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 progettazione di un sistema kanban all'interno del reparto cilindri: il caso ASSO WERKE s.r.l.

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Valeria Mininno
Dipartimento DESTEC

Dott. Marco Molesti
Plant Manager ASSO WERKE s.r.l.

IL CANDIDATO

Simone Corsani
simo.corsani@gmail.com

Sessione di Laurea Magistrale del 29/09/2021

Analisi e progettazione di un sistema kanban all'interno del reparto cilindri: il caso ASSO WERKE s.r.l.

Simone Corsani

Sommario

L'elaborato è il risultato di uno stage svolto presso l'azienda ASSO WERKE s.r.l., leader italiana nel settore della componentistica di motori a due e quattro tempi. L'obiettivo del progetto è volto al miglioramento della gestione delle scorte e ad una standardizzazione del processo produttivo all'interno del reparto cilindri. Nella prima fase sono state analizzate le criticità presenti all'interno del suddetto reparto, permettendo così di individuare il metodo più opportuno da utilizzare per mitigare le criticità ritenute più importanti, grazie al supporto di strumenti di problem solving. L'analisi ha individuato l'introduzione di un sistema kanban come soluzione ideale. In seguito, sono stati scelti i codici su cui sviluppare il sistema, individuata la tipologia di kanban da utilizzare sulla base del contesto di riferimento, dimensionato il sistema ed infine definite le regole per la gestione a vista dello stesso. A conclusione del progetto, sono stati evidenziati miglioramenti sotto il punto di vista della riduzione delle scorte nelle varie aree del reparto e della continuità e regolamentazione del processo produttivo, rispetto alla situazione iniziale.

Abstract

This thesis work is the result of an internship carried out at ASSO WERKE s.r.l., the Italian leader in the two and four-stroke engine components market. The goal of the project is aimed at improving the inventory management and at standardizing the production process within the engine cylinder department. In the first phase, the criticalities within the aforementioned department were analyzed, thus allowing to identify the most appropriate method to use to mitigate the most critical issues, thanks to the support of problem-solving tools. This analysis suggests the introduction of a kanban system as the ideal solution. Then, the codes on which to develop the system were chosen, the type of most appropriate kanban to use based on the context was identified, the system was dimensioned and finally the rules for managing it on sight were defined. At the end of the project, improvements have been highlighted in terms of stock's reduction in the different areas of the department and of the continuity and regulation of the production process, compared to the initial situation.

1. Introduzione

1.1 Azienda

ASSO WERKE s.r.l. è un'azienda specializzata nella produzione della componentistica per motori a due e quattro tempi ad alte prestazioni, per soddisfare le esigenze di quei clienti che desiderano dei prodotti difficilmente reperibili sul mercato e che garantiscano elevata efficacia ed efficienza nel tempo. ASSO WERKE venne fondata da Silvano Ferrucci nel 1949 ed ha un'unica sede a Fornacette (PI). L'azienda pisana è considerata leader nel settore a livello italiano e produce componenti per motori appartenenti a varie tipologie di veicoli. Dai veicoli del classico mondo automobilistico e delle due ruote, fino ad arrivare ai kart, motoslitte, imbarcazioni marine, ecc. Il portafoglio clienti dell'azienda pisana è, dunque, molto ampio e vario sia in ambito nazionale che internazionale.

1.2 Scopo del progetto

Lo scopo di questo progetto nasce dall'esigenza di ASSO WERKE s.r.l. di creare un nuovo labour planning per il reparto cilindri. L'obiettivo dell'azienda pisana è quello di perseguire fortemente il Lean Thinking all'interno del reparto in questione. La filosofia produttiva e industriale che l'azienda utilizza è quella del Just in Time (JIT). Questo metodo presuppone che venga prodotto solo ciò che necessario, quando è necessario (per questo non è presente in azienda un vero e proprio magazzino di stoccaggio). All'interno di questo reparto, però, il flusso produttivo non è tirato dalla domanda effettiva del cliente, ma da altri fattori quali le urgenze, il raggiungimento di un fatturato target, precedenze a codici ritenuti più strategici, ecc. In questo modo, la creazione di un flusso "teso" risulta complicato, le scorte dei semilavorati inevitabilmente si alzano ed emerge un eccessivo accentramento informativo sul responsabile di reparto a causa dei programmi produttivi che variano continuamente. I principali obiettivi di questo progetto risultano, quindi, i seguenti:

- riduzione dei semilavorati all'interno del reparto cilindri;
- creazione di flusso produttivo temporizzato e standardizzato con zone di stoccaggio chiare;
- creazione di un sistema che risulti sostenibile nel tempo e che può "fare a meno del capo".

2. Contesto di riferimento

Come già accennato in precedenza, i clienti di ASSO WERKE s.r.l. sono sia nazionali che internazionali e gli ordini che essi emettono sono in parte effettivi ed in parte previsionali.

L'azienda pisana gestisce i forecast come ordini effettivi per cercare di avere una migliore programmazione produttiva. La maggior parte dei clienti, però, utilizzano anch'essi il JIT e hanno un alto potere contrattuale. Questi fattori, uniti al fatto che il mercato automotive ha subito una grossa impennata soprattutto dopo l'avvento del Covid-19, fanno sì che gli ordini dei clienti possano subire variazioni molto repentine sulle quantità e con anticipi molto brevi. I software di pianificazione e schedulazione presenti in azienda, sotto questo punto di vista, sono di aiuto ma un livellamento della produzione virtuoso resta comunque difficile da ottenere. Inoltre, le consegne ai clienti avvengono anche a cadenza quotidiana. Relativamente al reparto cilindri, oggetto specifico di questo progetto di tesi, il ciclo di lavoro del prodotto finito è composto da 14 lavorazioni, raggruppate in quattro diverse fasi produttive: la fase della nichelatura, comprendente le prime sei lavorazioni; la fase della verniciatura esterna (lavorazione singola); la fase delle lavorazioni meccaniche, comprendente le tre lavorazioni successive alla verniciatura; la fase delle lavorazioni sul finito, comprendente le ultime quattro lavorazioni. La produzione è a lotti e tali lavorazioni vengono svolte tutte internamente al reparto tranne la verniciatura, la quale viene svolta in outsourcing. La materia prima utilizzata è il cilindro grezzo ed esso viene acquistato da un fornitore esterno cinese. L'azienda pisana produce 41 tipologie di cilindri per dieci diversi clienti e le linee produttive presenti all'interno del reparto sono due.

3. Analisi delle criticità AS-IS ed individuazione del metodo opportuno da seguire

A seguito del contesto di riferimento analizzato, sono di seguito descritte le criticità evidenziate all'interno del reparto cilindri di ASSO WERKE s.r.l. nella situazione AS-IS:

- *Criticità 1, Area "Magazzino":* in questa area di appoggio vengono depositati sia i cilindri finiti che quelli che necessitano delle ultime lavorazioni di entrambe le linee produttive, nello specifico prova di tenuta ed assemblaggio con il pistone. Essendo presenti cassoni di dimensioni diverse con all'interno un numero non predefinito di codici, il carrellista che deve prelevare una determinata quantità di cilindri che si trovano ad uno specifico punto del ciclo di lavoro, è assoggettato a tempi di ricerca elevati.
- *Criticità 2, Area Reparto Produttivo (1):* il mantenimento di un flusso produttivo "teso" risulta complicato. I continui sorpassi e controsorpassi dei codici lungo il ciclo di lavoro, perché alcuni ritenuti più urgenti di altri, causa alti tempi morti lungo il flusso produttivo. Inoltre, l'alto numero di buffer intermedi lungo le due linee produttive diminuisce

sensibilmente la superficie libera del reparto, ostacolando così il movimento degli operatori e del carrellista.

- *Criticità 3, Area Reparto produttivo (2):* sono stati riscontrati fermi macchina superiori al target richiesto dall'azienda, dovuti principalmente al fatto di una manutenzione preventiva non ottimale e che molte macchine stanno giungendo al termine della loro vita utile. Inoltre, alcune postazioni di lavoro, nello specifico quelle delle lavorazioni meccaniche, non sono gestite in maniera ottimale sotto il punto di vista dell'ordine e della pulizia.

- *Criticità 4, Area Pianificazione:* come già accennato, in questo reparto si segue una logica produttiva che differisce dal JIT. Lanciando la produzione sulla base del raggiungimento di un fatturato target, si creano vari fermi e rallentamenti all'interno del flusso produttivo causati da continui sorpassi ed urgenze lungo tutte le lavorazioni. In questo modo, inevitabilmente, i cilindri si trovano a stazionare all'interno del reparto per un periodo molto elevato.

- *Criticità 5, Area WIP (Work In Progress):* a causa di una pianificazione discontinua, le scorte di semilavorati all'interno di questo reparto sono molto alte. Lungo il flusso produttivo sono posizionati dei buffer intermedi, uno dopo ogni singola lavorazione. Tali buffer, oltre che occupare un'elevata superficie di lavoro, non sono dimensionati ed è risultato che al loro interno si vengono spesso a trovare codici provenienti da lavorazione diverse, creando così confusione al momento della ricerca dei codici stessi. Inoltre, avere una quantità elevata di valore stazionata nei buffer, implica che ne giunge sempre meno al cliente finale dello stesso e, al tempo stesso, i costi aumentano.

- *Criticità 6, Area Comunicazione:* non avendo uno schema produttivo correttamente pianificato e standardizzato, si è creato un eccessivo accentramento informativo sul responsabile di reparto. La variabilità della logica con cui si decide cosa lanciare in produzione ha reso il sistema poco indipendente ed autonomo, mettendo in difficoltà gli operatori nel caso in cui, questa figura principale, dovesse per un qualsiasi motivo assentarsi dal lavoro.

Alla luce delle criticità sopra descritte, è stato deciso di andare ad intervenire su due specifici KPIs (Key Performance Indicators) che maggiormente sono in grado di rilevare, in maniera quantitativa, i miglioramenti dovuti al progetto di tesi in questione:

1) WIP (inteso come quantità e valore delle giacenze dei semilavorati, espresso in euro);
2) TA (inteso come tempo di attraversamento di un cilindro, con il suo relativo lotto, all'interno del reparto; da quando esso entra nella prima lavorazione della fase di

nichelatura a quando esce dall'ultima lavorazione della fase delle lavorazioni sul finito, espresso in giorni).

Dopo l'individuazione dei KPIs di riferimento, è stato deciso di mettere a confronto ogni criticità con tutte le altre per individuare quali tra loro siano più importanti ed urgenti da risolvere. Tale valutazione è stata basata sull'impatto che ogni criticità ha su tre fattori: impatto sui costi, impatto sui tempi ed incidenza sulla soddisfazione del cliente. Fatto ciò, è stato possibile stilare una classifica finale tra le varie criticità. Lo strumento utilizzato per mettere a confronto le varie criticità e valutarle è la matrice di ponderazione. Essa è molto utilizzata nelle situazioni di problem solving nel momento in cui è necessario confrontare più opzioni tra loro e classificarle. L'obiettivo finale di questa procedura è quello di individuare uno strumento, una tecnica o una metodologia che sia in grado di risolvere o migliorare direttamente almeno le prime tre criticità in ordine di importanza risultate dall'analisi, cercando però di andare a toccare, anche in maniera indiretta, il più possibile anche le altre.

CRITICITÀ	PARAGONI						TOTALE (+) PER RIGA
	Cr1	Cr2	Cr3	Cr4	Cr5	Cr6	
Cr1		0	0	-1	-1	+2	2
Cr2			+2	-1	0	+2	4
Cr3				-2	-1	+2	2
Cr4					0	+3	3
Cr5						+3	3
Cr6							0
TOTALE (-) PER COLONNA	0	0	0	4	2	0	
RIPORTO (+) PER RIGA	2	4	2	3	3	0	
TOTALE FINALE	2	4	2	7	5	0	

Figura 1: Matrice di ponderazione delle criticità.

Analizzando i risultati ottenuti in Fig.1, dopo la visione e l'approvazione del responsabile di reparto, è stato possibile stilare la classifica mostrata in Tab.1. Sulla base dei risultati ottenuti, notando inoltre che molte criticità sono collegate tra loro, è stato deciso di progettare un sistema kanban all'interno del reparto cilindri. Questa scelta è stata presa sulla base dei tre seguenti fattori:

CLASSIFICAZIONE	CRITICITÀ	PUNTEGGIO (P.ti)
1°	Cr4	7
2°	Cr5	5
3°	Cr2	4
4°	Cr3	2
5°	Cr1	2
6°	Cr6	0

Tabella 1: Classifica delle criticità.

- È una soluzione diretta alle prime tre criticità risultate dall'analisi;
- È coerente con il JIT ed il reparto rispetta i gran parte i requisiti necessari;
- È coerente con la visione futura di ASSO WERKE s.r.l., comprendente il perseguimento della Lean Production.

4. Progettazione del sistema kanban all'interno del reparto cilindri

Sulla base del metodo da seguire per la progettazione di un sistema kanban, sono state pianificate ed eseguite, dal candidato in questione, le seguenti fasi di sviluppo dello stesso.

4.1 Scelta dei codici e valori iniziali dei KPIs

Come accennato precedentemente, le linee produttive all'interno di reparto sono due. Su una di esse, la linea 1, vengono prodotti solo tre codici, quelli con indice di rotazione più alto. Sulla linea 2, di conseguenza, vengono prodotti le restanti 38 tipologie di cilindri prodotti dall'azienda pisana. È stato deciso, quindi, di progettare il sistema kanban sui tre cilindri che vengono prodotti sulla linea 1 perché, oltre ad avere un'importanza strategica maggiore, essi formano il 35%-40% del fatturato totale del reparto. I tre cilindri verranno chiamati nel corso del progetto, per semplicità, C1, C2 e C3. Una volta scelta la linea ed i cilindri su cui progettare il sistema kanban, sono stati trovati i valori dei KPIs di riferimento nella situazione ante-progetto.

Codice	Quantità WIP per fase				C_u per fase (euro)				Valore WIP per fase (euro)			
	Q_{nic}	Q_{ver}	Q_{lav}	Q_{fin}	C_{unic}	C_{uver}	C_{ulav}	C_{ufin}	WIP_{nic}	WIP_{ver}	WIP_{lav}	WIP_{fin}
C1	199	324	220	259	20	33	42	52	3980	10692	9240	13468
C2	162	252	155	184	21	33	44	70	3402	8316	6820	12880
C3	75	154	81	115	19	33	40	50	1425	5082	3240	5750

Tabella 2: Situazione WIP AS-IS.

Come si nota dalla Tab.2, sono state individuate le quantità ed il valore iniziale delle WIP dei tre cilindri di riferimento, monitorando per due settimane i semilavorati presenti in ogni fase produttiva, facendone una media e moltiplicandola per il relativo costo unitario. In questa procedura è stato fondamentale verificare che, nel periodo preso a riferimento, la domanda dei tre cilindri non fosse quella massima per non sviare o falsare i risultati dell'analisi. Per quanto riguarda il TA, esso è risultato essere di circa otto giorni per tutti e tre i cilindri.

4.2 Scelta della tipologia di gestione del sistema kanban da utilizzare

È stato deciso di progettare un sistema kanban con gestione di reintegro a quantità costante. L'alternativa, la gestione ad intervallo costante, risulta inadeguata a causa dell'alta variabilità di richieste dei clienti riguardo i cilindri in questione. Sono stati utilizzati, inoltre, strumenti di Visual Planning per la gestione a vista del suddetto sistema ed è stato deciso di dimensionare dei supermarket da collocare al termine di ogni fase produttiva. In questo modo, eliminando i vari buffer intermedi, il reparto risulterà più ordinato e con una maggiore superficie libera, favorendo il transito e la mobilità di operai e carrellisti che lavorano presso la linea 1.

4.3 Dimensionamento dei supermarket del sistema kanban

Per trovare il numero corretto di kanban/contenitori da collocare in ogni supermarket, per ogni cilindro, è stata utilizzata la formula di calcolo per la gestione a quantità costante nel caso di cella flessibile. È necessario specificare che i supermarket di ogni fase sono stati dimensionati singolarmente per adattare al meglio il calcolo ad ogni contesto specifico della fase sulla base delle tipologie di lavorazioni e sui relativi tempi di set-up.

$$N_{kanban} = \frac{LT \times D_{MAX} \times (1 + FS)}{C}$$

Figura 2: Formula di calcolo per il dimensionamento dei supermarket.

I significati dei vari termini all'interno della formula sono:

- LT: Lead Time di approvvigionamento necessario alla produzione di un lotto di cilindri in una specifica fase, detto anche kanban cycle time, espresso in ore o in giorni;
- D_{MAX}: Domanda massima espressa in pezzi/ora o in pezzi/giorno;
- FS (Safety Factor): Scorta di sicurezza espressa in termini decimali;
- C: Capacità standard dei cassoni utilizzati;

Alcuni di questi termini sono comuni per tutte e quattro le fasi di calcolo, mentre il LT varia al variare della fase da dimensionare per adattare l'analisi al contesto specifico di riferimento. I termini rimasti standard sono quindi la capienza dei cassoni, la logica utilizzata per l'inserimento del FS e la domanda massima. Per quanto riguarda C, standardizzare la capienza dei cassoni in tutte le fasi produttive è stato utile soprattutto per facilitare il conteggio dei semilavorati agli operatori che si trovano a lavorare nelle varie fasi, garantendo l'omogeneità del numero di pezzi per cassone lungo tutto il ciclo produttivo. Per quanto riguarda FS, tale valore, nel caso del dimensionamento dei supermarket di un sistema kanban, non viene visto come multiplo della misura di incertezza. Nello specifico, se il kanban cycle time approssimato e il kanban cycle time effettivo, risultano molto vicini, è opportuno aggiungere un fattore di sicurezza FS per evitare che, su eventuali aumenti di domanda, il sistema risulti sottodimensionato; altrimenti tale valore può essere fissato a zero. Le linee guida utilizzate in questo progetto riguardanti questo argomento sono state le seguenti: se il kanban cycle time approssimato è risultato più grande di quello effettivo soltanto di un valore soglia uguale o inferiore del 5% allora è stato ricalcolato il numero di kanban, inserendo un FS per evitare di dimensionare il sistema troppo al limite, altrimenti

tale valore è stato fissato a zero. Nella Fig.3 è mostrata la formula di calcolo per ricavare il KCT_{appr}: il $KTC_{effettivo}$ è il kanban cycle time utilizzato nella formula di calcolo del dimensionamento, $Nkan_{eff}$ è il risultato del calcolo della formula del dimensionamento e $Nkan_{appr}$ è l'arrotondamento per eccesso del risultato effettivo del calcolo al primo numero intero. Questo calcolo è stato eseguito per ogni cilindro e per ogni fase di lavorazione. Per individuare la corretta D_{MAX} da inserire nella formula del dimensionamento, è stata fatta la seguente valutazione: è stato individuato il periodo bisettimanale (piano congelato di produzione di ASSO WERKE s.r.l.) con la domanda più alta, dei tre codici presi a riferimento, nell'arco degli ultimi tre anni. Il periodo temporale preso a riferimento è stato il suddetto perché è stato tenuto di conto sia di una situazione pre-Covid19 che post-Covid19. Il picco è stato trovato nel 2020, a conferma del fatto che il mercato automotive ha avuto una tendenza opposta alla maggior parte degli altri mercati. Trovato ciò, è stato sufficiente rapportare la domanda di questo periodo in giornaliera e, dove necessario, in oraria. È importante sottolineare, infine, che i tre codici in questione vengono prelevati dai clienti in maniera quotidiana e che le quantità richieste possono variare anche con stretto anticipo (anche due o tre giorni). Per il corretto utilizzo del LT nelle varie fasi produttive sono state fatte delle valutazioni ben specifiche perché, il corretto valore da utilizzare all'interno della formula, dipende dai set-up che i vari codici devono subire all'inizio delle varie lavorazioni, nel momento in cui la produzione passa da un cilindro ad un altro. Di seguito sono mostrate le valutazioni eseguite:

$$KCT_{appr} = \frac{KCT_{effettivo} \times Nkan_{appr}}{Nkan_{eff}}$$

Figura 3: Calcolo kanban cycle time approssimato.

-*Fase della nichelatura*: in questa fase tutti e tre i codici subiscono le medesime lavorazioni con i medesimi parametri produttivi. Grazie a questo fattore è stato possibile considerare questa fase come un'unica grande cella di lavorazione monoprodotto e, come LT, utilizzare il tempo trascorso tra quando il lotto di cilindri entra nella prima lavorazione (la pre-lavorazione) e termina la sesta (il forno a deidrogenazione).

-*Fase della verniciatura esterna*: questa fase è anche l'unica lavorazione che viene svolta in outsourcing. I codici impiegano più giorni per rientrare in reparto e dunque, in questo caso, è stato sufficiente rapportare correttamente tutti i valori presenti nella formula, dimensionando il suddetto supermarket in ottica giornaliera.

-*Fase delle lavorazioni meccaniche*: in questa fase ogni codice è soggetto a tempi di set-up quando si trova ad iniziare il suo ciclo di fase. Per trovare il corretto LT da utilizzare nel dimensionamento, è stato quindi utilizzato il modello della Pattern Production, avendo i tre

codici di riferimento sequenze di lavorazioni fisse ma con singole domande variabili. È stato quindi necessario calcolare, in successione: il carico di lavoro giornaliero della fase, il tempo di produzione effettivo della fase, la sequenza minima di set-up dei codici, il tempo disponibile per i set-up, il numero massimo di volte giornaliere che la sequenza di codici può essere realizzata, la dimensione dei lotti ottimali, il LT totale di ogni codice ed infine il LT di produzione finale da utilizzare all'interno della formula del dimensionamento.

-*Fase delle lavorazioni sul finito*: in questa fase è stata utilizzata la medesima logica ed il medesimo metodo di calcolo della fase delle lavorazioni meccaniche.

Fatte le suddette analisi e svolti i relativi calcoli, nelle Tab.3, Tab.4, Tab.5 e Tab.6 sono mostrati i risultati ottenuti riguardanti il dimensionamento dei supermarket.

FASE DELLA NICHELATURA		
Codice	N° kanban/contenitori	N° pezzi max
C1	5	120
C2	4	96
C3	2	48

Tabella 3: Supermarket nichelatura.

FASE DELLA VERNICIATURA ESTERNA		
Codice	N° kanban/contenitori	N° pezzi max
C1	10	240
C2	7	168
C3	4	96

***Tabella 4*:** Supermarket verniciatura esterna.

FASE DELLE LAVORAZIONI MECCANICHE		
Codice	N° kanban/contenitori	N° pezzi max
C1	6	144
C2	4	96
C3	2	48

Tabella 5: Supermarket lavorazioni meccaniche.

FASE DELLE LAVORAZIONI SUL FINITO		
Codice	N° kanban/contenitori	N° pezzi max
C1	7	168
C2	5	120
C3	3	72

Tabella 6: Supermarket lavorazioni sul finito.

4.4 Regolamento per la gestione a vista del sistema kanban

Come primo passo, per il supporto alla gestione a vista del processo, sono state definite, lungo i pressi della linea 1, delle aree di stoccaggio con funzioni ben specifiche. Esse, sulla base del colore del loro perimetro, hanno i seguenti scopi: Area Gialla: zona dedita ai codici non conformi derivanti da tutte le lavorazioni; Area Rossa: zona dedita agli scarti derivanti da tutte le lavorazioni, classificati per macchina e per turni; Aree per stoccaggi temporanei: zone collocate in ogni fase, dedite a codici che non hanno potuto terminare la loro fase produttiva per motivi eccezionali (interventi per manutenzione, scioperi, ecc.); Aree Blu (AREA STOCCAGGIO GREZZI, SPMK4, SPMK3 e SPMK2): zone contenenti specifici semilavorati e collocate in antecedenza alla fase di, rispettivamente, nichelatura, verniciatura esterna, lavorazioni meccaniche e lavorazioni sul finito; Area Verde (SPMK1): zona contente i prodotti finiti e collocata successivamente alla fase delle lavorazioni sul finito. Dopo aver definito le varie aree di stoccaggio, sono stati creati i cartellini/kanban di produzione e prelievo, strumenti fondamentali per fare da supporto all'intero processo in questione.

Figura 4: Kanban di produzione nichelatura.

Figura 5: Kanban prelievo verniciatura esterna.

Nella Fig.4 e Fig.5 è mostrato un esempio di ognuno. Entrambe le tipologie di cartellini contengono informazioni utili alla produzione e sono specifici sia per ogni cilindro che per ogni fase produttiva. Riguardo ai kanban di produzione, ne sono stati creati uno per ogni fase, per tutte le tre tipologie di cilindri, e si generano nel momento in cui, il processo, stabilisce che è necessario produrre un lotto di uno specifico cilindro, in una determinata fase produttiva, per reintegrare uno specifico supermarket. Riguardo ai kanban prelievo, a differenza di quelli di produzione, non esistono nella fase di nichelatura e si generano nel momento in cui, la fase produttiva a valle, intende prelevare una quantità di semilavorati nel supermarket della fase immediatamente a monte. Un ulteriore strumento di Visual Planning utilizzato per dare supporto al processo è il Kanban Wall. Esso è un tabellone, presente in ogni fase produttiva, nel quale sono visualizzati i giorni della settimana, ognuno contenente dieci tasche, nelle quali inserire i vari kanban di produzione e prelievo. In questo modo, gli operatori, conoscono esattamente cosa deve essere prodotto giorno per giorno, in maniera indipendente. L'intero processo kanban è un flusso continuo ma, a scopo di sintesi, viene mostrato di seguito il sotto-processo relativo alla fase delle lavorazioni sul finito. Per le altre tre fasi il funzionamento è il medesimo, con la unica differenza dell'evento "trigger": nel caso mostrato, esso è la richiesta effettiva di un prelievo da parte del cliente finale, mentre, nelle altre fasi, esso è l'arrivo di un kanban prelievo dalla fase produttiva più a valle.

Processo kanban - Fase delle lavorazioni sul finito: Avviene la richiesta di prelievo di una quantità Q di prodotti finiti dal SPMK1 da parte di un cliente. Se la quantità richiesta è disponibile, i cilindri vengono consegnati. Una volta fatto ciò, è necessario che il capo turno o gli operatori svolgano un controllo: se la quantità di cilindri rimanenti all'interno del SPMK1 è superiore alla differenza tra capacità massima dello stesso e un singolo lotto di produzione (di uno specifico cilindro, in questa specifica fase) il processo termina. Viceversa, se la quantità rimanente, risulta inferiore alla differenza sopra indicata, deve essere creato un kanban di produzione per il cilindro in questione e collocato nel Kanban Wall di questa specifica fase per reintegrare il SPMK1 il prima possibile; contemporaneamente deve essere generato un kanban prelievo e collocato da un operatore nel Kanban Wall della fase immediatamente a monte, in questo caso quella delle lavorazioni meccaniche, al giorno

stesso in cui si verifica la richiesta. Nel caso in cui, invece, al momento del prelievo del cliente, la quantità Q richiesta dal cliente, non fosse presente all'interno del SPMK1, devono essere immediatamente generati i rispettivi cartellini kanban di produzione e quello di prelievo. Grazie a questo processo, in tutte le fasi produttive, vengono prodotti soltanto i rispettivi semilavorati effettivamente richiesti, nel momento effettivo in cui si genera il relativo fabbisogno, evitando quindi la sovrapproduzione.

5. Situazione TO-BE e conclusioni

Nella Fig.6 è presente una bozza di Value Stream Map della linea 1 del reparto cilindri, mostrante i miglioramenti dovuti al processo kanban progettato. Nella parte inferiore viene mostrato il processo kanban stesso, mentre in quella superiore, il processo di livellamento della materia prima che il sistema informativo aziendale deve svolgere, sulla base degli ordini e dei forecast dei clienti, per far sì che siano sempre disponibili i cilindri grezzi necessari alla prima fase produttiva del processo. Dalla VSM è possibile, inoltre, notare come, grazie al progetto svolto, il processo produttivo dei tre codici presi a riferimento abbia subito miglioramenti sotto il punto di vista della standardizzazione e della continuità, mitigando o risolvendo le criticità in precedenza descritte. Riguardo al WIP, come è possibile notare dalla Tab.7, essi sono diminuiti per tutti e tre i cilindri, in tutte le varie fasi produttive. Inoltre, i $WIP_{TO\text{-}BE}$ sono stati calcolati in situazione di supermarket pieni ed essendo questo il "worst case", i miglioramenti, in molte situazioni, risultano anche più elevati. Con la progettazione del sistema kanban anche il TA è diminuito, arrivando ad una durata di circa 5 giorni per ogni cilindro; valore ricavato dalla somma dei vari LT delle quattro fasi produttive, trovati nel dimensionamento. Come sviluppi futuri, dopo l'implementazione di tale progetto, potrebbe essere presa in considerazione l'idea di ampliare l'utilizzo del sistema kanban anche alla linea 2 e proseguire sulla strada intrapresa della Lean Production, unita ad un'analisi costi-benefici che valuti l'eventuale convenienza ad internalizzare la lavorazione della verniciatura.

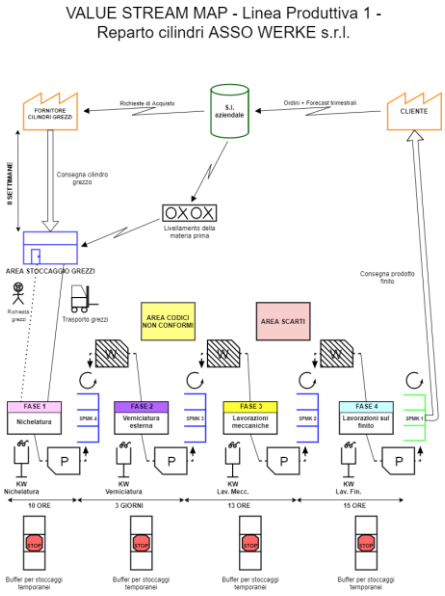

Figura 6: VSM linea 1 con sistema kanban.

	FASI	$Q_{AS\text{-}IS}$	$Q_{TO\text{-}BE}$	C_u	$WIP_{AS\text{-}IS}$	$WIP_{TO\text{-}BE}$	% miglioramento
C1	Nic.	199	120	20	3980	2400	39,70%
	Ver.	324	240	33	10692	7920	25,90%
	Lav. Mec.	220	144	42	9240	6048	34,50%
	Lav. Fin.	259	168	52	13468	8736	35,10%
C2	Nic.	162	96	21	3402	2016	40,70%
	Ver.	252	168	33	8316	5544	33,30%
	Lav. Mec.	155	96	44	6820	4224	38,10%
	Lav. Fin.	184	120	70	12880	8400	34,80%
C3	Nic.	75	48	19	1425	912	36,00%
	Ver.	154	96	33	5082	3168	37,70%
	Lav. Mec.	81	48	40	3240	1920	40,70%
	Lav. Fin.	115	72	50	5750	3600	37,40%

Tabella 7: Differenza WIP AS-IS e TO-BE.