

# UNIVERSITÀ DI PISA



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI, DEL TERRITORIO E  
DELLE COSTRUZIONI

RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA GESTIONALE

## *Analisi e ottimizzazione dei cambi produzione di una linea mixed model: il caso Vitesco Technologies Italy*

---

**Relatori:**

Prof. Ing. Gino Dini

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale*

Daniele Costanzo

*Vitesco Technologies Italy s.r.l.*

**Candidato:**

Pardini Matteo

*matteo.pardini8@gmail.com*

Appello di laurea del 29/04/2020

Anno Accademico 2018/2019

## Sommario

Il seguente lavoro di tesi è stato frutto di un tirocinio della durata di 6 mesi presso lo stabilimento di Fauglia (PI) di Vitesco Technologies, azienda il cui core business è la produzione di elettroiniettori ad alta e bassa pressione. Lo scopo di questo elaborato è l'implementazione della metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*) per la riduzione dei tempi di cambio produzione su una linea mixed model. Il lavoro inizialmente si è concentrato su un'analisi dettagliata della situazione di partenza per poter avere piena comprensione del processo, individuando, attraverso l'OEE (*Overall Equipment Efficiency*), le cause di inefficienza valutando quale attaccare durante la prima iterazione della metodologia. Analizzando i risultati ottenuti sono state riscontrate inefficienze prima nascoste, per le quali si è effettuata una seconda iterazione operando prettamente su aspetti tecnici. Infine è stata fatta una valutazione dei costi risparmiati. A completamento del lavoro sono state eseguite attività di formazione del personale riguardante i cambiamenti implementati, in un'ottica di sostenibilità grazie alla creazione di istruzioni di lavoro.

## Abstract

The following thesis work has been developed during a 6 months internship activities carried out at the Fauglia plant (PI) of Vitesco Technologies, a company whose core business is the production of high and low pressure injectors. The aim of this elaboration is the implementation of the SMED (*Single Minute Exchange of Die*) methodology for reducing production change times on a mixed model line. The work initially focused on a detailed analysis of the as is situation in order to have a full understanding of the process. After a deployment of the OEE (*Overall Equipment Efficiency*), the causes of inefficiency have been identified evaluating which attack during the first iteration of the methodology. Analyzing the results obtained other inefficiencies have been found for which a second iteration has been carried out working mainly on technical aspects. Finally, an assessment was made of the costs saved. To complete the work, staff training activities were carried out regarding the changes implemented, with a view to sustainability thanks to the creation of work instructions.

---

## 1 Vitesco Technologies

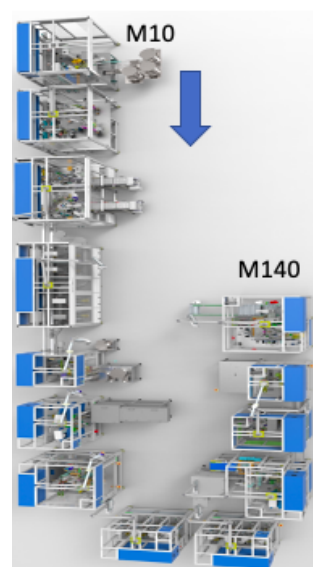
Vitesco Technologies (fino all'autunno 2019 Continental Powertrain), con sede a Regensburg, è un fornitore tedesco di tecnologie per l'industria automobilistica. L'azienda sviluppa soluzioni per i sistemi di trazione elettrica e per i motori a combustione interna e vanta circa 50 stabilimenti sparsi per il globo: quello di Fauglia (PI) opera nel settore dell'iniezione a benzina, progettando, producendo e commercializzando diverse tipologie di elettroiniettori e fuel rail per le principali case automobilistiche del mondo.

## 2 La produzione

L'elettroiniettore è un'elettrovalvola la cui apertura è comandata da un impulso elettrico inviato da un'unità di controllo, la quale decide il tempo di iniezione, ovvero il tempo per il quale l'iniettore deve rimanere aperto e quindi, il carburante da immettere. L'iniettore viene assemblato internamente all'azienda grazie alle diverse linee di assemblaggio automatiche, di cui alcune dedicate alla preparazione dei subassemblati, altre dedicate all'assemblaggio dei componenti per la composizione del prodotto finale.

### 2.1 Linea 7

La Linea 7 è composta da quattro diverse linee quali assemblaggio, apb subassembly, test line e dressing; il focus del lavoro è stato sulla linea assemblaggio (immagine a destra). La sua complessità risiede nel fatto di essere una linea *mixed model*, vengono infatti prodotti sia iniettori appartenenti alla famiglia XL3 (LK2, LK3, SHORT) sia XL5. Tale tipologia di linea è associata alla filosofia produttiva del *Just in Time*, consentendo di produrre ciò che il cliente vuole esattamente quando lo vuole. Il mix di prodotti è facilmente ottenibile poiché i vari modelli presentano una matrice comune differenziandosi per pochi componenti o per qualche fase di lavorazione. L'azienda quindi è in grado di riprodurre nel breve periodo il mix di produzione del lungo periodo, permettendo di raggiungere un equilibrio tra il flusso uscente di prodotti e la domanda del mercato; per farlo però sono necessari frequenti cambi produzione, ovvero frequenti stop che riducono l'efficienza produttiva, generando costi di mancata produzione.



---

## 2.2 Obiettivi della tesi

L'obiettivo del progetto è la riduzione del tempo di cambio produzione con lo scopo di contenere la perdita l'efficienza che da esso ne deriva, attraverso l'implementazione della metodologia S.M.E.D. (*Single Minute Exchange of Die*). Combinare una produzione diversificata di piccoli lotti, come quella della Linea 7, con tale tecnica è il modo più efficace per conciliare al meglio il lavoro in ottica *Just in time* di Vitesco Technologies, portando vantaggi in termini di flessibilità produttiva, velocità di consegna e produttività, con investimenti bassi/nulli, uno dei principali valori della metodologia. Inoltre essendo la SMED è una metodologia iterativa, in fase di pianificazione di progetto è stata prevista una seconda iterazione, in ottica di aggredire elementi di maggior dettaglio.

## 3 Analisi situazione iniziale

L'analisi della situazione iniziale è stata effettuata tramite sia l'utilizzo degli strumenti messi a disposizione dall'azienda, come il database ed il sistema shopfloor, sia, o meglio soprattutto, con osservazioni sul campo durante il cambio produzione. Il KPI scelto per effettuare le varie analisi e monitoraggi è stato l'OEE. Nel progetto tale KPI è stato poi declinato in due sue versioni: **l'efficienza persa a causa del cambio tipo** (rispetto al turno di lavoro) e **l'efficienza del processo**.

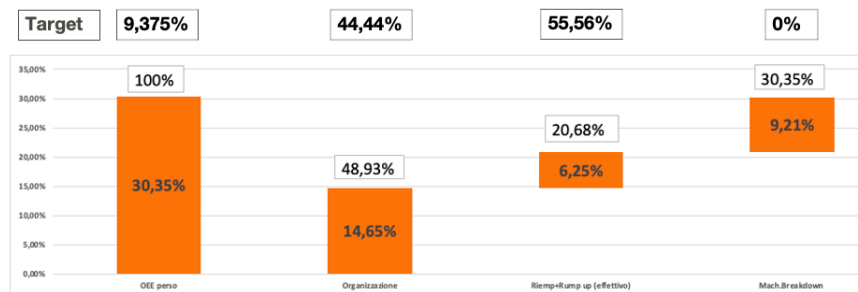


Figura 1: OEE changeover deployment

Il cambio produzione è composto da due fattori: l'organizzazione, composta a sua volta dalle attività di scarico/carico componenti in linea e dalla validazione saldature, ed il riempimento linea/rump up. Infine si sommano ai tempi di cambio tipo i tempi di *machine breakdown* che si verificano. La Figura 1 mostra come quasi un terzo del tempo disponibile in un turno sia occupato dal cambio produzione, valore ben lontano da quello target, definito in fase di progettazione linea, corrispondente a 45 minuti. Con il secondo indicatore si evidenzia quanto ogni variabile del processo sia inefficiente, ovvero la massima percentuale di miglioramento che possiamo attenderci da ogni fattore.

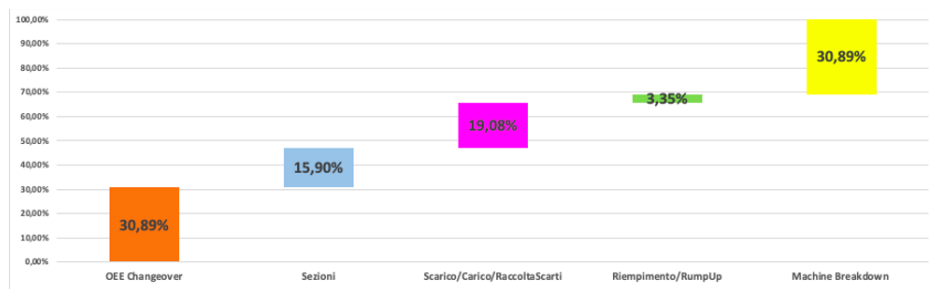


Figura 2: Changeover efficiency

Tale analisi ha evidenziato come all'interno del processo di cambio tipo siano presenti una serie di inefficienze che hanno comportato un tempo medio di 145 minuti. Nonostante la causa maggiore di inefficienza siano i *machine breakdown*, la prima iterazione della tecnica si è concentrata sulla riduzione dell'inefficienza dovuta all'attività di carico/scarico componenti in linea, seguendo il criterio della possibilità di avere dei miglioramenti nel breve periodo. Tale inefficienza è causata da una mancanza standardizzazione di processo: pur avendo registrato una base comune nella sequenza delle macro fasi operative del processo, le operazioni singole non sono svolte secondo una sequenza standard, comportando diversi tempi di esecuzione.

## 4 SMED: prima iterazione

La metodologia è composta da cinque fasi: lo step 0 consiste in un'analisi preliminare del processo, discussa precedentemente.

### 4.1 Step 1 & 2: separare e convertire operazioni interne ed esterne

Le operazioni effettuate durante un cambio produzione si dividono in operazioni interne (Ied – inside exchange of die), svolte a macchina ferma, ed operazioni esterne (Oed - outside exchange of die), svolte a macchina in funzione. L'obiettivo di queste due fasi è stato quello di esaminare lo squilibrio fra IED e OED relativamente alla fase di carico/scarico componenti, per poi cercare di convertire le operazioni interne in esterne, per poterle svolgere in ombra senza fermare la produzione, portando al risultato sintetizzato nelle tabelle di Figura 4. Queste mostrano come lo squilibrio fra IED e OED, inizialmente a sfavore della durata del processo (sono di più le operazioni interne delle esterne comportando un aumento del tempo di cambio tipo), sia passato a favore della durata del processo, grazie allo studio di un **nuovo flusso di processo**. Inizialmente il cambio tipo seguiva il seguente flusso: veniva dato da server il comando di svuotamento componenti presenti in linea (dalla cui fine

parte il tempo di cambio tipo), si prelevavano i componenti (scarico), si caricavano i nuovi componenti, si raccoglievano gli scarti, si avviava il riempimento della linea, al modulo 80 si fermava il riempimento e si effettuavano i controlli sulle saldature, se conformi si riavviava la produzione e al 100esimo pezzo buono in uscita dalla linea si validava il cambio tipo. Il nuovo flusso di processo consiste nell'effettuare le operazioni di scarico/carico in parallelo alle attività di svuotamento e riempimento linea nascondendone i tempi; inoltre il processo dimezza, in maniera fittizia, il lavoro dell'operatore poichè lavora su metà linea alla volta, cioè dalla M10 fino alla M90 e poi dalla M90 alla M140, sfruttando il fermo produzione dato dalla necessità di validare i parametri di saldatura della M80.

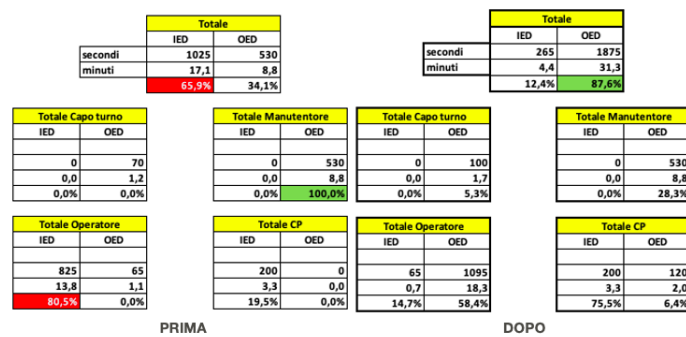


Figura 3: IED vs OED prima e dopo

#### 4.2 Step 3: semplificare le operazioni

In questa fase il lavoro si è concentrato sulla ricerca della semplificazione delle attività del processo, valutando se potevano essere apportati altri miglioramenti, sia per le operazioni interne che per quelle esterne. Le soluzioni adottate sono state le seguenti:

1. **Nuova checklist cambio tipo:** i cambi tipo utilizzavano checklist riportanti i codici dei componenti da utilizzare. Questa nuova checklist, creata con l'obiettivo sia di essere un documento consultabile durante il processo sia di essere dinamico (si modifica selezionando il prodotto da fare), ha convogliato le informazioni presenti nell'istruzione di lavoro (creata per spiegare il cambio tipo in ogni sua singola operazione) perseguendo un'ottica di praticità. Sono state inoltre aggiunte le checklist delle operazioni allocate ad ogni membro del team in linea.
2. **Snellimento validazione saldature:** una buona quota di inefficienza è dovuta alla validazione delle saldature che è un'attività obbligatoria. Le stazioni di saldatura sono due e per

---

ognuna di esse vengono prelevati quattro campioni; la stazione riparte solo se tutti e quattro i campioni sono conformi. Per snellire il processo è stato emesso un documento chiamato TCM (*Temporary Change Memorandum*) il quale attesta che basta la conformità di un solo campione per poter dare il via alla stazione.

3. **Visual Management:** il nuovo processo richiede l'utilizzo di due carrelli contemporaneamente, uno per il vecchio prodotto ed uno per il nuovo. Per prevenire il rischio di caricare/scaricare il carrello sbagliato sono stati comprati due carrelli di colore diverso dedicati unicamente al cambio produzione.

#### 4.3 Step 4: documentare il nuovo processo

Una volta che i miglioramenti progettati sono stati approvati e che la procedura è stata scritta, lo step successivo è stato formare gli operatori, per poi passare ad una fase di completa implementazione e monitoraggio della nuova soluzione, per poterla validare.

#### 4.4 Education & Training

Il processo formativo ha avuto come obiettivo il colmare tre aspetti ritenuti fondamentali: consapevolezza, coinvolgimento, sicurezza. Lo scopo è stato rendere gli operatori in grado di affrontare autonomamente un cambio produzione senza la supervisione del team. Il processo è stato condotto con l'ausilio dei seguenti documenti:

- OPL (*One Point Lesson*): utilizzata per spiegare come compilare il database.
- Nuova checklist cambio tipo: utilizzata per spiegarne il suo funzionamento e come questa si inserisce nel processo.
- Istruzione cambio tipo: con l'obiettivo di ottenere un progetto sostenibile è stata creata un'istruzione contenente tutti i dettagli relativi al cambio tipo, dalla spiegazione del flusso di processo, alla semplice azione a pannello operatore. Documento che ha rivestito un'importanza fondamentale nel processo di formazione; inoltre rimane il documento di riferimento per i neo assunti.

#### 4.5 Analisi risultati ottenuti

Dopo aver implementato la nuova procedura sono stati riscontrati i risultati mostrati in Figura 4:

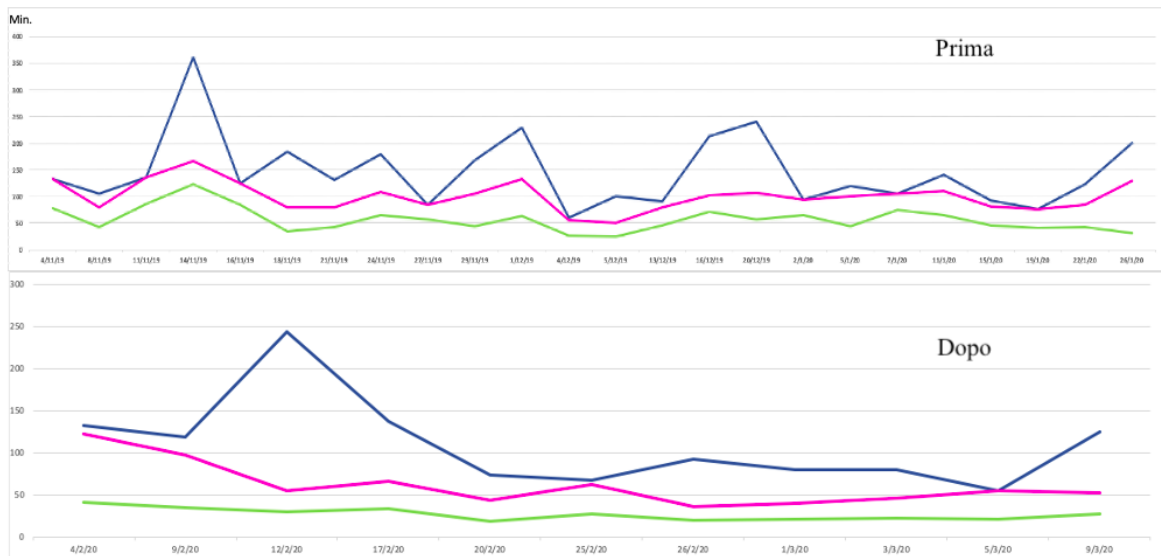


Figura 4: Andamento dei tempi di cambio tipo prima e dopo

La curva blu indica il tempo totale di cambio tipo, mentre la curva viola indica il tempo decurtato di una componente ad alta variabilità, cioè i *machine breakdown*. La curva verde si ottiene decurtando un altro fattore variabile, ossia la validazione saldature, ottenendo un tempo composto da attività di scarico/carico e riempimento linea, entrambe classificate come poco variabili; avendo nella prima iterazione lavorato sulla standardizzazione di processo, è qua che si cerca evidenza di miglioramento. Si nota infatti come l'andamento sia, rispetto a prima, quasi completamente privo di variabilità, indice dell'effettivo impatto positivo apportato dall'implementazione dello standard di lavoro.

In termini dei due KPI:

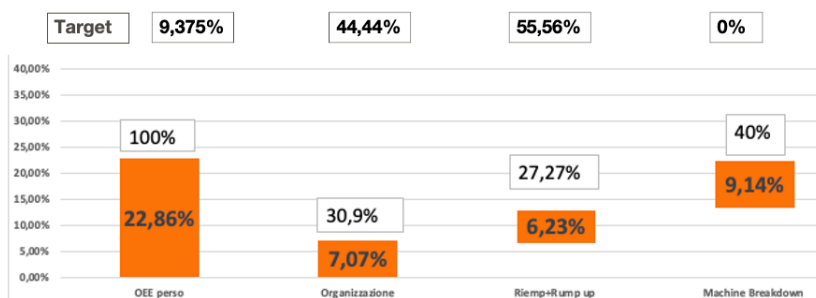


Figura 5: OEE changeover deployment

Come mostrato in Figura 5 la perdita di OEE a causa del cambio tipo è passata dal 30,35% iniziale al 22,86%, riducendo drasticamente la componente organizzativa.



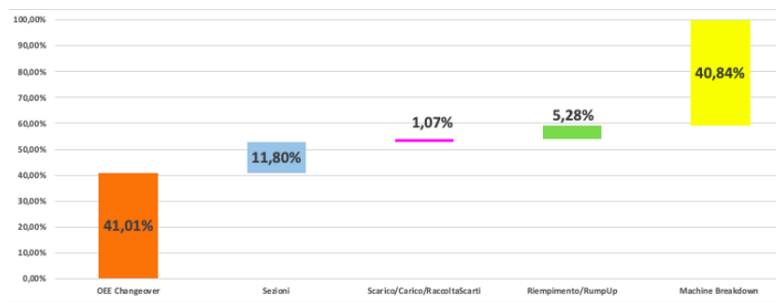


Figura 6: Changeover efficiency

Dal confronto dei risultati mostrati in Figura 2 e Figura 6 si evince che grazie all'introduzione del nuovo flusso di processo e di uno standard di lavoro, le attività di scarico/carico componenti hanno annullato la loro inefficienza, mentre l'efficienza del cambio tipo è aumentata del 10,12%. Nonostante i risultati ottenuti si nota che i *machine breakdown* hanno aumentato il loro valore percentuale; il motivo, probabilmente, è dovuto al fatto che degli eventi che comportano dei fermi macchina si sono verificati durante le attività di scarico/carico, risultando, di conseguenza, come in ombra a tali operazioni. Un'altra considerazione riguarda la fase di riempimento e di rump up: questa parte del processo ha bassa variabilità poichè completamente automatizzata eppure è presente una quota di inefficienza che è stata chiamata *performance loss*.

La tabella sottostante riassume in termini temporali i valori percentuali di Figura 5 e Figura 6.

TEMPI	Prima	Dopo
Tempo medio totale cambio tipo [min]	145	110
Tempo medio <i>machine breakdown</i> [min]	45	44
Tempo medio validazione saldature [min]	43	33
Tempo medio scarico/carico componenti [min]	28	1
Tempo medio riemp/rump up [min]	30	31

## 5 SMED: seconda iterazione

Nella seconda iterazione l'obiettivo è stato sia analizzare le cause che producono le *performance loss*, sia studiare delle soluzioni locali per migliorare la produttività della linea attraverso la riduzione dei *machine breakdown*. Il criterio con il quale si è scelto su cosa agire si è basato sulla possibilità di avere dei miglioramenti nel breve periodo; ovviamente la validazione delle saldature e i *machine breakdown* sono i problemi principali, ma agire globalmente su di essi richiede tempo, per cui sono stati rimandati a considerazioni su lavori futuri. Le componenti delle *performance loss* sono:

- 
- Tempo ciclo (problemi software, starved/blocked...)
  - Downtime sistematici
  - Fattore umano
  - Fermi non segnati

In questa seconda iterazione sono stati omessi gli step 1 e 2, poichè durante la prima iterazione è stato raggiunto il massimo risultato da queste fasi; il lavoro si è concentrato sulla ricerca di soluzioni in grado di semplificare le varie operazioni di cambio tipo (step 3).

### 5.1 Step 3: semplificare le operazioni

La nuova procedura dimezza in modo fittizio il lavoro dell'operatore, ma il carico di lavoro a lui allocato resta comunque alto, comportando inefficienze lato "fattore umano" e "fermi non segnati". Sono stati registrati cambi produzione in cui, a causa di problemi o eventi sistematici nati su altri moduli, ci sono state delle **dimenticanze per quanto riguarda lo svuotamento delle tazze vibranti del modulo 10 e del modulo 60**, dimenticanze che rientrano nelle *performance loss*, poichè ritardando tale operazione si ha un ritardo nell'intero tempo di cambio tipo. Per cercare di contenere l'inefficienza dovuta ai *machine breakdown* si è agito sulla componente "attesa manutenzione" dell'indicatore MTTR (*Mean time to repair*). La linea 7 ha un unico manutentore condiviso fra le quattro sottolinee, di conseguenza l'elevato ed imprevedibile numero di guasti comporta alti tempi di attesa manutenzione. Durante la produzione XL3 SHORT sono stati registrati due problemi; **il primo al modulo 90**, a causa di una componente (campana) condivisa con il prodotto XL3 che comportava un'usura maggiore di alcune sue parti, con conseguente superamento della soglia di scarti, fermo della produzione e perdita di efficienza. **Il secondo al modulo 100**, a causa del sistema di bloccaggio (bullone - rondella) e delle geometrie di una maschera montata sull'alimentatore per orientare verticalmente il componente MPG. Tale maschera canalizza i componenti tramite un imbocco trapezoidale alla cui base erano presenti degli spigoli che provocavano la caduta degli MPG generando un effetto domino fino all'area di ricerca del robot di prelievo che, trovando dei componenti in posizione errata generava un errore. Il sistema di bloccaggio, ubicato nell'angolo sinistro della maschera, non sosteneva perfettamente le vibrazioni a cui l'alimentatore è soggetto per l'avanzamento dei componenti, compromettendo la tenuta della maschera stessa.

Trovati i problemi, sono state implementate le seguenti soluzioni:

- **Svuotamento automatico tazza vibrante M10 & M60** Questa attività era avviata manualmente dall'operatore e doveva essere fatta appena il modulo 10 era vuoto, il timing era molto importante poichè se ritardato comportava uno slittamento dell'intero tempo di processo. Durante alcuni cambi tipo l'operatore ha sbagliato il tempo di lancio dell'operazione. Per evitare il ripetersi è stata implementata una modifica a PLC (*Programmable Logic Controller*) in modo che l'operazione avvenga autonomamente. Per il modulo 60 in più è stato stampato 3D uno "scivolo" che fungesse da ponte fra il punto di uscita dei componenti e il punto di raccolta degli stessi.
- **Campane dedicate XL3 SHORT:** tramite una collaborazione con il reparto *industrial engineering* sono state realizzate delle campane dedicate a questa produzione, ristabilendo la durata delle sue componenti e riducendo i fermi macchina.
- **Nuova maschera modulo 100:** realizzata in collaborazione con il reparto *industrial engineering* e il fornitore presenta geometrie meno spigolose e un sistema di bloccaggio ad imbastitori a sfera autobloccanti (*One motion*) che rende più rapido e solido il montaggio.

## 5.2 Step 4: Analisi risultati ottenuti

Durante il cambio tipo sono necessari dei set-up meccanici ai moduli 70 (mandrini), 90 (tenute sup. e inf.), 100 (maschera e ganasce piantaggio), effettuati dal manutentore; mentre le modifiche a PLC hanno permesso di agire direttamente sulle *performance loss*, le altre due hanno ridotto sia i fermi che si generavano sui moduli 90 e 100, sia i tempi per effettuare gli attrezzaggi meccanici, aumentando la disponibilità del manutentore e quindi riducendo il tempo di attesa manutenzione. Questo ha permesso sia di ridurre l'incidenza dei *machine breakdown*, che di conseguenza di migliorare l'OEE. Di seguito vengono mostrati i grafici relativi ai due KPI del processo per riassumere la situazione alla quale si è giunti.

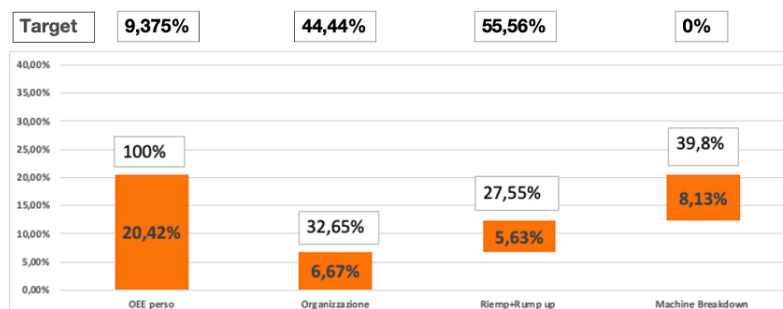


Figura 7: OEE changeover deployment

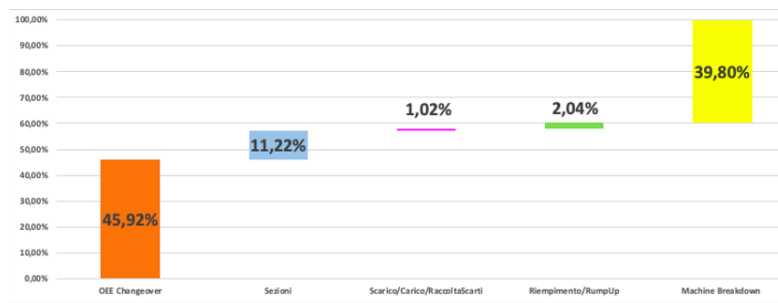


Figura 8: Changeover efficiency

La tabella sottostante riassume in termini temporali i valori percentuali di Figura 7 e Figura 8, ovvero l'attuale situazione.

TEMPI	Prima	Dopo	Dopo2
Tempo medio totale cambio tipo [min]	145	110	98
Tempo medio <i>machine breakdown</i> [min]	45	44	39
Tempo medio validazione saldature [min]	43	33	31
Tempo medio scarico/carico componenti [min]	28	1	1
Tempo medio riemp/rump up [min]	30	31	27

## 6 Conclusioni

Le due implementazioni della tecnica SMED hanno portato a poter compiere un cambio tipo completo in circa 98 minuti contro i 145 iniziali dei precedenti cambi attrezzatura. Questo significa una riduzione del 32.41% del tempo rispetto alla situazione di partenza. Ad ogni cambio produzione si risparmiano ben 47 minuti che possono essere utilizzati nella produzione di iniettori, comportando dei miglioramenti in termini di flessibilità con conseguente riduzione delle scorte di magazzino, qualità, velocità di consegna e ovviamente maggiore produttività. Con un tempo ciclo nominale di 4 secondi, ad ogni cambio tipo si ha un guadagno teorico di:

$$Guadagno = \left(\frac{47 * 60}{4}\right) * x \frac{euro}{pzz} = 705 * x \quad (1)$$

Nonostante i buoni risultati riportati, in virtù del concetto di miglioramento continuo (kaizen), non si può assolutamente dire che tutto ciò di implementato fino ad oggi sia il massimo raggiungibile, ma occorre continuare categoricamente la cosiddetta "caccia agli sprechi", oppure focalizzarsi su quelli già individuati ma per vari motivi non globalmente attaccati, come la validazione saldature e i *machine breakdown*.