



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**

***Lean Transformation nei processi produttivi della
Paolino Bacci S.r.l.***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gino Dini
Dipartimento di Ingegneria Civile ed Industriale

Sig. Massimo Breschi
Paolino Bacci S.r.l.

IL CANDIDATO

Luigi Cangiano
luigicangiano95@gmail.com

Sessione di Laurea Magistrale del 28/04/2021
Anno Accademico 2019/2020

Sommario

Il progetto di tesi è volto a presentare il processo di Lean Transformation implementato in due celle di lavoro, presso l'azienda metalmeccanica Paolino Bacci S.r.l. I processi produttivi analizzati si riferiscono ad una macchina CNC presente nel catalogo di vendita dell'impresa, la ARTIST.TGV: in particolare sono stati studiati i cicli di lavorazione per l'assemblaggio dell'asse Z e del portale, riguardante l'asse X, del centro di lavoro. Sulla base dei principi Lean è stato adottato l'approccio scientifico del SPDCA per l'intera durata del progetto. Lo scopo aziendale è quello di implementare una serie di cambiamenti strutturati che permettano l'eliminazione degli sprechi: attraverso un'individuazione e un'analisi di essi, è stato possibile pianificare delle contromisure volte a tale fine. Avvalendosi di un'azione di monitoraggio basata sui KPI, è stato possibile identificare i miglioramenti apportati a tali processi, permettendo, infine, la standardizzazione di quanto è stato pianificato e implementato. L'approccio utilizzato ha portato ad un aumento della produttività delle celle lavorative prese in esame durante il progetto.

Abstract

The thesis project is aimed at presenting the Lean Transformation process implemented in two work cells at the metalworking company Paolino Bacci S.r.l. The production processes analyzed refer to a CNC machine present in the company's sales catalog, the ARTIST.TGV: in particular, the machining cycles for the assembly of the Z axis and the portal, concerning the X axis, of the machining center have been studied. On the basis of the Lean principles, the scientific approach of the SPDCA has been adopted for the whole duration of the project. The company's aim is to implement a series of structured changes that allow the elimination of waste: through an identification and analysis of these, it was possible to plan countermeasures aimed at this end. Using a monitoring action based on KPIs, it was possible to identify the improvements made to these processes, allowing, finally, the standardization of what has been planned and implemented. The approach used has led to an increase in the productivity of the work cells examined during the project.

1. Paolino Bacci S.r.l.

1.1 Azienda

La Paolino Bacci, nata nel 1918 e situata nella provincia di Pisa, è una delle PMI italiane produttrici di macchine per la lavorazione del legno. Attualmente, l'azienda presenta una linea di centri di lavoro a controllo numerico a cinque e più assi interpolati, i quali hanno permesso di avere prodotti che non lavorano solo il legno, bensì anche materiali come plastica ed alluminio creando, in tal modo, una nuova fetta di mercato da servire negli ultimi anni. È considerata come leader mondiale nella produzione di centri di lavoro CNC con un possesso di più di 50 brevetti internazionali. Negli ultimi 25 anni, sono stati venduti più di 3000 centri di lavoro CNC adottando un reinvestimento totale in ricerca e sviluppo dei profitti assunti.

1.2 Scopo del tirocinio

Questa tesi nasce dall'esigenza della Paolino Bacci S.r.l. di riuscire ad efficientare i processi produttivi che presentano un numero discreto di problematiche e perdite di tempo, di sprechi. L'obiettivo dell'impresa è l'introduzione graduale del Lean Thinking affinché si possa arrivare ad una individuazione, analisi ed eliminazione degli sprechi partendo da una trasformazione puntuale in alcune celle produttive. L'obiettivo futuro è quello di poterlo estendere in tutto lo stabilimento produttivo.

Lo scopo del progetto è inizializzare una Lean Transformation, eliminando i diversi sprechi all'interno delle celle "Asse Z" e "Portale X", in modo tale che si possano raggiungere netti miglioramenti in termini di efficienza, dovuti ad un abbassamento di tempi e costi e ad un innalzamento del livello di qualità.

2. Metodologia impiegata: SPDCA

Alla base della eliminazione degli sprechi esistono approcci diversi da utilizzare. Uno di questi è il metodo scientifico, su cui si basa la Lean Transformation, che può essere implementato attraverso la logica SPDCA. È una variante del ciclo di Deming e si struttura in cinque fasi, come mostrato in Figura 1:

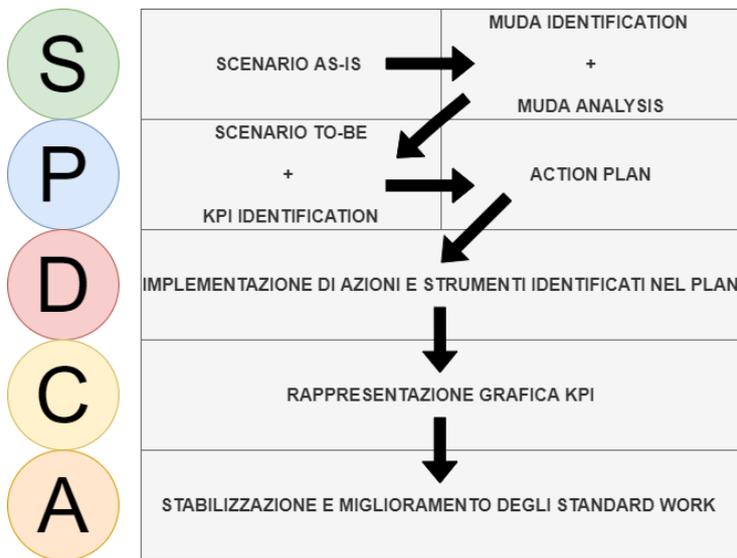


Figura 1 - Schema riassuntivo della tecnica SPDCA

1. **Scan:** in questa fase l'obiettivo è quello di studiare lo stato corrente della zona presa a riferimento. È il momento in cui, attraverso la visione e lo studio del processo, questo viene mappato in modo da identificare il flusso informativo, quello operativo (del materiale) e il workflow di esso. Ad esempio, nel caso di un processo

produttivo si vanno ad identificare tutte le operazioni e le sotto operazioni relative ad un ciclo. In un secondo momento, si andranno ad evidenziare gli sprechi. Qui il processo si struttura in due fasi: in primo luogo, si individuano tutti i possibili sprechi del processo, andando a quantificarli, se possibile; in secondo luogo, si analizzano uno ad uno i diversi sprechi in modo da scoprire quali siano le cause della loro presenza. Al termine di questa fase si propongono una serie di possibili soluzioni all'azienda, che ne valuta la fattibilità.

2. **Plan:** dopo aver studiato nel dettaglio il processo e analizzato tutti gli sprechi, si passa alla fase di pianificazione delle contromisure da attuare. In primo luogo, occorre giungere alla creazione di uno stato futuro che metta in evidenza tutte le modifiche e i miglioramenti a cui tale approccio pone obiettivo. Sulla base dello stato futuro si devono identificare uno o più KPI che permettano di tenere sotto controllo l'intero processo durante la fase di "Do". In ultimo, deve essere definito un piano di azione che permetta di schedare e di pianificare in tempi determinati tutte le contromisure da mettere in atto.
3. **Do:** in questa fase si implementa quanto pianificato. È importante sottolineare che ogni contromisura segue un suo ciclo di PDCA, in modo da arrivare ad una soluzione conforme attraverso un monitoraggio della sua implementazione, verificandone l'efficacia e, ove necessario, apportandone modifiche migliorative.
4. **Check:** dopo aver svolto tutte le attività della fase precedente, per mettere in evidenza i risultati raggiunti, si struttura una rappresentazione grafica dei KPI, utilizzati per il

monitoraggio periodico del progetto. Questo ha lo scopo di verificare i cambiamenti apportati al processo iniziale, evidenziandone gli scostamenti raggiunti.

5. **Act:** nell'ultima fase dell'approccio SPDCa, si implementa una stabilizzazione dei cambiamenti apportati al processo: nel caso in cui i miglioramenti risultino essere efficaci, è possibile raggiungere un nuovo standard che permetta la creazione di una nuova base per il miglioramento continuo.

3. Situazione iniziale: fase di "Scan"

3.1 Commessa analizzata

La ARTIST.TGV è un centro di lavoro CNC per la lavorazione del legno massiccio, visibile in Figura 2. È una macchina a portale, formata da sei assi, di cui due banchi di lavoro indipendenti e quattro assi dipendenti dalla testa Z, che a sua volta possiede tre assi, e dal portale, che permette un movimento longitudinale lungo l'asse X. Una macchina che risulta essere molto versatile, dato che può lavorare il legno per produrre equipaggiamenti sportivi, strumenti musicali, sedie e altre tipologie di prodotti. Le caratteristiche tecniche di tale centro di lavoro sono mostrate in Tabella 1.

Viene presa a riferimento tale tipologia di macchina perché è la più richiesta dai clienti e, di conseguenza, il ciclo produttivo ripetuto con maggior frequenza all'interno dello stabilimento produttivo.

3.2 Studio del processo produttivo

I processi produttivi analizzati sono quelli svolti all'interno della cella "Asse Z" e della cella "Portale X". Attraverso un'attività di mappatura, sviluppata con la metodologia del flowchart, e di rilevamento tempi dei due processi produttivi è stato possibile identificare i diversi flussi. I due cicli produttivi studiati sono stati divisi in varie fasi, evidenziate nel Grafico 1 mediante una diversa colorazione.



Figura 2 - Macchina CNC denominata "ARTIST.TGV"

Caratteristica	Valore
Assi interpolati	6
Asse X	Tra i 2600 mm ai 3600 mm
Asse Y	2200 mm
Asse Z	830 mm
Asse A	Illimitato
Asse C	400 gradi

Tabella 1 – Caratteristiche tecniche "ARTIST.TGV"

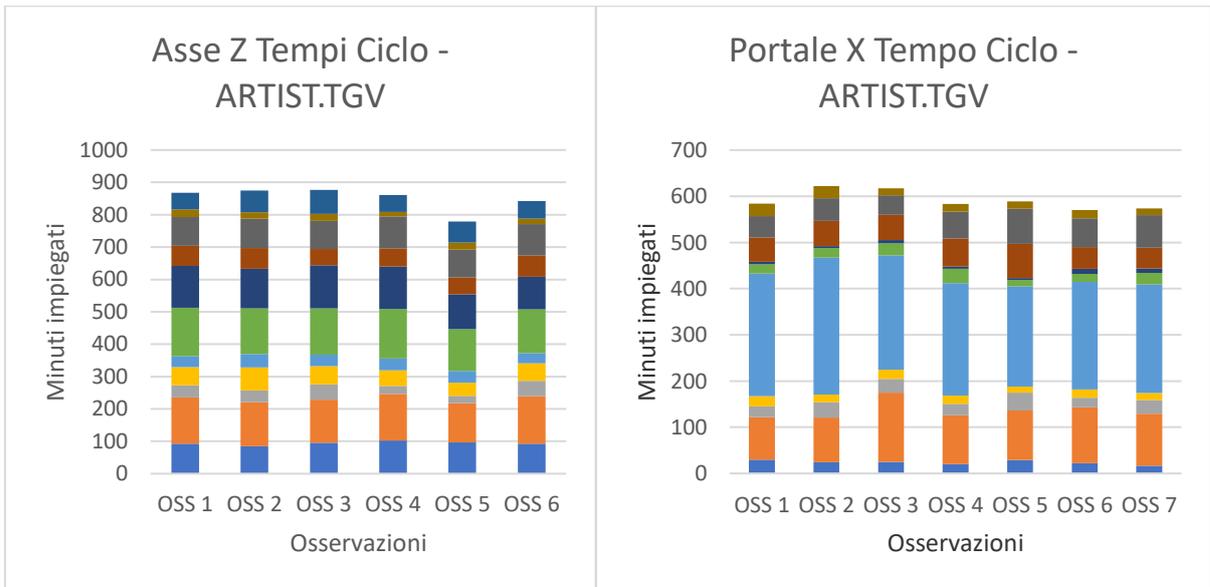


Grafico 1 - Tempi ciclo rilevati nei processi produttivi analizzati nelle celle "Asse Z" e "Portale X"

3.3 Individuazione ed analisi degli sprechi

Durante il periodo di rilevazione dei tempi del ciclo di assemblaggio è stato possibile dividere i tempi riscontrati nelle tre suddivisioni previste dalla tecnica VA-NVA analysis.

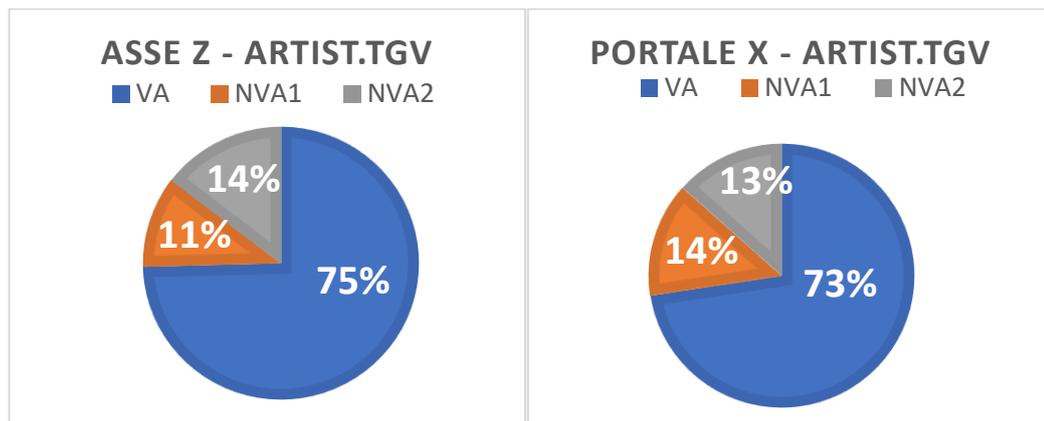


Grafico 2 - VA-NVA Analysis dei processi produttivi analizzati nelle celle "Asse Z" e "Portale X"

Questa metodologia ha permesso di identificare e quantificare le attività a valore aggiunto e non a valore aggiunto presenti nei processi. Le attività a non valore aggiunto da eliminare durante questo progetto sono le "NVA2", visibili nel Grafico 2, che rappresentano le attività eliminabili nel breve periodo. Attraverso lo strumento dello spaghetti chart, è stato possibile individuare ulteriori sprechi relativi all'eccessiva movimentazione degli operatori durante il processo produttivo.

La fase di analisi degli sprechi è stata affrontata con lo strumento dei "5 Perché": partendo dalla causa diretta/superficiale di ogni spreco, sono state indagate le cause sottostanti al fine di individuare la vera causa radice del problema. Nella maggior parte dei casi, gli sprechi analizzati sono causati dalla mancanza di standard che devono essere creati e resi operativi.

4. Situazione futura: fase di “Plan”

4.1 Obiettivi dello scenario futuro

In accordo con l'azienda sono state individuate una serie di contromisure che hanno permesso di arrivare all'obiettivo strategico di fondo: l'ottimizzazione dei flussi produttivi attraverso l'eliminazione degli sprechi. L'obiettivo futuro è quello di implementare una serie di miglioramenti:

- Eliminare o ridurre il più possibile le attività non a valore aggiunto di rilavorazione dovute alla presenza di ruggine su alcuni semilavorati e di verniciatura non conforme alle specifiche;
- Attivazione del servizio di rifornimento di viterie nella cella “Portale X” al fine di evitare l'allontanamento dell'operatore dall'area di lavoro durante il ciclo di assemblaggio;
- Miglioramento del flusso informativo tra le varie funzioni aziendali: introduzione di alcuni standard che permettano una efficiente comunicazione per quanto riguarda le segnalazioni di non conformità tra il magazzino, la produzione e gli uffici;
- Riprogettazione del layout delle celle “Asse Z” e “Portale X”, al fine di ridurre gli spostamenti eccessivi degli operatori e migliorare l'efficienza del luogo di lavoro, ed introduzione di nuovi carrelli da lavoro che permettano di avere a disposizione l'attrezzatura necessaria per il montaggio standard e speciale;
- Introduzione, per una serie di prodotti standard, di guide al montaggio che permettano di ridurre le incomprensioni e i dubbi sul ciclo di lavorazione e che consentano una standardizzazione del metodo di lavoro.

4.2 Identificazione di KPI

Il KPI utilizzato per il monitoraggio dell'intero progetto è denominato “Indice di Produttività” (in acronimo IDP). Viene presentato l'indicatore di performance che rispecchia a pieno il monitoraggio dei miglioramenti che il progetto deve apportare all'azienda:

$$IDP = \left(\frac{\text{Tempo NVA eliminato}}{\text{Tempo Ciclo preventivo AS-IS}} \right)$$

Al numeratore è presente il tempo non a valore aggiunto per il cliente eliminato, che è stato possibile quantificare sulla base di quanto analizzato nella fase di “Scan”. Al denominatore è

indicato il tempo ciclo preventivo, calcolato in precedenza al progetto di tesi da parte dell'azienda.

Il risultato derivante da questo rapporto evidenzia la percentuale di riduzione di tempo ciclo riscontrato all'aumentare del tempo non a valore aggiunto eliminato. Per calcolare questo indicatore di progetto è stata presa a riferimento, come nelle fasi precedenti, la ARTIST.TGV tenendo conto dei tempi ciclo dei processi produttivi svolti nella celle "Asse Z" e "Portale X". È stato scelto questo KPI perché per l'azienda il miglioramento di produttività, e quindi la riduzione dei tempi ciclo dei propri prodotti, è un forte sintomo di successo di tale progetto. La possibilità di tenere traccia degli sviluppi, monitorando l'intero progetto, ha permesso di capire se la strada fosse corretta o meno.

4.3 Piano di azione

Il passo successivo, rispetto alla definizione dello scenario to-be e all'identificazione degli adeguati KPI, è rappresentato dall'implementazione di un piano di azione. Questo viene implementato grazie allo strumento "5W2H Action Plan" che consente di tenere traccia delle attività svolte e di calendarizzare le contromisure da apportare per la modifica del processo. Ogni contromisura presa a riferimento è implementata sulla base del ciclo PDCA, il quale permette la corretta esecuzione di ogni attività prevista. Infatti, ciascuna attività, è in primo luogo pianificata definendo principalmente chi è il responsabile, quando e come viene implementata, per poi eseguire le fasi "Do", "Check" e "Act".

5. Contromisure implementate: fase di "Do"

In questa fase sono state messe in atto le contromisure pianificate all'interno del piano di azione. Le contromisure, riportate di seguito, risultano essere sia azioni di contenimento dello spreco che azioni correttive relative alle cause radice identificate nelle fasi precedenti.

5.1 Standard di segnalazione di non conformità

Una delle cause radice più frequenti all'interno dell'analisi, è quella relativa alla mancanza di uno standard di segnalazione delle non conformità. Per ovviare a tale mancanza, è stato progettato un processo di segnalazione di non conformità diviso in tre tipologie di gestione:

- Non conformità che creano un fermo di produzione;
- Non conformità che non creano un fermo di produzione, attraverso il riempimento di un "Modulo di non conformità", mostrato in Figura 3;
- Non conformità provenienti dal magazzino.

 MODULO NON CONFORMITA'		Area di Responsabilità						
		ASSE Z						
<small>Marcare con una "X" il motivo della non conformità riscontrata. Chi compila il modulo deve riempire in modo corretto e integrale i campi presenti.</small>								
Data	Commessa	Non Conformità Riscontrata						Note/Codice del Particolare
		Particolari Mancanti	Particolari Superflui	Particolari di Eccesso	Particolari di Poca Qualità	Disegni 3D	Utensili Mancanti	

Figura 3 - Struttura del documento "Modulo non conformità"

Questo processo risulta fondamentale per l'individuazione dei singoli sprechi, dato che permette all'ufficio qualità di rimanere aggiornato sulle problematiche in tempo reale, così da poterle risolvere tempestivamente, se necessario. L'introduzione di questo standard ha consentito di creare un processo che permetta, agli attori in gioco, di segnalare in modo standardizzato le non conformità riscontrate dallo stabilimento produttivo.

5.2 Eliminazione delle attività di ripasso fori

Al fine di eliminare le attività di ripasso fori all'interno delle due celle lavorative, sono state messe in atto un serie di contromisure puntuali che hanno permesso l'estinzione di tale spreco del processo.

Le contromisure portate a termine sono state, in sintesi, le seguenti:

- Correzione della tipologia di viteria da utilizzare in alcune fasi di assemblaggio;
- Introduzione di forature assenti su alcuni particolari;
- Scrittura e introduzione di una istruzione di verniciatura che permettesse la conforme lavorazione da parte degli operatori;
- Modifiche di disegni non aggiornati;
- Richiamo ad alcuni fornitori a causa di non conformità presenti sui particolari.

5.3 Istruzione di pulizia dei particolari

È stato deciso di studiare uno standard di pulizia dei particolari durante la fase di assemblaggio. Ciò perché durante la fase di analisi iniziale, è stata rilevata un'attività di pulizia eccessiva che all'interno dei processi aziendali non era ben definita. Tale istruzione contiene quali comportamenti l'operatore deve avere nel caso in cui un particolare di montaggio presenti non conformità che necessitano di un'azione di pulizia.

Per raggiungere questo obiettivo, sono state individuate le strumentazioni ritenute più congrue dall'azienda per pulire i particolari facenti parte del kit di assemblaggio.

5.4 Servizio di rifornimento viteria in “Portale X”

Uno dei motivi emersi è l’allontanamento dovuto al rifornimento da parte dell’operatore di tutte le viterie necessarie al montaggio. Per ovviare a questa situazione, è stato attivato il servizio di rifornimento da parte di un fornitore esterno all’interno della cella produttiva. Per risolvere un ulteriore spreco, dovuto all’eccessiva movimentazione dell’operatore durante il montaggio, è stato eliminato lo scaffale fisso, dal quale venivano prelevate le viterie necessarie, ed è stato introdotto un carrello mobile contenente tutti gli articoli necessari ai montaggi di quella zona, mostrato in Figura 4.



Figura 4 - Carrello mobile contenente viteria

La logica utilizzata per rifornire tali articoli è quella del Kanban “a doppio contenitore”: il carrello è formato da due contenitori per ogni articolo. Nel momento in cui si verifica la rottura di stock di un contenitore, sussiste il secondo di scorta saturo della quantità indicata al fornitore. In questo modo, vengono approvvigionati i contenitori vuoti periodicamente da parte del fornitore.

5.5 Job Element Sheet in “Portale X”

La contromisura in questione introduce le istruzioni di montaggio relative al portale della ARTIST.TGV, in particolare a due diverse configurazioni di essa presenti nel catalogo di vendita aziendale. Lo strumento utilizzato è il “Job Element Sheet” che consente di definire le modalità in cui deve essere svolto il processo produttivo. Questa operazione è stata effettuata nella cella “Portale X”, dove vengono descritte le diverse operazioni e sotto operazioni del ciclo di assemblaggio di un portale per l’asse X della macchina CNC. Tale documento è stato strutturato nella seguente modalità:

- È stato suddiviso il processo in fasi, che a loro volta sono state divise in sottofasi;
- Ogni sottofase è descritta indicando l’attrezzatura, la viteria necessaria e i documenti da compilare per il controllo qualità, ove presenti;
- Presenza di foto descrittive che mettono in risalto i punti chiave del montaggio.

5.6 Gestione di materiali a consumo in “Asse Z”

La presente contromisura è stata introdotta a seguito di una lavorazione meccanica che veniva effettuata da parte dell’operatore nella cella “Asse Z” durante il ciclo di assemblaggio:

l'operatore, in ogni ciclo, si allontanava dalla cella per recarsi alla smerigliatrice, situata al di fuori dello stabilimento produttivo. Questa attrezzatura veniva utilizzata per la lavorazione di alcune barre filettate, che vengono smussate e tagliate su misura per ogni macchina. Per ovviare a questo allontanamento e a questa lavorazione meccanica da parte dell'operatore, si è deciso di gestire le barre filettate come materiale a consumo da rifornire periodicamente nella cella, come in Figura 5.



Figura 5 - Barre filettate a misura nella cella "Asse Z"

6. Monitoraggio e risultati raggiunti

6.1 Fase di "Check"

L'indice di produttività "IDP" è risultato molto utile al fine di delineare i risultati assunti dalla fase di "Do": monitorando di settimana in settimana tale indice, è stato possibile avere una rappresentazione grafica dei miglioramenti apportati ai processi.

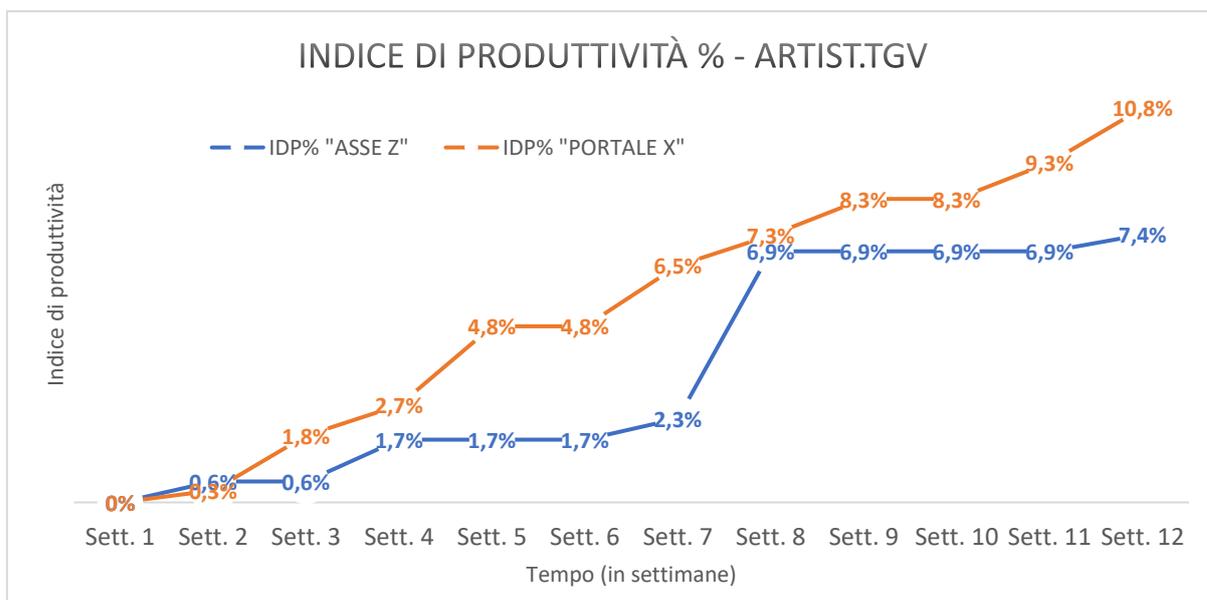


Grafico 3 - Indice di produttività monitorato nelle celle "Asse Z" e "Portale X"

Come si può notare dal Grafico 3, c'è stato un incremento delle attività non a valore aggiunto eliminate. Nel caso della cella "Asse Z", rispetto al tempo preventivo di 870 minuti, è stato registrato un miglioramento della produttività del 7,4%, ovvero una riduzione del tempo ciclo di circa 64 minuti. Mentre nel caso della cella "Portale X", rispetto al tempo preventivo di 600 minuti, il miglioramento è stato del 10,8%, ovvero una riduzione del tempo ciclo di circa 65 minuti.

6.2 Fase di “Act”

Le contromisure attuate e rese operative all'interno dell'azienda si sono rivelate efficaci: infatti, i cambiamenti apportati, nella maggior parte dei casi, hanno condotto effettivamente ai risultati pianificati. Con il passare del tempo, la quasi totalità dei cambiamenti sono stati assimilati dalla maggior parte dei lavoratori dello stabilimento. La realtà attuale è stata standardizzata ed è operativa a tutti gli effetti.

7. Conclusioni e sviluppi futuri

Grazie all'implementazione dell'approccio scientifico dell'SPDCA è stato possibile raggiungere lo scopo che l'azienda si era prefissata all'inizio del progetto di tesi: l'introduzione graduale del Lean Thinking all'interno dell'impresa e l'eliminazione degli sprechi nelle celle di lavoro “Asse Z” e “Portale X”. Le contromisure portate a termine, hanno condotto ai risultati sperati, come visto anche nella fase di monitoraggio del progetto, dato che rispetto alla situazione to-be sono stati raggiunti i seguenti obiettivi:

- Sono state ridotte le attività di rilavorazione dovute a non conformità, quali il ripasso dei fori e la pulizia di alcuni particolari;
- L'allontanamento dalle celle produttive, dovuto al rifornimento delle viterie da parte dell'operatore e ad alcune rilavorazioni esterne, è stato ridotto in entrambe le zone lavorative;
- Il flusso informativo, per quanto riguarda le segnalazioni di non conformità da parte del reparto produttivo, è più efficiente ed efficace rispetto al passato;
- Sono state introdotte delle istruzioni di montaggio che hanno permesso la riduzione di incomprensioni e di errori durante il ciclo di assemblaggio del processo produttivo.

Gli sviluppi futuri aziendali riguardano, in primo luogo, la conclusione delle contromisure rimaste in sospeso, ovvero il progetto 5S e l'ispezione a campione in magazzino, al fine di completare l'intero progetto di miglioramento pianificato. In secondo luogo, l'individuazione e l'analisi dei diversi sprechi delineati durante il progetto, ha permesso di creare le basi per il cambiamento non solo dei singoli processi studiati, ma, di conseguenza, anche di tutti gli altri processi aziendali che presentino problematiche simili. Infatti, avendo introdotto il cambiamento in due aree dello stabilimento produttivo, l'obiettivo futuro è quello di trovare più velocemente e facilmente la specifica soluzione adattata ai singoli contesti di altri processi produttivi, auspicando la continua evoluzione della Lean Transformation.