addetto al supporto del cambio attrezzatura poiché si ridurrebbe una vera e propria perdita di tempo.

2.1.7. Eliminazione degli aggiustamenti

Per capire l'importanza degli aggiustamenti bisogna prima discernere il concetto di appostamento e aggiustamento, funzioni completamente separate, che spesso negli stabilimenti non è compreso con chiarezza. Per rendere il concetto con un esempio l'appostamento è la fase di spostamento di un fine corsa dalla posizione A alla posizione B, può succedere che per vari motivi la nuova posizione non sia quella giusta: è necessario quindi spostare ulteriormente il fine corsa procedendo a tentativi (aggiustamento). Il tempo impiegato in questa operazione è notevolmente influenzato dalla professionalità e esperienza messa in atto da parte degli operatori a fronte di situazioni sempre diverse. È ovvio che questo aspetto è in netto contrasto con la metodologia S.M.E.D. che invece si propone di eliminare soggettività e dipendenza dei tempi dalle persone rendendo le operazioni di set up intrinsecamente sicure (*poka yoke*) e talmente elementari che chiunque dopo aver effettuato un minimo addestramento possa svolgerle (Shingo, 1996).

L'aggiustamento si rende necessario quando la precedente operazione non è stata svolta con sufficiente accuratezza e non ha raggiunto l'obiettivo prefissato il che è dovuto nella maggioranza dei casi dalla complicatezza dell'operazione da svolgere. Per fronteggiare ciò bisogna innanzitutto essere in possesso di un metodo che garantisca il raggiungimento dell'obiettivo e che sia allo stesso tempo il più semplice possibile e di rapida esecuzione. "Il metodo più efficace per eliminare l'aggiustamento è non effettuarlo affatto". Il criterio da applicare è quello del minimo comune multiplo (Lcm- least common multiple) in opposizione

al metodo tradizionale: quest'ultimo propone una regolazione continua che dà solo l'illusione di una maggiore possibilità di scelta e accuratezza ma che in realtà trascina con se più riscontri negativi che benefici.

Un esempio riportato dallo stesso Shingo in riguarda lo spostamento di un fine corsa su una rotaia che veniva eseguito azionando una vite e passando quindi per tutti i valori intermedi compresi tra quello di partenza A e quello di arrivo B. La soluzione proposta tendeva invece ad avere un numero limitato di posizionamenti possibili con una manovra di tipo a gradino anziché continua messa in pratica posizionando diversi fine corsa nelle posizioni di interesse con un interruttore di esclusione dell'alimentazione elettrica in modo tale da eliminare azionare selettivamente il fine corsa nella posizione richiesta senza provvedere a manovre di spostamento. In questo modo non si è modificato il meccanismo ma solo la funzione.

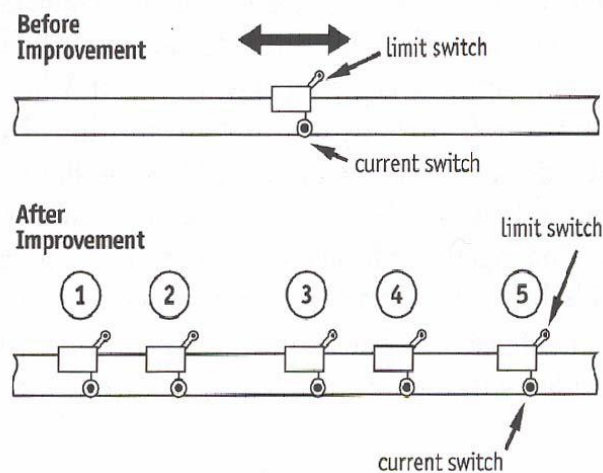


Figura 2.2: eliminazione degli aggiustamenti con il metodo LCM

Fonte: quick changeover for operators: the SMED system, 1996

2.1.8. Adozione della meccanizzazione

Prima di affrontare questo ultimo passo si è già ridotto il tempo di attrezzaggio da ore a minuti adottando le soluzioni previste dagli interventi fino a qui proposti: con questa fase si potrà ottenere una ulteriore riduzione dei tempi ma con un guadagno percentualmente minore il che nella maggior parte dei casi non risulta essere determinante. Inoltre spesso la meccanizzazione comporta investimenti considerevoli quindi prima di intraprendere una strada onerosa è bene verificare di aver applicato in modo ineccepibile le fasi precedenti e poi valutare attentamente i benefici ottenuti grazie all'integrazione dell'automazione.

2.2 Tipi di perdite negli impianti

Per massimizzare il rendimento globale di un impianto industriale è necessario intervenire su tutti i tipi di perdite che ne caratterizzano l'esercizio per mettere le macchine in condizioni di lavorare alle massime potenzialità:

- Perdite per cambio attrezzature e regolazioni
- Perdite di avviamento
- Perdite per guasti
- Perdite per inattività e microfermate
- Perdite di velocità
- Perdite per difetti e rilavorazioni

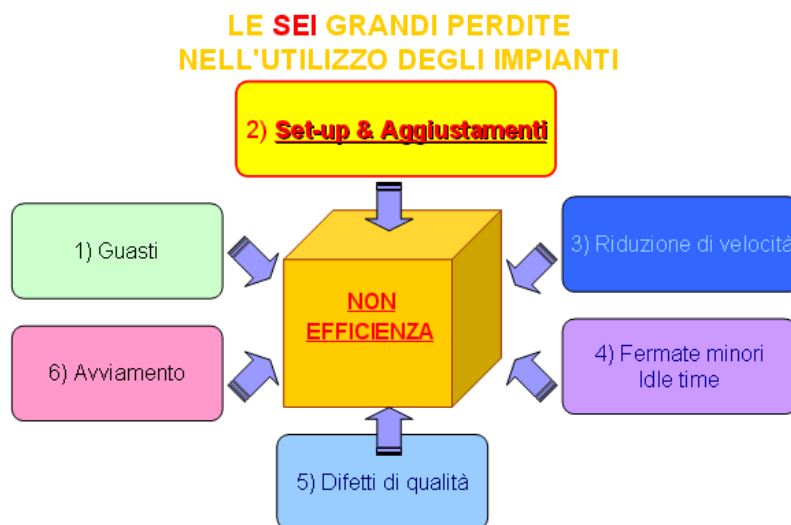


Figura 2.3: Le sei perdite

Fonte: www.leanmanufacturing.it

1. *Perdite di avviamento*: le variazioni ambientali (temperatura, umidità) rendono problematico l'avviamento e determinano prestazioni scarse e non omogenee all'avviamento della macchina.

2. *Perdite per guasti*: una delle cause principali di riduzione della disponibilità è data dai guasti che si presentano sugli impianti. Le macchine sono costituite da organi meccanici in movimento formati da svariati sottosistemi nei quali ogni singola parte può deteriorarsi o rompersi e, solamente dopo aver riparato il guasto o sostituita la parte, si può riprendere la produzione. Molto spesso le cause di guasto danno segnali d'allarme prima che la macchina

si rompa: la loro individuazione può essere compito delle attività di manutenzione autonoma svolte direttamente dagli operatori. D'altro canto nessuno meglio di loro conosce le macchine ed è in grado di percepire segnali deboli (rilevabili con il solo utilizzo dei 5 sensi) che indicano uno stato di deterioramento. La maggior parte delle fermate frequenti non è registrata, pertanto difficilmente vengono trovate soluzioni.

3. *Perdite per fermate minori*: malfunzionamenti temporanei e di lieve entità non sono considerati guasti, anche se spesso costringono l'operatore a interrompere l'attività produttiva. Considerando che si verificano con elevata frequenza il tempo cumulato può essere considerevole.

4. *Perdite di velocità*: spesso la velocità per cui una macchina è stata concepita non è nota agli operatori, le operazioni sono svolte sempre alla stessa velocità senza sfruttare al meglio le potenzialità della macchina.

5. *Perdite per set-up*: durante lo svolgimento delle attività di set-up la macchina su cui si opera è ferma; molto spesso ci sono attività complesse e difficoltose che possono richiedere personale addestrato e tempi di fermo molto elevati.

6. *Perdite per difetti e rilavorazioni*: i difetti di qualità comportano scarti e/o rilavorazioni, incrementano i costi e determinano sprechi di energia, materiali e tempo. Un'attività a valore aggiunto trasforma fisicamente il prodotto, è fatta correttamente la prima volta e soddisfa i requisiti del cliente. Un'attività senza valore aggiunto assorbe tempo e risorse ma non aggiunge niente al valore del prodotto in sé.

2.3 Un indicatore globale di efficienza: l'OEE

L'indice più significativo per quantificare lo stato attuale della gestione produttiva di un impianto e l'efficacia delle soluzioni di miglioramento proposte è costituito da un valore numerico denominato "Overall Equipment Effectiveness" (OEE).

Questo indicatore prende in considerazione i tre fattori che influenzano la prestazione globale di un componente, equipaggiamento, impianto:

- Disponibilità: intesa come la porzione del tempo totale in cui il sistema è disponibile. Le perdite che incidono sulla disponibilità sono:

- guasti;
- set-up e aggiustamenti;
- altre perdite: cutting tool loss o perdita di tempo per rottura del tagliente dell'utensile, migliorabile applicando buone attività di manutenzione pianificata e di manutenzione autonoma; oppure lo startup loss o perdita legata ad una difettosa produzione dovuta alla non raggiunta produzione a regime, oppure il time not scheduled for production o perdita dovuta a meeting, manutenzione preventiva e break. Quest'ultima perdita non è spesso considerata nel calcolo della disponibilità ed è sottratta dal tempo operativo totale, ma alcune aziende la inseriscono come perdita per incoraggiare la nascita di idee creative per ridurre l'incidenza senza eliminare l'attività.

• Performance: sono espresse come rapporto tra la produzione effettiva e quella attesa considerando il tempo produttivo netto a disposizione e la velocità della macchina. Le perdite che incidono sulle performance sono:

- *Perdite di velocità*: le macchine spesso funzionano ad una velocità più bassa di quella per cui sono state progettate. Se a volte è fatto per cercare di mantenere stabile lo standard qualitativo dei prodotti che escono dalla macchina altre è proprio l'operatore a non far funzionare la macchina alla massima velocità;

- *Idle time (piccole fermate)*: sono eventi che interrompono il flusso produttivo senza alcun guasto. Spesso capitano nelle linee automatiche, per esempio quando i componenti di un prodotto ostacolano il nastro trasportatore oppure quando i sensori rilevano la presenza di corpi estranei e fermano la macchina (spesso si tratta di segnali errati, dovuti a sporco, polvere,..), e possono sembrare uguali a piccoli fastidi, ma essi rappresentano una delle maggiori perdite per molti impianti. Tra questo tipo di fermate vanno considerate le fermate compiute dall'operatore per le pause che non siano definite da contratto.

• Qualità: espressa come percentuale di scarti e rilavorazioni sulla produzione totale. Questa è causata da:

- *scarti e rilavorazioni*: i prodotti che non offrono le caratteristiche chieste dal cliente rappresentano evidentemente delle perdite. Un prodotto scartato o rilavorato è una perdita di tempo, energia e materiale;

- *perdite d'avviamento o startup loss*: molte macchine impiegano un certo tempo prima di raggiungere le giuste condizioni operative. Variazioni ambientali, come temperatura ed umidità, possono rendere problematico l'avviamento e determinare prestazioni scarse e non

omogenee. Se in questo tempo la macchina produce pezzi di qualità è opportuno considerare l'avviamento come riduttivo della disponibilità, in caso contrario come riduttivo della qualità. Anche se molte aziende non distinguono tra pezzi difettosi o che necessitano rilavorazioni, realizzati con le giuste condizioni operative, da quelli non conformi realizzati in avviamento, una tale distinzione risulta opportuna per poter valutare eventuali problemi nella delicata fase dell'avviamento.

Il calcolo di questo indicatore è ottenuto dalla semplice moltiplicazione di questi tre fattori:

O.E.E. = Disponibilità × Efficienza × Qualità.

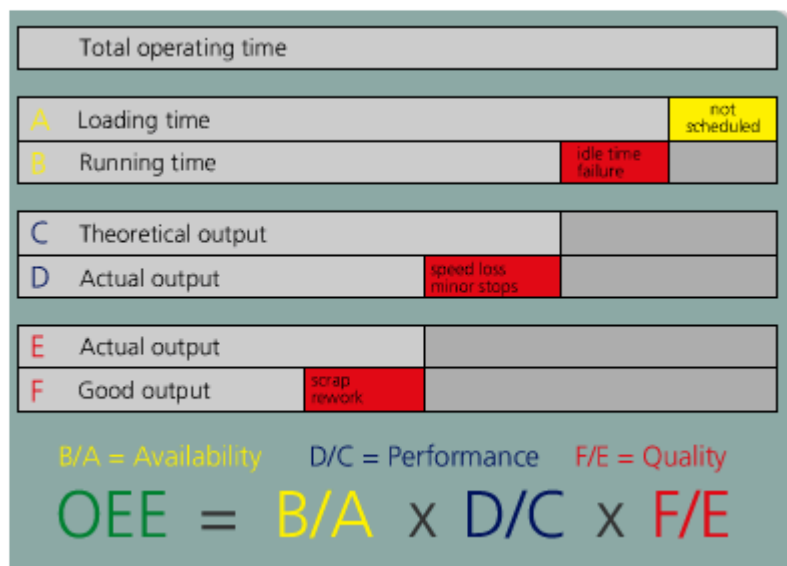


Figura 2.4: OEE

Fonte: www.leanmanufacturing.it

Si può subito notare come per avere un elevato valore di O.E.E. sia necessario che tutti e tre gli indici siano alti, a significare che solo un impianto in cui tutte le risorse siano sfruttate in maniera ottimale può raggiungerlo. È necessario precisare come l'O.E.E. sia un indice di efficacia dell'impianto quindi considera esclusivamente tutte le perdite interne ad esso e non quelle esterne; queste non dipendono dalla singola macchina o da interazioni reciproche ma si concretizzano in mancanza di ordini, scioperi ed assenteismo, assenza di materie prime, informazioni o energia.

L'O.E.E. ha molteplici funzioni:

- permette di identificare le perdite maggiori;
- costituisce un appropriato percorso per individuare i problemi e aumentare la capacità della macchina;

- determina il rendimento attuale;
- costituisce la base di valutazione dello stato delle macchine presenti in fabbrica.

In Figura 2.4 è riportato uno schema grafico per il calcolo dell'O.E.E.

2.4 Approccio tradizionale e approccio S.M.E.D.

La produzione industriale per molto tempo si è basata sul paradigma che per ottenere maggiori risultati in termini di prodotti finiti occorreva l'utilizzo di maggiori risorse, sia umane che tecnologiche e maggiori ore di lavoro. Tutto ciò comportava ovviamente un aumento dei costi di investimenti in attrezzature e di manodopera che, oltre ad essere impiegata in misura maggiore, doveva anche essere altamente addestrata e specializzata (a revolution in manufacturing, 1985).

L'approccio S.M.E.D. sovrverte questa visione puntando prima ad una ottimizzazione dei processi, alla riduzione degli sprechi e delle inefficienze produttive attraverso un accurato studio dei processi e dei metodi, solo infine analizza la possibilità di investire in tecnologia e automazione. Da sempre i set up sono stati affrontati con difficoltà dall'approccio tradizionale che, per cercare di minimizzare i costi che si ripercuotevano su tutto il lotto prodotto adottava, come unica soluzione, la tecnica della produzione a grandi lotti. Per avere un'idea della diversità sostanziale dei due metodi si riporta un esempio numerico.

Supponiamo che il tempo per effettuare un set up sia di 3 ore, il tempo ciclo pari a 1 minuto e la dimensione del lotto prodotto di 100 pezzi. Ipotizziamo inoltre che il costo orario della macchina utilizzata sia di 48 €/ora.

Il costo per ogni singola unità prodotta risulta essere pari a:

$$\text{Costo}_{\text{unitario}} = \frac{\text{tempo setup} + \text{tempo produzione lotto}}{\text{dimensione del lotto}} \times \frac{\text{costo orario}}{60}$$

$$\text{Costo}_{\text{unitario}} = \frac{180+100}{100} \times \frac{48}{60} = 2,24 \text{ €/pz}$$

Nel caso in cui il tempo si riducesse a 9 minuti risulterebbe:

$$\text{Costo}_{\text{unitario}} = \frac{9+100}{100} \times \frac{48}{60} = 0,87 \text{ €/pz}$$

Nel caso in cui si volesse raggiungere la stessa performance tramite una maggiorazione del lotto prodotto il nuovo lotto dovrebbe essere pari a

$$\text{Dimensione lotto} = \frac{\text{tempo di setup}}{\frac{60 \times \text{costo unitario}}{\text{costo orario}} - 1}$$

$$\text{Dimensione lotto} = \frac{180}{\frac{60 \times 0,87}{48} - 1} = 1997 \text{ pz}$$

Le conseguenze della produzione di un lotto così grande sono problemi di accuratezza delle previsioni della domanda, spazio per le scorte di materiali, incremento del WIP e del lead time di produzione, rischio di obsolescenza, ecc..

2.5 Fasi concettuali per l'applicazione

La metodologia S.M.E.D. è composta da 5 fasi progressive che si sviluppano in modo da intervenire dapprima in modo generale sui maggiori sprechi per poi addentrarsi in modo chirurgico su particolari specifici. Man mano che si procede nello sviluppo delle fasi aumenta la complessità di attuazione mentre l'efficacia diminuisce in termini percentuali.

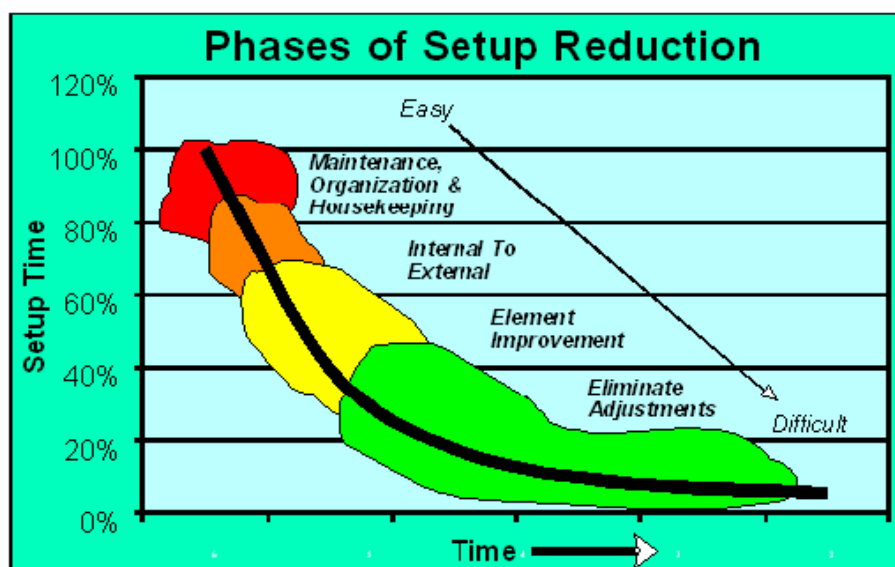


Figura 2.5: fasi dell'applicazione S.M.E.D.

Fonte: www.leanmanufacturing.it

2.5.1 Fase preliminare: organizzare, osservare, registrare

Prima di addentrarsi nell'applicazione delle tecniche S.M.E.D. è necessario porsi alcune domande in modo da definire un progetto chiaro e un team con idonee responsabilità e poteri per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. È fondamentale quindi definire i motivi dell'esecuzione dell'analisi su un determinato impianto e i risultati attesi definiti dai partecipanti al gruppo di lavoro. Questo è in genere composto da 5/7 persone dalla comprovata competenza e esperienza all'interno dell'impianto come quadri dirigenti, capi reparto, operatori di manutenzione e di produzione poiché nessuno meglio di chi è a contatto per molte ore al giorno con le macchine che lavorano sa quali sono effettivamente i problemi che le affliggono. Oltre che a queste figure si consiglia di aggiungere una persona esterna che, non essendo coinvolta nelle dinamiche e nella filosofia aziendale, possa sfidare le norme e le procedure di lavoro, esplicite e implicite, ormai consolidate all'interno dell'azienda. Individuate le persone che comporranno il team di analisi è necessario dare loro una formazione relativamente ai principi sui cui si basa lo S.M.E.D. con una riunione in cui, attraverso supporti visivi, si illustrano ai componenti i passi principali da effettuare per eseguire una corretta attuazione della metodologia. Ogni persona avrà un ruolo ben definito all'interno del processo.

Il primo passo di questa fase consiste nell'effettuare un'osservazione iniziale delle attuali operazioni di attrezzaggio, individuando il ciclo dettagliato delle attività e i tempi ad esse associati: questo compito è spesso svolto con l'ausilio di una telecamera che consenta al gruppo di lavoro di rivedere le operazioni tutte le volte necessarie alla loro revisione critica. L'attività di set-up viene poi scomposta in operazioni elementari (mediamente una ventina) che devono essere chiaramente connotate e tempificate grazie all'uso di un'opportuna modulistica (a quick changeover for operators: the SMED system, productivity press development team).

Ogni operazione è svolta da un membro diverso del gruppo di lavoro che è suddiviso in:

- *Recorder*: compongono il gruppo che deve prendere nota dei dati generali delle attività svolte per l'attrezzaggio, quali la durata dell'intero set-up, chi è coinvolto nelle operazioni, gli utensili necessari, ecc.
- *Timer*: hanno il compito di registrare e tempificare le varie fasi dell'attrezzaggio dividendole in operazioni temporali elementari.
- *Fact Collectors*: prendono appunti su ogni singola attività presente nel set-up suddividendo le operazioni in azioni.

La Tabella 2-2 rappresenta un esempio dell'attività e dei risultati del gruppo di Timer. Essa riporta la scomposizione dell'operazione di set-up in attività elementari con la valutazione e

la registrazione dei tempi di esecuzione prima (elapsed) e dopo l'implementazione delle eventuali modifiche derivate dall'analisi S.M.E.D.

Step	Description	Time		Bar Chart
		Elapsed	Step	
1	Remove guards	3min 42sec	3min 42sec	
2	Loosen bottom bolts	12min 12sec	8min 30sec	
3	Lower ran	19min 29sec	7min 17sec	
4	Loosen top bolts	31min 13sec	11min 44sec	

Tabella 2.2: rilevazioni effettuate dai Timer

Fonte: leanvalley.eu

I Fact Collectors devono assicurarsi che nessun elemento dell'operazione elementare venga dimenticato durante la fase di registrazione. La registrazione deve risultare chiara, completa e concisa. Considerando la prima operazione riportata nella tabella precedente i Fact Collectors dovrebbero arrivare, ad esempio, ad esplodere l'attività nelle operazioni come indicato in Figura 2.6.

- 1 – Walk to control panel
 - 2 – Switch machine off
 - 3 – Wait for flywheel to stop
 - 4 – Get spanner from toolbox
 - 5 – Remove 3 hex bolts
 - 6 – Get Allen key
 - 7 – Remove 5 Allen bolts
 - 8 – Remove guard
 - 9 – Walk to rear of machine
 - 10 – Place guard on the floor
 - 11 – Walk to front of machine

Figura 2.6: descrizione delle operazioni

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

2.5.2. Fase 1: operazioni interne ed esterne

In questa fase occorre distinguere ciò che deve essere necessariamente effettuato a macchina ferma (attività di attrezzaggio interno) da ciò che può essere eseguito sulla macchina in funzione, cioè prima del cambio utensile (attività di attrezzaggio esterno). Bisogna porsi la domanda se ciò che viene eseguito a macchina ferma può essere anche fatto con la macchina in funzione, e quindi convertire le attività interne in attività esterne. Certe attività, infatti, possono essere svolte mentre le macchine stanno lavorando come ad esempio le seguenti:

- 1) Scegliere le persone per lo svolgimento delle operazioni di set-up;
- 2) Preparare parti e strumenti;
- 3) Fare riparazioni;
- 4) Portare parti e strumenti presso le macchine.

Tuttavia, molte di queste operazioni vengono svolte internamente, con un incremento dei tempi passivi che può raggiungere il 100%. E' necessario quindi individuare quelle operazioni che, con semplici accorgimenti, possono essere effettuate in ombra alla produzione e non a macchina ferma. Esistono tre tecniche fondamentali per facilitare la separazione delle attività interne da quelle esterne o, meglio, per evitare che operazioni esterne "diventino" interne durante l'esecuzione del set-up:

- 1) Creare e seguire delle check-list scrupolose
- 2) Eseguire dei controlli funzionali
- 3) Ottimizzare il trasporto delle parti e degli strumenti

Una check-list deve contenere tutte le informazioni su tutto ciò che è necessario per eseguire il prossimo set-up. In pratica deve specificare:

- Operatori,
- Strumenti;
- Parti;
- Variabili operative (temperature, pressioni, tensioni di alimentazioni, ecc);
- Procedure operative;
- Metriche.

Operation Checklist		effective 4/30	
Equipment: Line C Casepacker			
Operation: Changeover to 3.5 lb size			
Date: 5/7			
Employees trained for setup and operation (need 2 people)			
	Colleen R.	✓	Jody M.
✓	Elizabeth B.		Kyle B.
Tools needed			
✓	automatic nut driver		
✓	hex wrench		
	rolling cart → at Line B 'tū 1050		
Parts needed			
✓	elevator plate—3.5 lb. size		
✓	compression plate—3.5 lb. size		
✓	feed augur—3.5 lb. size		
✓	vacuum hose, towels, brushes for cleanup		
Standard Operating Procedures to follow			
✓	SOP 001 (changeover)	✓	SOP 003 (cleanup)

Figura 2.7: esempio di checklist

Fonte: *a quick changeover for operators: the SMED system, 1996*

Dopo aver controllato che tutto il necessario sia presente è d'obbligo verificarne lo stato operativo e l'integrità attraverso i controlli funzionali. Evidentemente, tanto più grande sarà l'anticipo temporale rispetto al momento in cui dovrà essere eseguita l'attività di set-up, tanto maggiori saranno le probabilità di evitare problemi. Infatti, se ci sono parti o strumenti da riparare, è importantissimo disporre del tempo necessario per eseguire la manutenzione in ombra alla produzione. Tutte le parti e gli strumenti identificati dalle check-list realizzate devono essere presenti a bordo macchina al momento del set-up. Se la movimentazione riguarda parti di dimensioni e peso notevoli e richiede l'uso di risorse critiche come i carri ponte, questo punto diviene nevralgico. Infatti è necessario rivedere le procedure di trasporto in modo da ridurre il tempo di fermo macchina, al fine di scongiurare il deterioramento delle performance produttive (a quick changeover for operators: the SMED system).

Una delle prime azioni che vengono attuate all'interno di uno studio S.M.E.D. è, infatti, l'ottimizzazione dei trasporti. Ad esempio, per ridurre il tempo passivo di una pressa che richiede la movimentazione degli stampi mediante un carro ponte, è possibile modificare la procedura di movimentazione come illustrato di seguito.

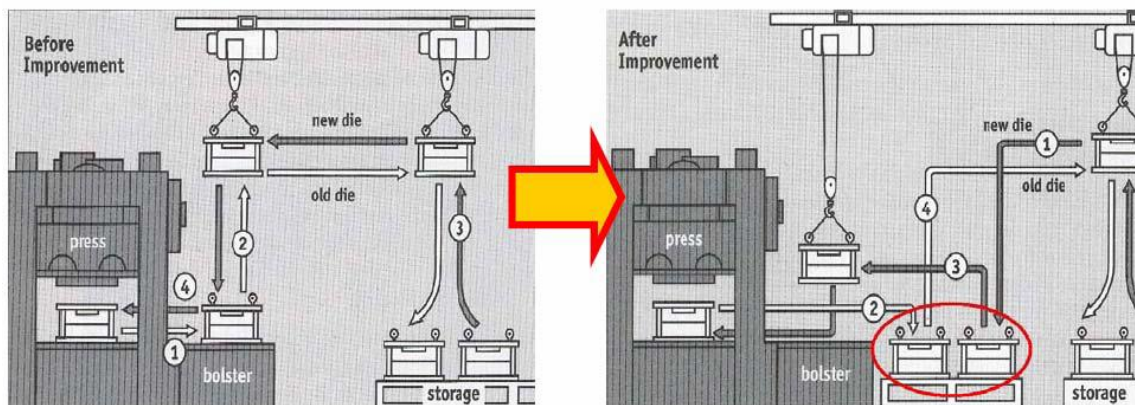


Figura 2.8: situazione prima (scarico del vecchio stampo prima di caricare il nuovo) e dopo l'attuazione (il nuovo stampo viene caricato prima di depositare quello vecchio)

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

2.5.3. Fase 2: Conversione da attrezzamento interno ad attrezzamento esterno

Le attività della Fase 1 non consentono, da sole, di ridurre il tempo di set-up oltre una certa soglia. Per raggiungere valori dell'ordine del "single minute" è necessario trasformare una parte di operazioni di attrezzaggio interne in operazioni esterne, in modo da poterle svolgere in ombra alle attività produttive. Le fasi fondamentali di questa fase sono due:

- Analizzare la funzione di ogni singola attività nel set-up interno attuale
- Convertire le attività interne in attività esterne

Un possibile esempio di queste attività riguarda gli stampi di fusione. In genere, gli stampi vengono installati e successivamente riscaldati per portarli alla temperatura di funzionamento. Effettuare un'attività di pre-riscaldamento mentre si conclude la fase operativa precedente permette di risparmiare molto tempo.

In generale le tecniche cui è possibile fare ricorso sono essenzialmente tre:

1. Preparazione anticipata delle condizioni operative: Se le condizioni operative (temperature, pressioni, posizione dei materiali) vengono adeguatamente predisposte i tempi di set-up saranno drasticamente ridotti. Un esempio è l'utilizzazione di un buffer a bordo macchina che consenta di disaccoppiare la richiesta di materiale dalla disponibilità del carrello a utilizzando un congegno che permetta all'operatore di svolgere autonomamente l'operazione di carico e scarico della macchina.
2. Standardizzazione delle funzioni essenziali: standardizzare i modi di esecuzione del set-up significa pensare a tutte le possibili modifiche alle macchine e alle attrezzature che possono evitare eventuali attività di aggiustamento complesse e lunghe.

Il caso più noto in letteratura, riportato dallo stesso Shingo, è quello degli stampi per le presse, che possono avere diverse altezze. La soluzione è quella di standardizzare l'altezza degli stampi mediante l'uso di opportuni spessori.

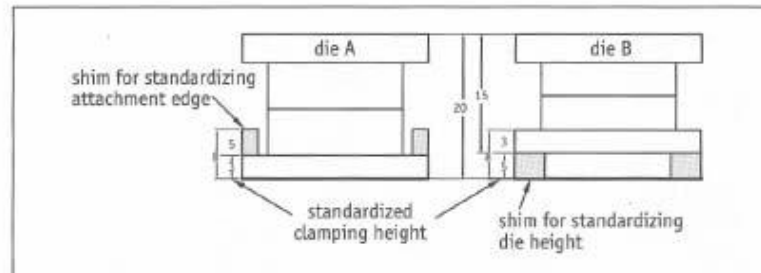


Figura 2.9: standardizzazione dell'altezza degli stampi

Fonte: *a quick changeover for operators: the SMED system, 1996*

3. Utilizzo di sistemi di riferimento per il posizionamento corretto delle parti: il posizionamento delle parti e delle attrezzature può rivelarsi sia un'attività laboriosa che una fonte di errori di lavorazione. Facilitare il posizionamento mediante cunei, blocchetti e spine può infatti migliorare notevolmente la situazione e consentire di svolgere alcune attività di set-up su attrezzature predisposte a bordo macchina mentre questa sta lavorando.

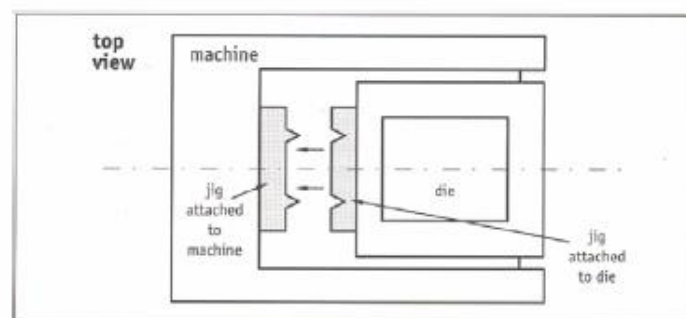


Figura 2.10: uso di spine per il riferimento

Fonte: *a quick changeover for operators: the SMED system, 1996*

All'interno di questa fase, seguendo i suggerimenti dati dalle tecniche a cui è possibile far riferimento per esternalizzare le attività, è possibile predisporre logisticamente le attività da "tirare fuori" ed eseguire lontano dalla postazione di lavoro. Una volta individuate ed eventualmente progettate le soluzioni da implementare per ottenere riduzioni dei tempi di set-up, è necessario eseguire in un "ambiente prova" la nuova sequenza di operazioni. Solo così si possono valutare i bilanciamenti e la reale convenienza ad allocare esternamente e in

anticipo al fermo impianto alcune operazioni, oltre che valutare l'effettivo grado di addestramento delle risorse dedicate.

2.5.4. Fase 3: semplificazione delle operazioni di set up

Una volta esternalizzate le attività individuate, è necessario evidenziare le operazioni anomale e valutarne la possibile eliminazione, o almeno la riduzione, dei tempi occorrenti mediante modifiche riguardanti il metodo, le attrezzature o il ricorso a "manualità e occhio". E' fondamentale, in altre parole, analizzare ancora una volta le operazioni eseguite con i nuovi metodi e valutare se possono essere apportati ulteriori miglioramenti. Macchine complesse quali, ad esempio, grandi presse o sistemi di colata spesso richiedono operazioni su più lati della macchina. Utilizzare un singolo addetto per eseguire tutte le operazioni di set-up significa perdere una notevole quantità di tempo a causa dei continui movimenti richiesti attorno alla macchina. Utilizzare operazioni in parallelo si concretizza nel dividere le varie attività elementari fra due (o più) operatori che, "responsabili" delle operazioni su diverse aree della macchina, riducendo gli spostamenti intorno alla macchina permettono di diminuire il tempo totale di set up. Anche se il numero totale di ore di lavoro per l'attrezzaggio non cambia, può crescere il tempo di lavoro produttivo della macchina. Se un tempo di attrezzamento di un'ora fosse ridotto a tre minuti, il secondo addetto sarebbe necessario per tale operazione solo per tre minuti. Per tale motivo spesso si istruiscono degli specialisti nell'attività di attrezzamento (ad esempio nel caso di presse), nuove figure "jolly" che possono lavorare insieme agli addetti macchina (quick changeover for operators).

Per massimizzare l'efficienza e la sicurezza delle attività e per velocizzare la stesura del piano di lavoro è possibile creare le "carte procedurali". Esse indicano la sequenza corretta delle operazioni da svolgere ed il tempo necessario per ciascuna attività. Inoltre, è possibile indicare il tipo di segnale che i vari operatori addetti al lavoro devono inviare al completamento della singola attività, affinché gli altri possano operare in condizioni di estrema sicurezza (ad esempio, avvisi sonori e/o luminosi).

La metodologia S.M.E.D. utilizza una serie di dispositivi chiamati sistemi funzionali di bloccaggio (functional clamps) che permettono di ottenere un efficiente fissaggio di oggetti con il minimo sforzo. Tali dispositivi si basano su bulloni opportunamente modificati piuttosto che differenti sistemi di cerniere che possono essere strette o chiuse velocemente.

Tali dispositivi possono a volte essere fissati direttamente sulla macchina al fine di evitare smarrimenti e si possono dividere in tre grandi categorie: One-Turn, One-Motion e Interlocking Methods (quick changeover for operators).

1. *One turn*: sono dispositivi che si basano su bulloni opportunamente modificati: il bullone presenta notevoli svantaggi ed è il primo dei sistemi di bloccaggio che deve essere eliminato in favore di sistemi funzionali di bloccaggio veloce.

L'operazione di serraggio con il bullone può essere scomposta in :

- Premere il dado sull'estremità del bullone e avvitare almeno un filetto
- Girare il dado
- Serrare il dado con la coppia richiesta in corrispondenza dell'ultimo filetto

È evidente che l'operazione più difficile è la prima poiché è necessario centrare e inserire il dado in direzione normale all'asse del bullone. È quindi conveniente adottare tutti quei metodi che consentono di eliminare questa prima operazione serrando e allentando il dado senza estrarlo dal bullone. Di seguito si riportano alcuni esempi:

- Dadi e bulloni con fresature alternate (Split thread method): Si utilizzano 3 intagli longitudinali fresati sul filetto dei bulloni e, in corrispondenza, dei dadi. Quando il dado è applicato al bullone facendo corrispondere le zone filettate rimaste sul dado stesso a quelle fresate del bullone, il dado può essere fissato con un solo "terzo" giro.

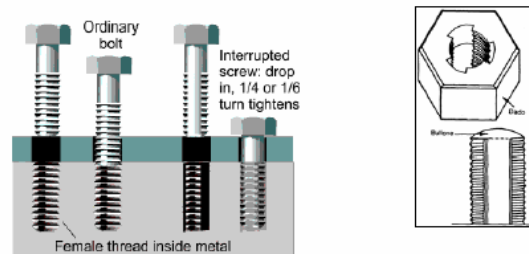


Figura 2.11: dado e bullone con fresature alterne

- Asole a forma di pera (Pear-shaped hole method): Realizzazione delle asole dei bulloni a forma di pera. In tal modo, una volta allentato il dado (con un solo giro), il pezzo può essere ruotato e staccato facendo passare la testa esagonale dall'asola senza la necessità di rimuovere completamente dado e bullone.

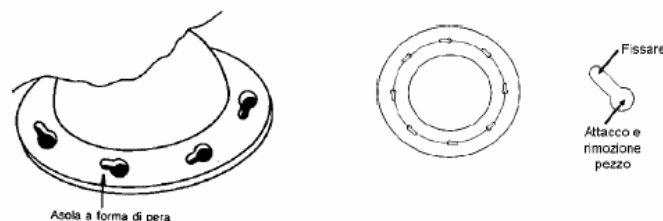


Figura 2.12: impiego di asole a forma di pera

- Rosetta a forma di U (U-shaped washer method): Utilizzo di un bullone di diametro esterno inferiore di quella del diametro interno del pezzo da bloccare, unito a una rosetta a forma di U. Il pezzo può essere estratto molto velocemente allentando il dado di un solo giro, togliendo la rosetta a forma di U e facendo uscire il pezzo senza estrarre completamente il dado.

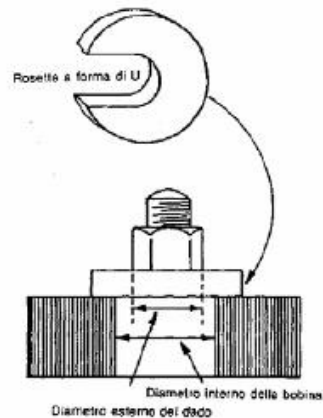


Figura 2.13: rosetta a U

2. *One-Motion*: Così come indica il nome, i metodi one-motion permettono di bloccare un oggetto con una sola azione.

○ Morsetti rapidi: gli attrezzi di serraggio rapido presentano decisivi vantaggi derivanti dall'utilizzo del principio a ginocchiera di cui si fornisce una spiegazione:

- La leva di serraggio si apre in modo tale da liberare completamente il piano di lavoro, cosicché il pezzo in lavorazione possa essere estratto e/o disposto nell'attrezzatura senza difficoltà.

- È sufficiente un piccolo spostamento della leva di comando per avvicinare la leva di serraggio al pezzo in lavorazione. La disposizione dei tre perni, mostra chiaramente che la forza esercitata dalla leva di serraggio è trasmessa alla leva di comando.

- Quando i tre perni sono allineati, viene raggiunta la massima forza di serraggio (punto morto della leva). L'intensità della forza esercitata sull'attrezzo dipende essenzialmente da: - Forza esercitata sulla leva di comando.

- Posizione della vite di pressione sulla leva di serraggio.

Nella posizione di massima forza, l'equilibrio del serraggio è instabile, in quanto forze contrarie agenti sulla leva di serraggio possono sganciare l'attrezzo.

- Se nella posizione di bloccaggio, il punto morto della leva viene superato di un certo limite, la leva di serraggio si ferma con un arresto fisso raggiungendo così un serraggio sicuro ed irreversibile.

Sempre sfruttando il principio esposto si possono utilizzare morsetti rapidi verticali, in cui cioè le leve di serraggio e di comando si muovono nella stessa direzione e a serraggio ottenuto la leva di comando si trova in posizione verticale, orizzontali, ad asta di spinta o a tirante. Una gamma rappresentativa è mostrata in Figura 2.14.



Figura 2.14: varie tipologie di morse rapide

Fonte: www.lean-manufacturing.it

–Sistemi magnetici e “a vuoto” (Magnets or vacuum suction): i sistemi di fissaggio magnetici o ad aspirazione “a vuoto” risultano particolarmente convenienti quando l’intera superficie del pezzo deve essere lavorata e non c’è un alloggio per i sistemi di bloccaggio tradizionali. I sistemi “a vuoto” richiedono, evidentemente, una superficie sufficientemente regolare e liscia al fine di evitare infiltrazioni d’aria.

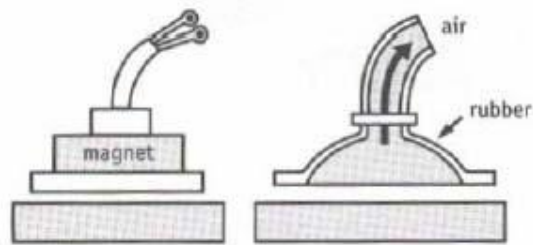


Figura 2.15: fissaggio magnetico (a sinistra) e sotto vuoto (a destra)

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

-Sistemi di bloccaggio a molla (Spring stops): L'elasticità di una molla può essere utilizzata per assicurare un oggetto mediante semplici meccanismi di espansione. L'estrazione delle parti è altrettanto semplice: nel caso di piccole forze in gioco basta applicare una trazione sufficiente a far rientrare le spine di fermo (spesso si tratta di sfere, proprio per agevolare le fasi di inserimento ed estrazione).

I sistemi a molla generalmente sono più adatti al riferimento ed al posizionamento piuttosto che al bloccaggio delle parti. In questi casi è necessario considerare la direzione e il modulo delle forze in gioco, provvedendo alla creazione di opportuni sistemi per bilanciarle efficacemente.

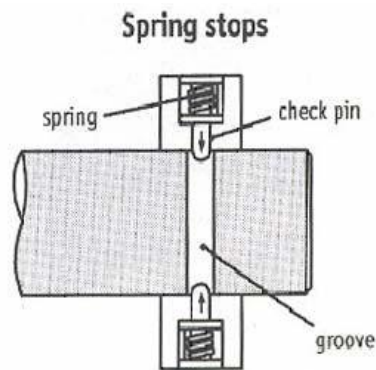


Figura 2.16: bloccaggio a molla

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

3. *Interlocking Methods*: i sistemi di connessione possono essere semplicemente descritti come metodi per adattare e congiungere due parti insieme senza l'utilizzo di cerniere e senza necessità di garantire il serraggio (ad es.: centraggio e/o riferimento). Nella maggior parte dei casi si tratta di sistemi con superfici accoppiate (scanalature, code di rondine, ecc.). Talvolta, studiando adeguatamente l'entità delle forze in gioco, è possibile sostituire sistemi di serraggio come bulloni con sistemi di riferimento costituiti da spine o da scanalature

opportunamente sagomate (quick changeover for operators). Ad esempio, per collegare una matrice di stampaggio per materie plastiche alla pressa è possibile costruire un'attrezzatura profilata standardizzata, che si accoppi senza gioco con la matrice. In questo modo le fasi di inserimento ed estrazione sono estremamente rapide e precise. Inoltre, tenuto conto della direzione delle forze in gioco, è evidente che tale sistema garantisce sempre il corretto posizionamento.

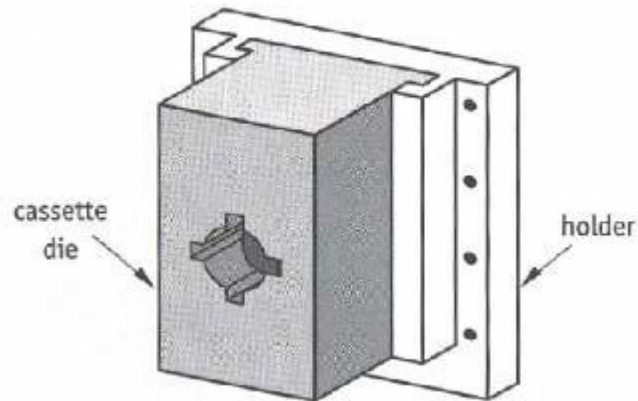


Figura 2.17: bloccaggio con cava a T

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

Sempre all'interno di questa fase è fondamentale anche ridurre gli aggiustamenti necessari durante i set-up dato che sperimentalmente aggiustamenti e test ricoprono il 50% del tempo complessivo di set-up. La loro eliminazione permette, dunque, un notevole incremento delle prestazioni ed un risparmio sensibile di tempo. L'obiettivo ideale che si propone lo S.M.E.D. è quello di eliminare, e non semplicemente ridurre, la necessità di ricorrere agli aggiustamenti (quick changeover for operators). Generalmente, questi ultimi sono inevitabili a causa di errori di dimensionamento, di centraggio o, comunque, di inadeguatezze nel set-up interno. Quindi la loro rimozione deve cominciare a monte, con una revisione del processo di set-up interno. Un punto cruciale riguarda la completa eliminazione dei settaggi basati sull'intuito o sull'esperienza degli operatori. Infatti, tutte queste situazioni mancano della precisione necessaria per cominciare a lavorare subito e senza alcun problema.

Tre tecniche pratiche per eliminare gli aggiustamenti sono:

- Usare scale numeriche graduate e settaggi standardizzati: nei casi più semplici si possono utilizzare scale graduate visuali, blocchetti spaziatori standardizzati o gauges graduati con precisioni fino a 0.01 mm, ma per applicazioni in cui sia necessaria una estrema precisione o una maggiore velocità di rilevazione di posizioni e spostamenti si può fare ricorso ai sistemi di rilevamento numerici digitali.

- Visualizzare centri e piani di riferimento: sulle macchine i centri ed i piani di riferimento non sono visibili come sui disegni. Generalmente vengono ricercati mediante un dispendioso processo per tentativi (con una conseguente fortissima incidenza di errori di posizionamento). Ad esempio, per centrare un pezzo su una fresatrice in modo rapido e preciso, è possibile utilizzare un sistema di blocchetti opportunamente installati sulla testa della fresatrice e sulla tavola porta pezzo.

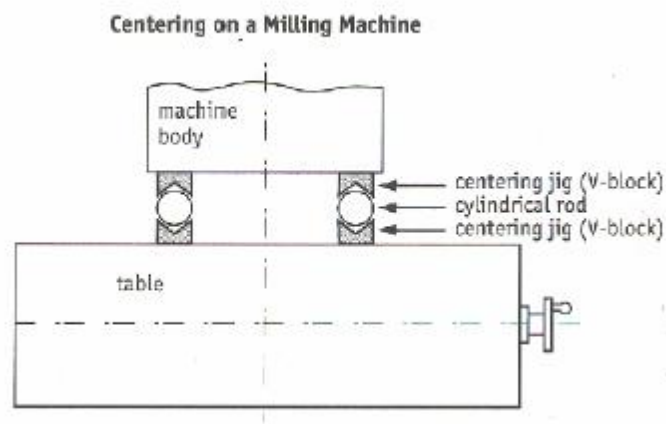


Figura 2.18: centraggio con blocchetti a V

Fonte: a quick changeover for operators: the SMED system, 1996

Come mostrato in Figura 2.18, due blocchetti a V sono fissati sulla superficie parallela alla tavola della testa della fresatrice, altri due, identici, sulla tavola porta pezzo. Due blocchetti cilindrici vengono inseriti tra i V-blocks, in modo da garantire il perfetto centraggio del pezzo rispetto alla macchina.

- Utilizzare il sistema “Least Common Multiple” (LCM): molte operazioni coinvolgono gli stessi meccanismi e si differenziano solamente per dimensioni e/o percorsi. Pertanto, è necessario eseguire un set-up ogni volta che cambiano le dimensioni dei pezzi o i percorsi che gli utensili devono seguire durante la lavorazione. Il sistema del “minimo comune multiplo” intende ridurre la necessità di aggiustamenti incorporando nelle macchine il numero di meccanismi necessario per svolgere tutte le funzioni previste.

Un ultimo, ma non meno importante, miglioramento che può essere apportato durante l'applicazione di questa fase è la creazione di sistemi visuali. Le perdite associate con la ricerca delle attrezzature e con il disordine in genere devono essere eliminate, ad esempio, utilizzando metodologie di “Visual Placement”.

2.5.5. Fase 4: documentazione del nuovo processo

Dopo aver attuato tutti i miglioramenti ideati e progettati è necessario stendere una nuova procedura che riordina cronologicamente le nuove operazioni da eseguire e istruire adeguatamente il personale sui nuovi comportamenti da tenere. Le procedure, così redatte, devono essere riportate su un foglio ciclo che dovrà essere presente a bordo macchina in modo da assicurare che le procedure vengano seguite dagli operatori. Inoltre si deve rivedere l'intero processo di set-up per poter determinare con certezza cosa funziona bene e individuare quello che invece non funziona. Dalle conclusioni tratte da queste analisi, possono essere individuati eventuali nuovi cambiamenti che il team di lavoro vorrebbe eseguire prima di passare ad una nuova analisi S.M.E.D.. Le fasi descritte, possono, nelle applicazioni, non essere eseguite nella sequenza illustrata. Capita infatti che due fasi vengano eseguite contemporaneamente o una preceda l'altra nell'ordine di applicazione. Questo avviene perché ogni caso analizzato è diverso dall'altro e quindi può accadere, ad esempio, che la stesura della procedura sia uno dei primi interventi di miglioramento oppure che la semplificazione delle attività di set-up sia compresa nella progettazione di sistemi per convertire l'attrezzamento interno in attrezzamento esterno.

2.6 Aspetti critici

Si sono evidenziati i vari passi per l'abbattimento dei tempi di set-up grazie all'adozione del metodo S.M.E.D.: va sottolineato però che essendo un approccio nuovo, basato sulla creatività e l'adozione di sistemi efficaci ma semplici, è necessario favorire alcuni aspetti determinati per la comprensione e la buona riuscita del progetto che possono essere riassunti in:

- Collaborazione e coinvolgimento: come si è anticipato è di fondamentale importanza coinvolgere gli operatori all'interno del progetto sia perché conoscono perfettamente il funzionamento delle attrezzature sia perché spesso hanno maturato soluzioni per far fronte ai problemi riscontrati, magari rudimentali ma che potrebbero essere usate come base di partenza per il miglioramento. Possono però sorgere fenomeni di riluttanza da parte degli operai più esperti che si sentono depredati della loro conoscenza maturata in anni di lavoro ora che si vedono di fronte la possibilità che (quasi) tutti possano effettuare attrezzaggi agevolmente. Ottenuto il coinvolgimento di certo non si farà attendere la partecipazione in quanto chiunque propone un'idea si darà da fare e cercherà di migliorarla pur di vederla

attuata. Quando invece le soluzioni vengono imposte dall'alto e non ci si preoccupa della loro condivisione da parte di tutti gli interessati (capireparto, operatori, manutentori, tecnici ecc) si corre il rischio che le persone cerchino di farle fallire adottando tecniche improvvisate ottenendo solamente uno spreco di risorse e opportunità (a revolution in manufacturing).

- Gradualità: i migliori risultati si ottengono con un approccio graduale, sistematico e passo-passo, stile kaizen; solo così possono avvenire i necessari cambiamenti culturali. Infatti lo S.M.E.D. é una vera e propria rivoluzione in aziende di tipo "tradizionale". Per attraversarla con serenità ed in modo indolore, é estremamente importante prevenire l'insorgere di fenomeni di riluttanza, e spesso anche di resistenza ad coinvolgere le persone chiave nell'accettazione dei nuovi metodi.

- Umiltà: spendere soldi, in un progetto S.M.E.D., é l'ultima cosa da fare (a revolution in manufacturing, 1985). Prima degli investimenti tecnologici vengono energia mentale, lavoro di gruppo, soluzioni semplici ed economiche. Tutto ciò che viene sviluppato creativamente ed é semplice, ha delle probabilità di riuscita molto superiori rispetto a sofisticate e costose soluzioni puramente tecniche. Quando saranno stati ottenuti dei buoni risultati di abbattimento dei tempi di set-up con un approccio Kaizen, solo allora sarà il momento di considerare eventuali miglioramenti ulteriori per mezzo di investimenti tecnologici. La decisione finale, ovviamente, dovrà essere "economica". Il vero costo consiste nell'utilizzo del personale del team che viene distratto, per un certo periodo, dal suo vero compito aziendale.

CAPITOLO 3

Analisi di un caso studio: riduzione dei tempi di setup nell'assemblaggio elettronico - combinazione dello S.M.E.D. e altri metodi sofisticati

Fonte: testo e immagini prese dal caso studio ¹.

3.1 Obiettivo dello studio

La descrizione di questo caso studio preso dalla letteratura americana ha come scopo essenziale quello di fungere da esempio chiarificatore dei concetti teorici appena descritti. Viene analizzata innanzitutto la struttura di un'azienda che realizza PCB, cioè schede elettroniche assemblate. Sono indicate le varie operazioni svolte dalle macchine, i setup "tradizionali", sia interni che esterni, le correzioni apportate al ciclo di lavorazione, ed infine descritti nel dettaglio i ricavi in termini di tempi e di costi che sono risultati alla fine del caso studio.

3.2 Descrizione delle operazioni di setup e produzione

Questo progetto ha portato al miglioramento della configurazione del processo di assemblaggio di una società di telecomunicazioni di San Diego che realizza processi di stampaggio dei circuiti (PCB). Questa azienda è altamente innovativa e realizza quasi ogni giorno prodotti da prototipare. Il sistema di assemblaggio del PCB è una delle varietà di prodotti più altamente realizzate in lotti medio piccoli (da 10 a 300 schede per lotto con una media di circa 100). La prototipazione e la produzione delle schede sono realizzate nella stessa struttura aziendale. Questo stabilimento è situato in un edificio di circa 100.000 metri quadrati con 500 dipendenti impiegati nella produzione. 140 dei quali sono impiegati nell'assemblaggio dei circuiti stampati insieme a oltre 10 milioni di dollari di attrezzatura.

¹ "Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and Sophisticated Methods", Roger E. Bohn, 1997, University of California at San Diego, 39 pag.

3.2.1. Panoramica di processo

Il processo di produzione delle schede è costituito da 4 step separati da buffer:

1-Montaggio della superficie di assemblaggio: vengono montati sulle schede stampate tutti gli altri componenti in un processo altamente automatizzato. Le schede tipicamente hanno diverse centinaia di componenti montati in superficie come resistenze, condensatori e circuiti integrati.

2-Assemblaggio through-hole: la maggior parte delle schede riceve un piccolo numero di componenti through-hole che vengono montati manualmente. Dopo che sono stati inseriti le schede vengono saldate "ad onda", testate e rielaborate come necessarie.

3-Sistema di assemblaggio: le schede sono assemblate in sistemi funzionanti. Ogni sistema contiene un numero diverso di schede.

4-Prova finale: siccome i sistemi sono normalmente utilizzati in ambienti esterni ed isolati i sistemi finiti ricevono numerosi test funzionali ed ambientali prima di essere spediti.

All'inizio del progetto c'erano quattro linee principali di montaggio delle schede. Vengono fatti circa venti setup alla settimana per le quattro linee di montaggio, molti dei quali su due turni al giorno per cinque giorni alla settimana. Ogni setup richiede circa due ore per ognuna delle linee. Durante questo tempo tutte le superfici di montaggio dei supporti sono inattive. Poiché tale operazione è quella considerata a più alta intensità di capitale e ha le più lunghe messe a punto, si è visto che è la chiave per risolvere il problema di riduzione dei tempi di setup. Il processo PCB inizia con la stampa delle schede attraverso pasta saldante. Dopo la quale vengono aggiunti i componenti superficiali. Su ogni linea ci sono due macchine automatiche ad alta velocità che vengono utilizzate per inserire nelle schede piccoli componenti quali resistenze, condensatori, induttori e piccoli circuiti integrati. La scheda tipica contiene 1.000 componenti di circa 100 tipi, motivo per cui la macchina che li inserisce deve essere molto veloce. Le macchine utilizzate sono le CP6 Fuji grazie la quale è possibile inserire fino a 28.000 pezzi all'ora, e 8 al secondo. Poi un'altra macchina più lenta ma più precisa posiziona i pezzi più grandi come ad esempio i pacchetti Quad e i PLCCs. Una volta che le schede vengono completate di tutti i componenti vengono ispezionati visivamente e poi convogliate in un forno di reflusso dove vengono riscaldate per la saldatura.

3.2.2. Panoramica dei setup

Un normale setup del processo di montaggio della superficie richiede la preparazione di tutte le macchine e dei trasportatori tra di loro. I trasportatori sono regolati in base alla larghezza della scheda successiva che deve essere prodotta. Gli alimentatori vengono rimossi dalla

macchina di collocamento e messi sulla scheda successiva insieme ai componenti necessari. Il forno di reflusso della saldatura viene riprogrammato con la temperatura e la durata necessarie. Di tutte queste attività di setup, la preparazione degli alimentatori e delle macchine che li collocano è quella che consuma più tempo. La loro complessiva configurazione si articola in due processi di lavoro: la creazione degli alimentatori e il caricamento di questi sulle macchine. Un terzo processo è quello di scaricare il software corretto (file di dati) per la scheda in ogni macchina. Questo software descrive l'ordine e la posizione di ogni dispositivo da collocare sulla scheda e contiene informazioni per il controllo visivo per far vedere che ogni parte sia posta nel posto giusto e con l'orientamento corretto. I setup delle macchine di posizionamento avvengono in due processi distinti che devono essere separati nel tempo da ore a giorni. Il primo processo consiste nell'installazione dell'alimentatore. Si tratta di localizzare le bobine necessarie per un ciclo di produzione e il loro caricamento su alimentatori personalizzati. Questo processo si verifica con la macchina offline ed è quindi considerato un processo esterno nella terminologia SMED. Il secondo processo è il setup di posizionamento della macchina che viene eseguito mediante computer. Nella terminologia SMED si tratta di una operazione interna. Molte ore sono state spese per osservare l'installazione dell'alimentatore e il posizionamento della macchina e per intervistare gli operatori al fine di delineare le attività eseguite in ciascun processo.

3.2.3. Setup offline

La maggior parte dei componenti a montaggio superficiale vengono confezionati in bobine. Queste bobine sembrano molto simili a bobine film. Essi sono precaricati da fornitori di componenti in due formati standard, da 7 e da 13 pollici di diametro, e larghezze di misure diverse. I componenti sono posizionati tra due pezzi di nastro adesivo e avvolti sulla bobina. Una bobina può contenere fino a 10.000 componenti, ecco perché vengono utilizzate le macchine ad alta velocità di piazzamento. Prima di poter essere utilizzate, le bobine devono essere caricate su alimentatori speciali, che sono progettati per adattarsi alle macchine "shooter". L'obiettivo del setup alimentatore è di trovare le bobine corrette per ogni lotto e montarle sul corretto alimentatore e pre-posizionarle sul loro scaffale. Il tempo necessario per tale setup non è del tutto prevedibile pertanto l'installazione dell'alimentatore viene svolta con diversi giorni di anticipo. La figura 1 illustra il flusso del processo. Nella prima operazione, l'operatore che esegue il setup crea l'elenco delle parti per il PCB che devono essere montate con dei fogli setup in base alle esigenze delle macchine. Una volta conclusa la lista l'operatore inizia fisicamente a individuare e raccogliere le bobine necessarie per l'installazione. Alcune bobine possono essere caricate sugli alimentatori mentre altre non

possono in quanto ogni bobina va montata sull'alimentatore delle corrette dimensioni. Ci sono 27 possibili configurazioni alimentatore che possono essere selezionate. Le bobine possono essere trovate in luoghi diversi: nell'inventario delle bobine, può essere già stata montata su un alimentatore nel setup alimentatore, o si può trovare su una delle quattro linee di montaggio. Una volta che la bobina è stata messa sull'alimentatore, quest'ultimo viene etichettato se necessario e messo su uno scaffale. Infine viene messa un'etichetta sull'alimentatore che ne indica il numero di componenti e il dispositivo di posizione della macchina. Questo processo di ricerca della bobina e di etichettatura continua fino a quando tutte le bobine necessarie per la messa a punto sono state trovate. I setup alimentatore possono prendere da 1 a 14 ore alla macchina. Dagli studi effettuati e dalle tempistiche ricavate dalle interviste agli operatori è stato determinato che circa il 70% del tempo di lavoro viene speso per questi setup e per le operazioni dalla 2 alla 5 che si vedono nella figura 3.1. La ricerca delle bobine porta a consumo di tempo in quanto ci sono circa 3000 bobine nello stabilimento che hanno poca ridondanza e sono distribuite su un'area di 40.000 metri quadrati. Inoltre, il numero che identifica il numero di componenti è di 14 cifre che quindi aumenta la difficoltà di ricerca delle bobine. Si possono pertanto impiegare diverse ore per la ricerca di un'unica bobina. Gli alimentatori completati vengono inseriti su un cestello mobile che conterrà tutti gli alimentatori preparati durante il setup. Le attività dalla 1 alla 8 sono eseguite per ogni bobina nel setup. Una volta terminata questa operazione offline, i cestelli (uno per macchina) sono raggruppati ed etichettati in ordine di numero. Quando arriva la data prevista di costruzione, gli operatori della linea raccolgono i pezzi dai cestelli e li portano alle rispettive macchine e a questo punto inizia il processo di setup online.

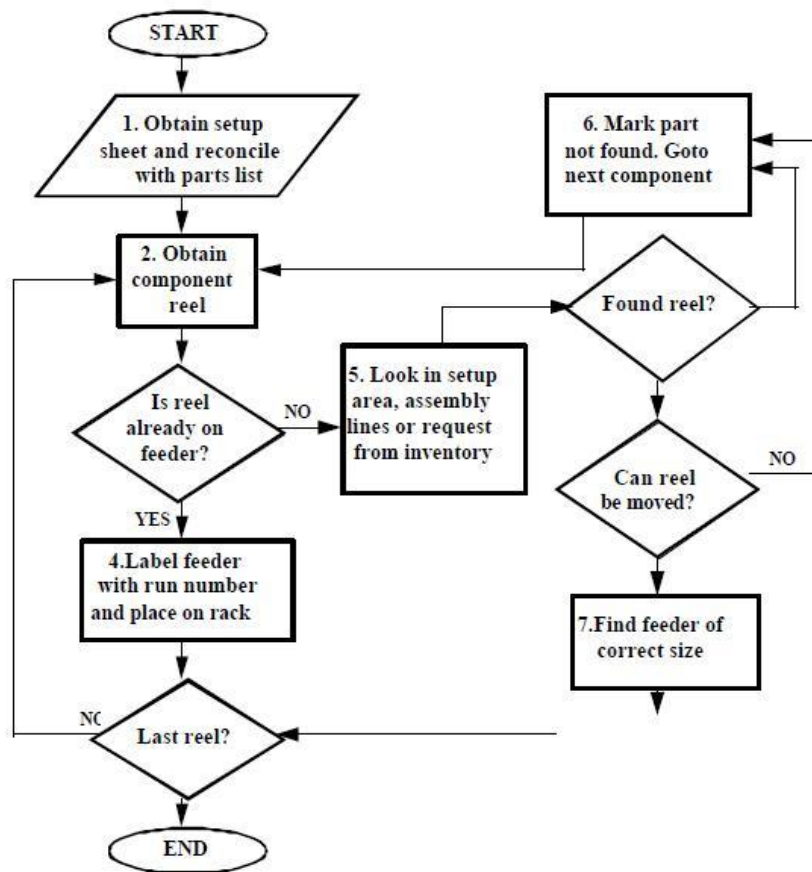
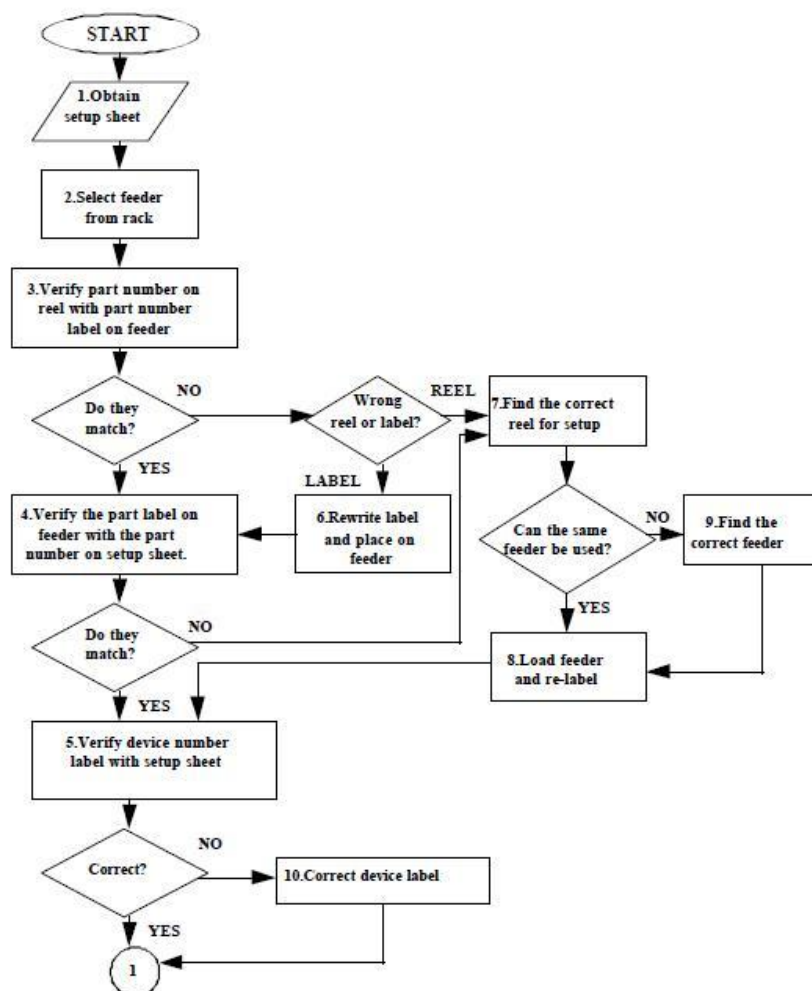


Figura 3.1: flusso del processo di setup alimentatore

3.2.4. Il setup online

I processi di posizionamento della macchina avvengono a macchina in movimento. Questo processo è svolto di solito da due o più persone che svolgono i setup per tutte e tre le macchine della linea di assemblaggio. I setup per ogni macchina vengono effettuati in parallelo quando vi è la possibilità, al fine di ridurre i tempi morti, che inizialmente variavano tra l'una e le quattro ore a setup, con una media di due ore. La figura 3.2 mostra il flusso del processo di setup dei posizionamenti della macchina. L'operatore avvia il processo dopo che li è arrivato il cestello con gli alimentatori (carichi con le bobine). Gli utensili vengono pre-posizionati prima della fine della corsa precedente della macchina come accade sempre nell'applicazione dello SMED. In questo caso era già una procedura standard anche se non era mai stata formalmente analizzata. Nelle attività dalla 2 alla 5, l'operatore seleziona l'alimentatore dal cestello e controlla che i componenti al suo interno siano quelli corretti, che la dimensione sia giusta e che il luogo del dispositivo sia quello corretto. L'operatore poi posiziona l'alimentatore nella posizione designata del dispositivo sulla macchina di collocamento (attività 12). Una volta finito con un alimentatore, l'operatore ripete questo

procedimento fino a quando tutti gli alimentatori non sono stati caricati sulla macchina. Una volta avvenuto ciò viene ricontrollato il tutto per garantire che ogni componente sia stato messo nella posizione corretta sulla macchina (attività 13). Questo compito è stato chiamato verifica di setup e consumava circa il 50% del tempo totale di setup della macchina di collocamento. Generalmente il sistema buddy è stato impiegato in questo compito. Cioè c'è un operatore che legge il numero e la posizione del dispositivo da una parte, mentre l'altro verifica i numeri con il foglio di installazione. Per una configurazione di 50 alimentatori questo compito ha richiesto circa 30 minuti. La verifica di setup viene eseguita per assicurarsi che la configurazione sia corretta, poiché gli errori sono costosi. Se il componente si trova nel posto sbagliato e il sistema di visualizzazione della macchina non rileva l'errore, sulle schede verranno messe le parti sbagliate. Di solito, errori di questa natura non vengono scoperti fino a che non vengono testati, che si traduce in un bisogno di rielaborare tutte le schede del lotto e quindi in una onerosa perdita di tempo. Proprio per questo è stato speso molto tempo per la verifica e la ri-verifica dei componenti prima che inizi la produzione.



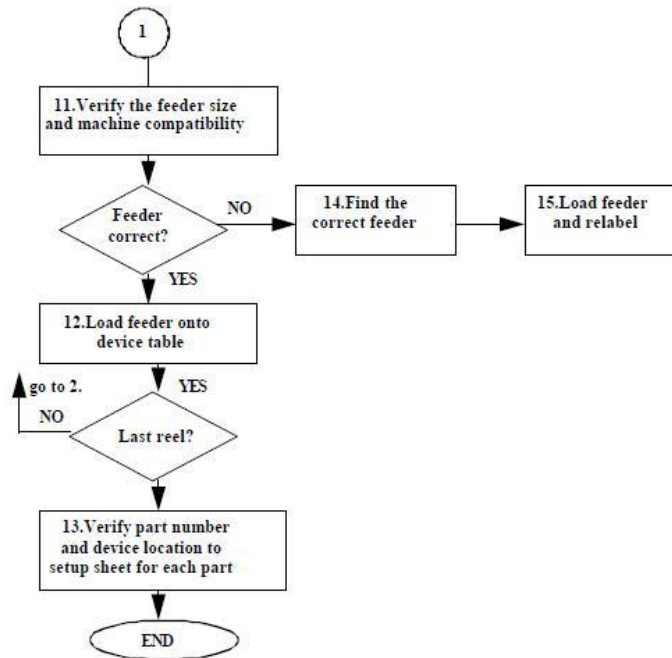


Figura 3.2: flusso del processo di setup della macchina di posizionamento

3.3 Applicazione dello SMED al setup di assemblaggio PCB

In questa ricerca, i concetti del metodo SMED sono stati applicati alle configurazioni della macchina di posizionamento con promettenti risultati. La prima fase di riduzione del setup è stato quello di applicare i concetti SMED al processo. Figura 3.2 illustra il processo di setup della macchina. La prima fase del metodo SMED è quello di classificare ogni attività di setup come interna o esterna. L'esame dei compiti 3-5-11 in figura 3.2, riguardano tutti la verifica delle informazioni e nessuno richiede interazione con la macchina. Questi compiti possono pertanto essere effettuati con la macchina di posizionamento offline e devono essere trattati come attività esterne. Inoltre, la maggior parte di questi compiti erano già stati eseguiti durante il processo di setup alimentatore esterno. Richiedere all'operatore della macchina di ri-verificare era una duplicazione degli sforzi. Tali compiti sono stati quindi rimossi dal processo di setup di posizionamento e spostato a monte del processo di setup alimentatore esterno. Trasferendo questo compito viene anche spostato l'errore associato e passato a una manipolazione offline. Gli altri compiti sono per loro natura operazioni interne in quanto la macchina deve essere fermata mentre vengono eseguite. Il caricamento dell'alimentatore sulla scheda e il posizionamento del dispositivo di bloccaggio (compito 12) è un'operazione interna. La verifica che la configurazione sia quella corretta una volta che tutti gli alimentatori sono stati caricati sulle schede è una operazione interna, poiché comporta la verifica dei

componenti, come sono effettivamente collocati sulla macchina. La figura 3.3 mostra il nuovo processo interno. Questo processo rappresenta una riduzione del 50% dei compiti svolti online dalla macchina, supponendo che non ci siano errori altrimenti è ancora maggiore in quanto la gestione degli errori ora è offline.

La seconda fase del processo SMED è quello di razionalizzare le attività interne che sono rimaste. Una volta che tutte le azioni esterne sono state spostate offline solo quattro compiti sono rimasti interni. Questi sono: creare il foglio di installazione, selezionare un alimentatore da un cestello, caricare l'alimentatore sulla scheda e verificare che sia posizionato nella posizione corretta. Dato che tali compiti erano già stati fatti in una maniera sufficientemente efficiente non erano necessari ulteriori miglioramenti. Delle quattro attività interne rimaste, il compito che prendeva la maggior parte del tempo era la verifica. Questa attività (Figura 3.2 compito 13 e Figura 3.3 compito 4) imponeva la verifica di tutti gli alimentatori e dei loro componenti per il foglio di setup. Per questo compito l'operatore (e a volte due operatori) verificavano il numero di componenti per ogni posizione del dispositivo sul foglio di setup. Questo portava via molto tempo e causava errori a causa della lunghezza del numero di parte (14 cifre) e per il gran numero da verificare. Di conseguenza, questo compito è stato al centro di un'ulteriore riduzione del tempo di setup. Ciò è stato fatto creando un nuovo sistema per la gestione degli alimentatori. Il nuovo sistema ha anche notevoli vantaggi per il setup esterno.

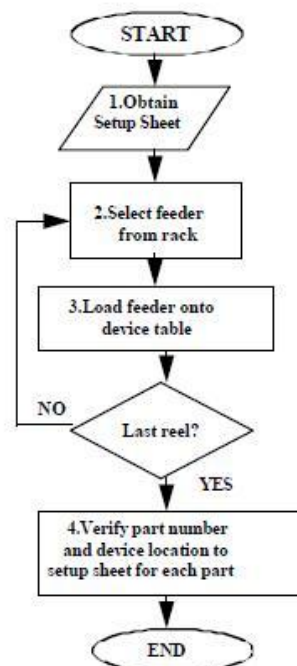


Figura 3.3: nuovo processo con modifiche setup online

3.3.1. Hot swapping

Il limite ideale dello SMED è quello di avere setup istantanei ovviamente. In alcuni casi, i nuovi metodi arrivano molto vicino a tale ideale attraverso l' "hot swapping". Il concetto di sostituzione a caldo si avvale del design della Fuji CP6 ad alta velocità di posizionamento. Ogni macchina CP6 ha due dispositivi "table", ognuno dei quali possiede 70 alimentatori, in modo tale da consentire di realizzare anche le schede più complesse. Dal momento che ci sono due CP6 per linea, questo porta ad avere a disposizione un massimo di 280 alimentatori diversi per scheda. Tuttavia, molti disegni PCB richiedono 140 o meno componenti. Per questi prodotti, gli ingegneri di processo che programmano le macchine possono riprogrammare la posizione dell'alimentatore per lasciare un dispositivo completamente vuoto. Le CP6 sono progettate in modo tale che se un dispositivo table non viene utilizzato, l'operatore può tranquillamente configurarlo anche se la macchina è in funzione. In questo modo si può eseguire completamente il setup del lavoro successivo su un dispositivo mentre il lavoro corrente è in esecuzione su un altro dispositivo table. Ciò permette di eseguire il setup di collocamento online. Quando il vecchio lavoro è completato, il table e l'altro posto di lavoro viene scambiato "a caldo" dal software, senza nessun intervento fisico.

Ci sono una serie di caratteristiche che rendono questa tecnica non utilizzabile per tutte le schede:

- Il prodotto in esecuzione deve avere meno di 140 componenti per le macchine CP6
- I due prodotti devono essere stati programmati da ingegneri di processo per avere tutti gli alimentatori su un singolo table
- La tiratura del primo lavoro deve essere sufficientemente lunga per completare il setup del table successivo

3.3.2. Sistema di gestione alimentatori (feeder management system)

La gestione dei vari alimentatori e delle bobine che veniva utilizzato era time-consuming ed era spesso soggetto ad errori, il nuovo impianto ha sviluppato un sistema personalizzato per la gestione delle informazioni che ha permesso di migliorarlo. Il nuovo feeder management system utilizza un computer con un sistema simile a quello utilizzato dalla tecnologia dei codici a barre con l'utilizzo di terminal portatili senza fili e computer per gestire le informazioni sugli alimentatori.

Gli obiettivi del Feeder management system sono:

- ridurre i tempi di configurazione online e offline
- ridurre il tempo necessario per individuare fisicamente le bobine
- ridurre il tempo necessario per individuare fisicamente gli alimentatori
- automatizzare le attività di verifica per la riduzione degli errori
- fornire informazioni tecniche sugli alimentatori
- fornire le etichette per gli alimentatori con la presenza delle informazioni sulla dimensione e sul tipo di macchina per ridurre gli errori di selezione dell'alimentatore

Per esempio, esiste una opzione "individua parti" che permette ad un operatore di trovare una bobina inserendo semplicemente il numero di parte del componente e il software restituisce la posizione della bobina nell'azienda. In precedenza, l'attività di individuazione parti richiedeva all'operatore di andare fisicamente per l'azienda a cercare tale bobina.

Il sistema informativo è progettato in maniera modulare. Ogni strumento del software corrisponde ad un compito che l'operatore svolgeva fisicamente prima dell'implementazione del sistema. Tale modularità è vantaggiosa in quanto permette agli operatori di capire concettualmente quello che lo strumento dovrebbe eseguire in quanto corrisponde ad una attività che loro sapevano già fare manualmente.

L'ultimo obiettivo, cioè quello di etichettare, è l'unico che non ha richiesto un sistema informatico. Esso utilizza etichette colorate in modo univoco per identificare le dimensioni e il tipo di alimentatore. I fogli setup contengono anche le informazioni sul colore dell'etichetta da applicare su ogni alimentatore ed ogni bobina.

3.3.3. Architettura del sistema

Figura 3.4 illustra il progetto di base del sistema. Ci sono due piattaforme: la radiofrequenza (RF), terminali portatili che supportano UNIX tramite una sessione Telnet e pc che utilizzano Windows. Personale adibito ai setup che utilizzano questi computer per le configurazioni online e offline.

Il personale che si occupa dei setup offline utilizza il Feeder management system caricato su un pc per eseguire le configurazioni alimentatore. Il personale che si occupa dei setup online utilizza i terminali wireless.

Ad esempio volendo spiegare una delle procedure che possono avvenire: il setup di verifica che controlla che le corrette bobine e alimentatori siano caricate nei corretti slot sul table. In precedenza questo veniva fatto manualmente controllando tutti i componenti caricati mediante il foglio di installazione. Col nuovo sistema si fa tramite i terminali wireless che utilizzano lettori di codici a barre. Vengono letti i codici ID di ogni alimentatore in sequenza. Il software sui pc controlla automaticamente l'ID dell'alimentatore per determinare se si trova

sul giusto componente mediante la verifica sulla lista di collocamento. Se c'è una discrepanza, il sistema fornisce informazioni correttive.

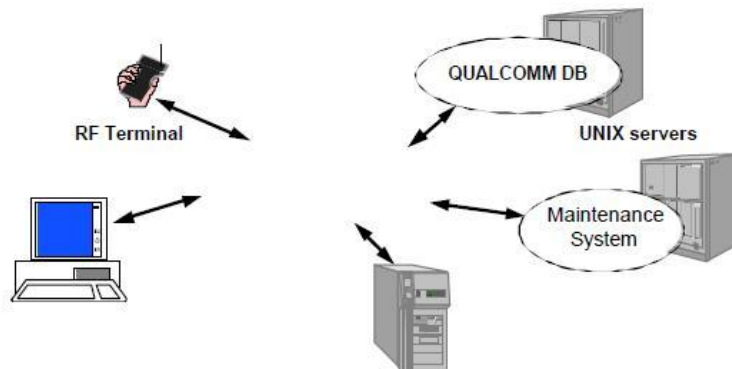


Figura 3.4: architettura del sistema

3.4 Risultati

Cambiamenti generali di setup includono:

- Cambiamenti SMED, tra cui hot swapping
- Feeder management system computerizzata
- Aggiunta di un terzo gestore per più linee e turni.

Le modifiche possono interagire. Ad esempio, il terzo di tali punti ha meno effetto sui tempi di setup, quando viene ridotto utilizzando altri metodi. Gli effetti di queste modifiche rientrano in quattro categorie. Il valore e la grandezza economica di alcuni di questi effetti sono difficili da misurare, ma sono tutti potenzialmente significativi. Essi portano a:

- Riduzione dei tempi di inattività
- Riduzione dei contenuti del lavoro e riduzione del tempo trascorso per i setup sia online che offline.

Questo riduce il costo del lavoro e aumenta la flessibilità di produzione:

- Riduzione degli errori dovuti a componenti non corretti che richiede quindi meno tempo di rilavorazione. Si può ritenere che l'incidenza di questi problemi sia sceso grazie all'utilizzo del feeder management system
- Vantaggi vari.

3.4.1. Miglioramenti statistici dei tempi nei setup della macchina di collocamento

Gli operatori e uno degli autori di tale ricerca hanno condotto degli studi sul tempo di setup delle macchine di collocamento ad alta velocità. La configurazione mediante un unico operatore è mediamente di 31 minuti con una deviazione standard di 8 minuti per i nuovi metodi. In confronto, erano state misurate nove diverse configurazioni prima che venisse fatto qualsiasi cambiamento e venivano impiegati mediamente 78 minuti, con una deviazione standard di 33 minuti. In tabella 3.1 viene mostrato il confronto più precisamente mediante l'utilizzo di una regressione intorno al 5%. La regressione mostra non solo che i tempi totali sono diversi, ma anche che il nuovo metodo elimina in gran parte la dipendenza dalle dimensioni del setup. Il tempo per ogni alimentatore scende di quasi un ordine di grandezza. Presumibilmente questo è dovuto all'alta velocità con cui i codici a barre vengono letti per la verifica finale. La variabilità è inferiore in quanto vi è un numero molto più piccolo di problemi che devono essere corretti dagli operatori mentre la macchina è ferma.

Setup time in minutes (new method)	=	18	+	.18 x number of feeders
(standard errors)		(4.1)		(.07)
Adjusted R ²	=	.48		Standard error of residuals = 2.7 minutes
Estimated time for 50 feeder setup = 27 minutes				
Setup time in minutes (old method)	=	45	+	1.67 x number of feeders
(standard errors)		(15)		(.61)
Adjusted R ²	=	.45		Standard error of residuals = 24 minutes
Estimated time for 50 feeder setup = 128 minutes				

Tabella 3.1: nuovi e vecchi tempi setup. Risultati della regressione

3.4.2. Miglioramento economico per i setup più veloci

Il più grande impatto finanziario dovuto ai nuovi metodi di setup è dato dalla riduzione dei tempi di inattività per le linee di produzione. L'impianto andava con una velocità di circa 1150

setup per anno con varietà di prodotto e prototipazione aumentata. I tempi di inattività sono di circa 700 dollari l'ora e sono dovuti ai costi dell'operatore e dei beni strumentali. Il fermo attuale della linea per ogni setup dipende dal livello del personale che si occupa dei setup e dalla frequenza ed efficacia degli hot swapping. Si possono costruire diversi scenari per stimare il costo di fermo prima e dopo il nuovo sistema. Con il setup tradizionale, una sola macchina con 50 alimentatori necessitava di una media di 128 minuti. Con 2 operatori che settavano 3 macchine questo significava la linea ferma per 3,2 ore. Un'altra mezz'ora circa era necessaria per le attività "non-feeder" di installazione, tra cui scaricare i software, la stampa-schermo della macchina e per i nastri trasportatori, per un totale di 3,7 ore. Questo dà un totale di 4255 ore di fermo macchina all'anno con un valore economico di 3 milioni di dollari.

Il tempo effettivamente speso per i setup è stato comunque superiore alla stima delle 3.7 ore per interruzioni durante i setup, a causa di problemi come ad esempio parti mancanti o non corrette, attesa di setup offline, difficoltà della macchina, ecc. Ad esempio una bobina di alimentazione che rimane senza parti durante l'andamento della macchina potrebbe richiedere un'ora per cercarne una nuova e sostituirla.

Con il nuovo sistema, supponendo per ora che la hot swapping non venga utilizzata, si hanno 3 operatori per linea, uno per ogni macchina di posizionamento e tutte e tre le macchine possono essere settate in parallelo. Il più lento dei 3 setup avviene in media intorno ai 30 minuti mentre le attività "non-feeder" possono essere fatte più velocemente con il nuovo sistema, grazie anche al terzo operatore, approssimativamente in 20 minuti. Il tempo totale è quindi di 50 minuti per ogni installazione, cioè 960 ore all'anno, con un valore economico di 670.000 dollari. Si tratta di una riduzione del 78% e quindi un miglioramento di quasi 5 volte.

Case	Setup time per machine (min.)	Elapsed Setup time, 3 machines	Elapsed time, whole line	Hours/yr. for 1150 setups	Cost of time (\$000 /yr.)	Reduction (percent of base)
Base case	128	192 min.	222 min.	4200 hrs.	\$2,980	----
3 operators; new system; no hot swapping	27	30	50	960	\$670	78%
3 operators; new system; 80% of setups are hot swapped		25 when hot swapped	34 = weighted average	652	\$456	85%

Figura 3.2: miglioramenti economici apportati dai nuovi setup

L'hot swapping per le macchine ad alta velocità può essere utilizzato in circa l'80% dei setup. In questi casi solo i "fine-pitch" del posizionamento della macchina devono essere configurati offline. Ciò permette di impiegarci circa 25 minuti. Nel frattempo gli altri due operatori possono fare le altre attività "non-feeder" rimanenti, in modo che la durata totale sia di circa 30 minuti. Facendo una media ponderata di 30 e 50 minuti per setup dà una media di 34 minuti per configurazione, per un totale di tempo di inattività di 652 ore all'anno, con un valore economico di 456.000 dollari. Questo miglioramento è di 7 volte rispetto al caso tradizionale. Utilizzando due operatori anziché tre si dovrebbe aggiungere circa dieci minuti. Il vantaggio principale dovuto al terzo operatore è dovuto al fatto che si può rispondere più velocemente a problemi durante l'andamento della macchina.

3.4.3. Risparmio di lavoro

Oltre a ridurre i tempi di inattività della linea per i setup, i nuovi metodi cambiano sostanzialmente le attività di setup. Un cambiamento importante è la velocizzazione dei setup offline da parte degli operatori che utilizzano una distinta base per prendere la corretta bobina e il corretto alimentatore per un lavoro e le mettono in uno scaffale prima del setup. Gli studi di benchmark stimavano 4.2 ore di lavoro prima dei cambiamenti. Circa il 70 per cento di questo tempo era stato speso alla ricerca dei pezzi. Si stima una riduzione del 40 per cento nel tempo di ricerca delle parti da utilizzare grazie al feeder-management system. Questo è dovuto principalmente al fatto che il nuovo sistema individua con precisione il 95% delle volte la localizzazione esatta dei componenti nella fabbrica. Così il risparmio è di circa 1350 ore di lavoro all'anno. Oltre agli operatori addetti ai setup offline, l'impianto prevede anche 25 coordinatori di materiali. Anch'essi utilizzando il nuovo sistema rendono il loro lavoro più facile. Un quarto del loro tempo infatti, era destinato alla ricerca di parti, col feeder-management system si è ottenuto una riduzione del 20 per cento nella loro efficacia con un risparmio complessivo di ulteriori 10.000 ore di lavoro all'anno. In tabella 3.3 si possono riassumere i vantaggi economici del nuovo sistema di setup.

	Old system	New system	% Change	\$ savings/yr. with 1150 setups/yr.
Setup Downtime, elapsed hours/setup	3.7 hours	0.56 hours	-85%	\$2,500,000
Off-line setup time, labor hrs./setup	4.2 hours	3.0 hours	-28%	\$54,000
Material handlers	25	24 (equiv.)	-20%	\$400,000
Line operators per line	2	3	+50%	-\$380,000
Total benefit per year				\$2,600,000

Tabella 3.3: Benefici economici

La tabella considera come costo all'ora per i tempi di inattività della linea pari a 700 dollari e di 40 \$ all'ora per gli operatori inclusa la supervisione, ecc. Chiaramente il grande cambiamento è dovuto alla riduzione dei tempi di inattività della linea di 3900 ore all'anno per tutto l'impianto, ciò è equivalente ad avere una quinta linea.

3.4.4. Costi di sviluppo

Questi miglioramenti nei setup sono stati sviluppati nel corso di più di un anno. I costi stimati sono di circa 350.000 \$. Questi si ripartiscono come segue: hardware, tra cui nove terminali wireless 45.000 \$, capo ingegnere 100.000 \$, altri ingegneri, programmatori e consulenti che lavorano part-time 200.000 \$. Si hanno prestazioni di 2,6 milioni di dollari l'anno con costi di 350.000 \$, il tempo di ammortamento è di 0,13 anni. Utilizzando uno sconto del 20% a altre assunzioni necessarie, questi numeri danno un valore attuale netto di 3,2 milioni di dollari, o nove volte l'investimento iniziale. Questo è approssimativamente, il costo di acquisto di una linea di assemblaggio supplementare.

3.4.5. Problemi di implementazione

Ci furono una serie di problemi di implementazione durante lo sviluppo del sistema in azienda. In primo luogo, un certo numero di operatori non avevano familiarità con la piattaforma di personal computer e doveva essere addestrato sui principi fondamentali di Windows prima di imparare ad utilizzare il sistema vero e proprio. In secondo luogo, era necessario informare gli operatori sui progressi del sistema per mantenere vivi gli sforzi e l'entusiasmo da parte loro verso il nuovo sistema. A tal proposito tutti gli operatori, coloro che erano coinvolti nel progetto ma anche gli altri venivano costantemente aggiornati sui

progressi e i benefici attesi dal sistema. Più tardi è stata data una dimostrazione del prototipo del sistema. Infine il sistema doveva essere implementato in modo da non interrompere la produzione. Questo ha richiesto un abile coordinamento tra progettisti, pianificatori e supervisori.

3.5 Conclusioni

Nella terminologia Ohno per quanto riguarda il setup "single minute exchange of dies" ci si riferisce ad un setup in un single digit, cioè in un tempo inferiore ai dieci minuti. Dal momento che tipicamente si lavora con presse di stampaggio con setup a multi-ora, questo è un risultato importante. L'approccio per la riduzione dei setup descritto qui è iniziato con una re-ingegnerizzazione dello SMED tradizionale. Applicando i principi dello SMED a macchine pick and place per il posizionamento di chip, siamo stati in grado di ridurre i tempi di setup, eliminando tutte le attività che si potevano fare offline. Il compito principale di verifica degli alimentatori che deve essere fatto su un tavolo era gravoso in termini di tempo e di errori. Quindi è stato costruito un sistema informatico, il feeder management system che ha permesso la gestione informatizzata delle informazioni sugli alimentatori. Per la velocità e la convenienza per l'operatore è stata implementata una serie di strumenti informatici come ad esempio lettori barcode e terminali wireless. L'effetto netto di questi cambiamenti è stato quello di ridurre i tempi di setup per alimentatore da 1,7 minuti a 0,18 (11 secondi). Il tempo totale per fare un setup standard di 50 alimentatori è di 30 minuti. Si stima un miglioramento medio totale per il setup della linea di circa l'84%, cioè da 3,7 ore a mano di 0,6 ore. Dal calcolo dei costi e benefici si stima un VAN (valore attuale netto) di 9 a 1 e un periodo di ammortamento (payback period) di meno di due mesi. È utile confrontare i nostri risultati con altri per migliorare i tempi di setup, ma la pubblicazione di dati è piuttosto scarsa. Aguayo e Tran (1994) riportano "30 secondi per alimentatore" per i setup avvenuti dopo l'implementazione del loro sistema di verifica. Jain et al. (1996) riportano 5 minuti per alimentatore, sui setup di macchine di collocamento di chip. L'implementazione del loro metodo gli ha dato una riduzione del 70-80 per cento nei tempi di setup della macchina posiziona chip, ma con qualche aumento di run time. Un'altra implementazione ha dato una riduzione teorica del 53 per cento e una documentata riduzione del 31 per cento dei tempi di setup. Nessuno di questi autori discutono però sul tempo per settare tutta la linea, né il valore economico. Questo progetto dimostra l'applicabilità dell'approccio SMED ben oltre ai settori dove si è sviluppato. La sua intuizione fondamentale di separazione di attività interne ed esterne ha dimostrato il suo valore. Un'altra intuizione è che i metodi semplici sono di solito sufficienti per ottenere ottimi risultati, e dove è possibile sono state usate tecniche di

“senso comune”, come l’utilizzo del colore per la codifica dei diversi alimentatori e bobine. Tuttavia l’azienda dispone di 4500 bobine diverse e 3000 codici diversi. Gli operatori non potevano tenere traccia di un così grande numero di articoli in modo efficace con metodi tradizionali, perciò è stato necessario aggiungere un sistema informatico fatto ad hoc per tenere traccia delle bobine e degli alimentatori. I semplici metodi apportati dallo SMED uniti insieme ai metodi più sofisticati apportati dai computer e dalle varie tecnologie si sono integrati perfettamente ed hanno portato a risultati che non sarebbero stati conseguiti altrimenti.

CAPITOLO 4

Conclusioni

Il lavoro svolto in questa tesina ha avuto come obiettivo quello di andare ad analizzare il metodo Single Minute Exchange of Dies applicato alla lean production (produzione snella). È stata fatta una breve introduzione nella quale sono state descritte alcune tra le tecniche principali che riguardano la produzione snella, tra cui la Value Stream Mapping o flusso di valore, ossia l'insieme di tutte le azioni richieste normalmente per portare un prodotto attraverso i due flussi principali: il flusso di produzione dalla materia prima fino al cliente e il flusso della progettazione dal concetto del prodotto fino al lancio dello stesso. È stato fatto notare che tali azioni possono avere una rappresentazione grafica chiamata per l'appunto Value Stream Map. Sono state poi introdotte le 5S, intese come metodo necessario per mettere in ordine il posto di lavoro e costituite da cinque parole derivanti dal giapponese la cui traduzione in italiano è riconducibile a: separare, ordinare, pulire, standardizzare, rispettare. Terza tecnica analizzata è la Total Productive Maintenance, cioè un approccio alla manutenzione messo a punto per minimizzare le fermate indesiderate degli impianti e massimizzare il loro impiego. È una filosofia di miglioramento continuo e di lavoro in team, finalizzata al coinvolgimento della totalità degli operatori, dei manutentori e dei supervisori in modo tale che essi stessi possano esercitare un diretto controllo sul funzionamento dei loro macchinari. La quarta tecnica introdotta è la Quality Function Deployment, una metodologia utile per lo sviluppo dei nuovi prodotti, capace di assicurare la qualità a partire dalla fase di progettazione. Il cuore di tale strumento è la "Casa della Qualità", cioè una serie di tabelle che costituiscono un ottimo strumento di integrazione delle informazioni. Successivamente si è parlato del sistema Kanban per la gestione della produzione in automatico. Esso consiste in un cartellino recante una serie di informazioni che circola periodicamente tra fornitore e cliente fornendo a entrambi le notizie necessarie per la gestione quotidiana dei materiali in produzione. Infine si è parlato della metodologia S.M.E.D., sviluppato dalla Toyota, con la collaborazione di Shigeo Shingo, utile per ridurre drasticamente i tempi di setup macchina fino a portarli ad una durata inferiore ai dieci minuti. Tra queste tecniche facenti parte della produzione snella, è stata selezionata quest'ultima nel secondo capitolo ed è stata descritta in modo completo. Sono stati definiti gli 8 pilastri fondamentali del sistema ossia: la separazione dei vari setup in due tipologie, i setup interni (IED) che avvengono a macchina

ferma, e i setup esterni (OED) effettuati con macchina in movimento. L'inversione dell'IED con l'OED in modo tale da portare i setup a macchina ferma al numero più piccolo possibile. Queste due tecniche da sole costituiscono la parte più importante del sistema SMED, ma esistono altri utili accorgimenti quali la standardizzazione funzionale, l'adozione dei morsetti funzionali, l'utilizzo di dime di montaggio, la realizzazione di operazioni in parallelo, l'eliminazione degli aggiustamenti e la meccanizzazione, tutte estremamente utili per il raggiungimento dell'obiettivo prefissato dal sistema. Tenendo sempre presente l'utile necessità di dover costantemente tenere impegnati e informati tutti gli operatori facenti parte al progetto, motivandoli e continuando iterativamente a eseguire miglioramenti al processo.

La metodologia SMED è inoltre composta da 5 fasi progressive che si sviluppano in modo da intervenire dapprima in modo generale sui maggiori sprechi per poi addentrarsi in modo chirurgico su particolari specifici e man mano che si procede nello sviluppo delle fasi aumenta la complessità di attuazione mentre diminuisce l'efficacia in termini percentuali.

Esse sono: la fase preliminare (organizzare, osservare, registrare). Avviene prima dell'applicazione delle tecniche dello SMED ed è fondamentale in quanto permette al team di definire un progetto chiaro sul quale andare a lavorare, definire i motivi e i risultati attesi del lavoro. Il gruppo di lavoro adibito a ciò è in genere costituito da quadri dirigenti, capi e gente con esperienza. La prima fase riguarda la distinzione di ciò che deve effettivamente essere effettuato a macchina ferma (attrezzaggio interno) e ciò che può essere eseguito a macchina in funzione (attrezzaggio esterno). È necessario domandarsi se ciò che viene effettuato a macchina ferma non può essere fatto, attraverso qualche semplice accorgimento, anche a macchina in movimento. La seconda fase riguarda la conversione vera e propria da attrezzaggio interno ad esterno e ciò avviene analizzando la funzione di ogni singola attività nel setup interno attuale e tramite la conversione delle attività interne in esterne. La terza fase consiste nella semplificazione delle operazioni di setup. È necessario analizzare ancora una volta le operazioni eseguite con i nuovi metodi e valutare se possono essere apportati ulteriori miglioramenti. Qui possono essere eseguite tutte quelle operazioni teorizzate negli 8 pilastri precedenti. Si potrà pertanto adottare soluzioni che tengono conto dell'utilizzo di morsetti funzionali piuttosto che di dime di montaggio o semplificazione delle operazioni mediante dadi e bulloni con fresature alterne, rosette a U, asole a forma di pera, ecc. Infine è necessario documentare il nuovo processo, descrivendo tutti i miglioramenti attuati riportando le varie procedure eseguite cronologicamente su un foglio di ciclo che dovrà essere presente a bordo macchina per assicurare che le procedure vengano eseguite dagli operatori.

Come conclusione della tesina viene presentato un caso studio che riguarda la riduzione dei tempi di setup all'interno di un'azienda americana di assemblaggio di schede elettroniche. Esso rappresenta un ottimo esempio di come possono essere applicate le tecniche esposte sopra, fin'ora solo teoricamente, e portano alla fine dell'analisi dei risultati quantificabili in termini economici. Viene inizialmente esposta la configurazione tradizionale dell'azienda, come avviene il processo di produzione e l'assemblaggio dei componenti, e soprattutto vengono descritti nel dettaglio i vari setup. Successivamente, seguendo passo passo gli 8 cardini e le 5 fasi dello SMED, viene discussa la separazione all'interno dell'azienda in setup offline e online e ne viene indicato il tempo speso per ogni setup "tradizionale". Nella parte centrale del caso studio vengono descritti i miglioramenti veri e propri attuati al processo ed ai setup con l'aggiunta della descrizione delle attrezzature tecnologiche implementate a supporto dello SMED. Infine vengono esposti i risultati con i vari miglioramenti economici ed in termini di tempo e sono messi a confronto con altri casi presenti in letteratura

Bibliografia

Galgano, Le tre rivoluzioni, seconda appendice “le principali tecniche della produzione snella”, pp. 333-377, Gruppo Galgano e associati, 2002.

Shigeo Shingo, Il sistema di produzione Toyota dal punto di vista dell'industrial engineering (edizione italiana), capitolo 3 “miglioramento dell'operazione”, pp. 110-132, Franco Angeli, 1985.

The productivity press development team, Quick changeover for operators: the SMED system, chapter 3 “Getting ready for SMED”, pp. 27-28, chapter 4 “Stage 1: Separating internal and external setup”, pp. 31-37, chapter 5 “Stage 2: converting internal setup to external setup”, pp. 41-49, chapter 6 “Stage 3: streamlining all aspects of the setup operation”, pp. 53-68, Productivity inc., 1996.

Shigeo Shingo, A revolution in manufacturing: the SMED system, Productivity press, 1985.

E. Bohn, “Setup Time Reduction for Electronics Assembly: Combining Simple (SMED) and Sophisticated Methods”, The Information Storage Industry Center, University of California, San Diego

Link: www.leanmanufacturing.it, www.lean-manufacturing.it

Libri consultati:

W.Claunch, Set-up time reduction (shorter lead times, lower inventories, on-time delivery, agility, 1996;

Graziadei, Lean Manufacturing. Come analizzare il flusso del valore per individuare ed eliminare gli sprechi (con due casi aziendali: Ducati motors e Stark, 1996;

John Nicholas, Competitive manufacturing management: continuous improvement, lean production and customer-focused quality, 1998.

Casi studio consultati:

N. Shah, Speeding Changeover in Pharmaceutical Packaging, 2004;

Cakmakci, Process improvement: performance analysis of the set-up time reduction-SMED in the automobile industry, 2009, Int J Adv Manuf Technol 41:168–179.