

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PARMA

Dottorato di ricerca in INGEGNERIA INDUSTRIALE

Ciclo XXV°

Sistemi ibridi di programmazione e controllo
della produzione: verso un'applicazione della lean
manufacturing al settore Make-To-Order

Hybrid production planning and control systems:
towards an application of lean manufacturing to the MTO
sector

Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Ing. Marco Spiga

Tutor:

Chiar.mo Prof. Ing. Roberto Rizzo

Ill.mo Ing. Massimo Bertolini

Dottorando:

Ing. Giovanni ROMAGNOLI

a Chiara e Davide ...

ABSTRACT

Negli ultimi decenni, il concetto di lean production ha assunto sempre più, dapprima nel mondo anglosassone ed ultimamente anche in Italia, un ruolo di primaria importanza. La lean si propone come il paradigma manifatturiero di riferimento, resistendo alla competizione di altre filosofie produttive contemporanee (World Class Manufacturing, 6 σ , etc.).

Obiettivo del presente lavoro di tesi è indagare circa le origini e la definizione di lean, individuandone vantaggi e svantaggi e proponendo alcune soluzioni che si prefiggono di ovviare ai limiti individuati: dopo aver evidenziato come la VSM, strumento principe della lean, proponga solamente il passaggio a due sistemi di pianificazione e controllo della produzione (i.e. kanban e CONWIP), si è cercato di ampliare lo strumento VSM per consentire l'implementazione di sistemi PPC ibridi. Inoltre, questa tesi propone alcune implementazioni pratiche della lean in contesti caratterizzati da strategie produttive diverse rispetto a quelle impiegate in Toyota.

La prima direzione è stata percorsa principalmente dal punto di vista della ricerca scientifica, la seconda, invece, è stata percorsa tramite 3 collaborazioni e progetti di ricerca industriale che si propongono di relazionare i passi compiuti e le difficoltà incontrate nell'implementazione della lean in differenti aziende.

ABSTRACT

In the last decades, an ever-growing attention has been paid to the concept of lean production, both in the US and in Europe: lean has become the standard manufacturing paradigm, despite the competition of other production philosophies, such as World Class Manufacturing or 6 σ .

Goal of this thesis is to investigate the origins and the current definition of lean, by identifying advantages and disadvantages of the concept and proposing some solutions that aim to overcome these limits. Firstly, VSM is recognized as the main tool for implementing lean manufacturing. Unfortunately, this technique always leads to the implementation of two Production Planning and Control (PPC) systems (i.e. kanban and CONWIP).

This thesis presents some enhancements of the standard VSM tool that support the implementation of hybrid PPC systems. Furthermore, some practical implementations of lean are proposed and carried out in particular production environments, by reporting steps and complexities of 3 research projects developed with different firms.

Keywords: lean manufacturing, value stream mapping, hybrid production planning and control, CONWIP, synchro-MRP, workload control

1	Introduzione	6
1.1	Motivazioni	6
1.2	Struttura del lavoro di tesi	6
2	Glossario	7
3	Lean manufacturing: descrizione ed applicazioni	13
3.1	Le origini della lean manufacturing	13
3.2	Che cos'è la lean manufacturing	17
3.3	Vantaggi e limiti della lean manufacturing	20
3.3.1	Concetti fondamentali	20
3.3.2	Agenti di cambiamento	22
3.3.3	Modalità d'intervento	23
3.4	Lo strumento principale della lean: il Value Stream Mapping	24
3.4.1	Descrizione	24
3.4.2	L'analisi del sistema produttivo e la redazione della CSM	26
3.4.3	Miglioramento del sistema: dalla CSM alla FSM	29
3.4.4	I limiti della VSM	32
3.5	Un'applicazione pratica di lean manufacturing	34
4	Push, pull e tecniche ibride	35
4.1	I concetti di push e pull	35
4.1.1	Definizione collegata alla strategia aziendale di produzione	35
4.1.2	Definizione collegata alla pianificazione/autorizzazione della produzione	36
4.1.3	Definizione collegata al controllo del WIP	37
4.2	CONWIP	37
4.2.1	Il funzionamento	38
4.2.2	Differenti configurazioni di un sistema CONWIP	39
4.2.3	Estensione del CONWIP per un'applicazione in ambito MTO	40
4.3	synchro-MRP	40
4.4	WLC	41
4.4.1	Il funzionamento	41
4.4.2	Modifiche alla VSM per l'introduzione del WLC	46
5	Nel frattempo, la situazione italiana ...	47
5.1	Ridefinizione dei criteri generali per la pianificazione e il controllo di produzione in ambito alimentare: il caso Righi S.r.l.	47
5.1.1	Introduzione	47
5.1.2	Esigenze aziendali ed obiettivi di progetto	50
5.1.3	Il progetto ed i risultati	50
5.1.4	Conclusioni	56
5.2	Introduzione di logiche lean nella pianificazione e gestione delle commesse: il caso OTO Mills	57
5.2.1	Introduzione	57
5.2.2	Esigenze aziendali ed obiettivi del progetto	57

5.2.3	Il progetto ed i risultati	59
5.2.4	Conclusioni	64
5.3	Business Process Reengineering in ottica lean in un'azienda che produce per commessa: il caso Chronos BTH	65
5.3.1	Introduzione	65
5.3.2	Esigenze aziendali ed obiettivi del progetto	65
5.3.3	Il progetto ed i risultati	66
5.3.4	Conclusioni	69
6	Conclusioni e possibili sviluppi futuri	70
	Bibliografia	72

1 Introduzione

1.1 *Motivazioni*

In un contesto manifatturiero sempre più mondiale, ove la competizione per elevati livelli di qualità e innovazione ed il contenimento dei costi non si gioca più a carattere locale ma globale, il concetto di lean production ha assunto sempre più, dapprima nel mondo anglosassone ed ultimamente anche in Italia, un ruolo fondamentale agli occhi del mondo industriale e della ricerca scientifica: ormai la quasi totalità delle fiere di settore dedica spazi sempre più ampi a tecniche quali il kanban, lo SMED, il TPM, le 5 S ed il kaizen (tecniche che saranno in seguito introdotte e descritte). La lean si propone come il paradigma manifatturiero d'inizio 21° secolo, combinando elementi che risalgono alla prima metà del '900 e resistendo alla competizione di altre filosofie produttive contemporanee (quali, ad esempio, il World Class Manufacturing, l'Agile Manufacturing, il 6 σ ed il Business Process Reengineering, per citarne alcuni).

Obiettivo del presente lavoro di tesi è in primo luogo quello di indagare sulle origini e la definizione di lean, descrivendo i suoi strumenti caratteristici ed individuandone vantaggi e svantaggi. Successivamente, si proporranno soluzioni che si prefiggono di ovviare ai principali limiti individuati. In particolare, si estenderà l'implementazione della lean attraverso l'utilizzo di differenti sistemi di pianificazione e controllo della produzione ed attraverso una sua applicazione in contesti che applicano strategie di produzione molto diverse rispetto a quelle impiegate in Toyota.

1.2 *Struttura del lavoro di tesi*

Questo lavoro di tesi è strutturato nel seguente modo: nel capitolo 2 si definiranno i principali termini utilizzati ed il significato ad essi conferito. Il capitolo 3 descrive dapprima le origini della lean manufacturing, per poi definire il significato assunto dal concetto lean, insieme con i suoi pregi e difetti; il paragrafo 3.4 introduce quindi lo strumento fondamentale della lean, il Value Stream Mapping (VSM), ed una dettagliata lista dei difetti imputabili e questo noto strumento. Nel paragrafo 3.5 si riporta invece un'applicazione pratica della lean, svolta dall'autore presso un'azienda straniera.

Il capitolo 4 si dedica quindi a proporre soluzioni ad uno dei principali difetti della VSM: dopo la descrizione dei concetti di push, pull e hybrid, si propongono estensioni della VSM che consentano l'introduzione nello stato futuro riprogettato di sistemi ibridi di pianificazione e controllo della produzione: il paragrafo 4.2 si occuperà del CONWIP, presentando una sua applicazione in un'azienda MTO, il paragrafo 4.3 tratterà del synchro-MRP e di come ampliare la VSM per consentire la sua implementazione, mentre il paragrafo 4.4 farà lo stesso con il WLC.

Il capitolo 5 si occuperà invece della limitata applicazione industriale della lean, che la rende adatta soprattutto ad aziende con produzioni ripetitive. Attraverso 3 casi studio, infatti, si riporteranno i punti salienti che contraddistinguono l'implementazione di logiche lean in aziende italiane. Il paragrafo 5.1 si occupa di una PMI alimentare, il 5.2 tratta di una grande azienda metalmeccanica ed il paragrafo 5.3 riporta un'applicazione lean in un'azienda che opera per progetti.

Infine, le conclusioni del lavoro sono riportate nel capitolo 6.

2 Glossario

Una materia scientifica deve necessariamente basarsi su una terminologia precisa e standardizzata: sfortunatamente, la gestione delle operations è una tematica utilizzata in ambito industriale, scientifico, consulenziale e divulgativo. Per questo motivo, spesso, il significato attribuito agli stessi termini può essere diverso di situazione in situazione. Si provvede quindi in seguito a definire il significato dato ad alcuni termini ricorrenti in questo lavoro di tesi.

Inoltre, come suggerisce lo stesso nome, la gestione delle operations è nata in ambito anglosassone, e la traduzione in italiano non sempre fornisce l'esatto corrispondente del lemma inglese di partenza in un solo vocabolo. Pur preferendo l'utilizzo di termini italiani, si è quindi optato per tradurre le parole il cui significato italiano è uguale (o almeno molto simile) rispetto al significato inglese, ed a non tradurre i termini per i quali questa analogia non è sufficientemente rispettata, oppure la locuzione italiana di arrivo risulti essere troppo lunga. Le parole di seguito sono riportate in italiano, ed il vocabolo inglese è indicato tra parentesi. Per il glossario riportato, si fa principalmente riferimento ad [1].

Stazione o centro di lavoro (*workstation, workcentre*): insieme di una o più macchine, o anche stazioni di lavorazione manuali, che svolgono funzioni essenzialmente identiche, quali ad esempio una stazione di tornitura (composto da uno o più macchine), una stazione di collaudo (che si compone di uno o più banchi di collaudo) eccetera.

Codice o pezzo (*part*): è una materia prima, un componente, un sottoassemblato o un assemblato che è lavorato presso una stazione di un impianto.

Lotto (*batch*): un insieme di codici raggruppati per esigenze funzionali. Si dividono in **lotti di movimentazione** (*transfer batches*), ovvero il numero di parti che vengono accumulate prima di effettuare il trasferimento alla stazione successiva, e **lotti di processo** (*process batches*) ovvero i codici che sono raggruppati per essere processati ad una stazione. Questi ultimi si suddividono in lotti di processo sequenziale o simultaneo. I primi, indicano il numero di pezzi (o di lotti di movimentazione) che sono consecutivamente processati da una stazione prima di effettuare un changeover per la lavorazione di un altro pezzo o famiglia. I lotti simultanei, invece, indicano il numero di parti che sono processate contemporaneamente su di una stazione discontinua, quale ad esempio una fornace.

Materie prime (*raw materials*): sono pezzi acquistati al di fuori dell'impianto produttivo (ad es. barre metalliche o prodotti di fusione).

Componenti (*components*): sono pezzi singoli ideati per essere assemblati in prodotti di maggiore complessità (quali ad es. ruote dentate).

Subassemblati (*subassemblies*): sono unità assemblate progettate per essere a loro volta assemblate in entità più complesse (ad es. trasmissioni).

Assemblati o assemblati finali (*assemblies or final assemblies*): sono assemblati o prodotti finiti, che possono a loro volta essere materie prime per altri impianti/aziende.

Prodotto finito (*end item*): un pezzo venduto direttamente ad un cliente, sia esso o meno un assemblato finale.

Distinta base (*bill of materials; BOM*): è una lista di materie prime, componenti, subassemblati e assemblati finali, comprensivi delle loro quantità, necessari per realizzare un prodotto finito. La distinta ha quindi lo scopo di esplicitare la correlazione tra prodotti finiti e gli elementi che li compongono.

Materiali di consumo (*consumables*): sono materiali quali punte, materiali chimici, gas, lubrificanti o altro, utilizzati presso una stazione, i quali non diventano parte integrante del prodotto

finito che sarà venduto. In modo più formale, si distingue tra pezzi e materiali di consumo nel fatto che i primi sono indicati in distinta, mentre i secondi no.

Routing (- or line): la sequenza di stazioni attraversate da un pezzo; il routing inizia a livello dei magazzini materie prime, componenti o subassemblati e prosegue sino ad un magazzino intermedio (semi-assemblati) o ad un magazzino prodotti finiti. La distinta base ed il routing ad essa associato contengono le informazioni fondamentali per realizzare un prodotto finito.

Ordine cliente o ordine (customer order or order): una richiesta da parte di un cliente di un determinato prodotto, in un certo numero, da consegnarsi entro una certa data. All'interno dello stabilimento, un ordine può indicare anche la richiesta di ripristinare un livello di scorta a magazzino.

Data di consegna (due date; DD): data entro la quale l'azienda ed il cliente concordano la consegna di un ordine.

Ordine di acquisto (purchase order): documento cartaceo o elettronico che può contenere più ordini cliente.

Accettazione d'ordine (order acceptance): atto con cui si accettano le richieste espresse nell'ordine cliente (consegnare un determinato prodotto in un certo numero ed entro una certa data).

Rilascio d'ordine (order release): atto con il quale si avvia la lavorazione di un ordine e le materie prime necessarie per quest'ordine vengono trasformate in WIP.

Lista di rilascio (release list or backlog list): lista contenente la sequenza ordinata di jobs che devono essere introdotti in produzione (rilasciati). Quando la lista di rilascio si riferisce ad ordini che non sono stati soddisfatti da magazzino (sistema MTS) o ad ordini effettivi già pervenuti al sistema (sistema MTO) si usa generalmente il termine anglosassone *backlog list*.

Job (-): si riferisce all'insieme di materiali fisici che attraversano un routing, insieme alle informazioni logiche ad essi associate (quali ad es. disegni, distinte etc.). Benché ciascun job sia causato o da un ordine cliente, o da una previsione di un ordine cliente (previsione della domanda), spesso non vi è corrispondenza biunivoca tra jobs e ordini. Questo perché (i) i job sono misurati a livello di codici, ovvero di parti singole e non insiemi di parti che compongono un assemblato richiesto in un ordine e (ii) il numero di parti che vengono processate in un job dipende anche da considerazioni di efficienza (dimensioni dei lotti economici) e spesso quindi non corrisponde alle quantità richieste in un ordine cliente.

Stabilimento (shopfloor): la porzione di azienda che ospita i macchinari e le persone direttamente impegnati in produzione.

Processo (process): sequenza logica di operazioni correlate che convertono input in output. Tutte le aziende, infatti, anche se strutturate per funzioni, in realtà funzionano per processi orizzontali, i quali non sono immediatamente visibili né generalmente formalizzati, ma rappresentano "ciò che viene fatto in azienda".

Mappatura dei processi (process mapping): rappresentazione grafica dei passi e dei flussi di un processo, con la relativa definizione degli input e degli output, delle modalità di svolgimento delle singole attività, dei controlli e delle misurazioni effettuate per monitorare i processi e delle funzioni aziendali sotto la cui responsabilità il processo è collocato. La mancanza di una corretta mappatura dei processi aziendali si rivela una carenza fondamentale, in quanto questa mappatura permette di chiarire tutti gli aspetti, le relazioni, i punti di forza e di debolezza dell'intera azienda

Flow shop (-): configurazione di stabilimento in cui il flusso dei materiali (pezzi) è unidirezionale. Può a sua volta suddividersi in **Pure Flow Shop (PFS)**, nel caso in cui i jobs procedano seguendo tutti rigorosamente una determinata sequenza di stazioni; nel caso di **General Flow Shop (GFS)**, invece, i jobs si muovono sempre in una sola direzione, ma con la possibilità di visitare (o meno) un sottoinsieme di stazioni, consentendo in questo modo una certa personalizzazione del prodotto [2].

Job Shop (-): configurazione di stabilimento in cui il flusso dei materiali (pezzi) non è unidirezionale. Può a sua volta suddividersi in **Pure Job Shop (PJS)**, nel caso in cui i routings siano completamente casuali ed i jobs possano incominciare e concludere la lavorazione ad una qualsiasi stazione, permettendo la massima personalizzazione; nel caso di **General Job Shop (GJS)**, i jobs hanno routings multi-direzionali, ma si può individuare una direzione predominante del flusso, consentendo in questo modo una buona personalizzazione del prodotto [2].

Produttività (throughput): il prodotto medio ottenuto in uscita da un processo (sia esso una macchina, una stazione, una linea o l'intero impianto) è definito come throughput (**TH**) o produttività del sistema. A livello di azienda, la produttività si misura in termini di produzione venduta per unità di tempo (e non realizzata!); ciononostante, i manager aziendali solitamente controllano quanto è prodotto da un sistema, piuttosto che quanto da esso è venduto. Quindi, a livello di impianto, linea o stazione, la produttività indica la quantità media di codici non difettosi realizzati per unità di tempo. In una linea composta di stazioni in serie dedicate ad una singola famiglia di prodotti e ove ogni prodotto attraversa ogni stazione esattamente una volta, la produttività di ogni stazione sarà la medesima (a meno di scarti). In un impianto più complesso, ove i prodotti seguono diversi routings, la produttività di una singola stazione sarà data dalla somma delle produttività dei routing che l'attraversano (questo quando il TH sia misurato in valore o in tempo di lavorazione, in modo da poter sommare flussi differenti). Quando la produttività sia misurata come valore di costo (€), anziché in valore di vendita o prezzo, allora prende il nome di **costo dei prodotti (cost of goods sold)**.

Capacità (capacity): il limite massimo della produttività di un processo produttivo. Nella maggior parte dei casi, rilasciare lavoro all'interno di un sistema al pari o al di sopra della sua capacità crea l'instabilità del sistema stesso (i.e. l'aumento di WIP senza limiti). Solamente sistemi molto particolari possono operare stabilmente alla loro massima capacità.

Magazzino materie prime (raw materials inventory): la fonte dell'input fisico all'inizio di un processo produttivo. Tipicamente, i magazzini a monte di un processo produttivo sono denominati magazzini materie prime anche se il materiale che contengono ha già subito qualche trattamento.

Magazzino semilavorati o magazzino prodotti finiti (crib inventory location or finished goods inventory): è il nome del magazzino a valle di un processo produttivo, a seconda che contenga prodotti semilavorati o prodotti finiti. I magazzini semilavorati sono utilizzati per posizionare pezzi diversi all'interno dell'impianto prima di ulteriori lavorazioni o assemblaggi. I magazzini prodotti finiti sono invece utilizzati per contenere i prodotti prima della spedizione al cliente.

Work In Process (-; WIP): le scorte tra i magazzini materie prime ed il magazzino prodotti finiti dei routing. Siccome i routing iniziano e finiscono in magazzino, il WIP è il prodotto tra gli stessi, ma non all'interno di essi. Nonostante nel linguaggio generale, a volte, con il termine di WIP si intendano anche le scorte in magazzino, in questa trattazione il work-in-process non comprende le scorte a magazzino.

Indice di rotazione delle scorte (turnover ratio, or inventory turns): il rapporto tra la produttività di un sistema ed il suo livello medio di magazzino. Tipicamente, la produttività è misurata su base annuale, e quindi questo rapporto rappresenta il numero di volte in cui il magazzino è rifornito, o subisce una rotazione, ogni anno. I prodotti considerati dipendono dalla specifica misurazione effettuata: in un magazzino, ad esempio, tutti i pezzi sono prodotti finiti, e quindi le rotazioni sono date dal rapporto tra produttività e magazzino prodotti finiti; in un impianto, tipicamente, si considerano sia i prodotti finiti che il WIP, e quindi le rotazioni si ottengono dal rapporto tra produttività e magazzino prodotti finiti più WIP. Comunque, è fondamentale considerare l'univocità delle unità di misura della produttività e delle scorte considerate.

Tempo ciclo (*cycle time; CT*): il tempo medio concesso ad una data stazione per la lavorazione o il montaggio di un dato pezzo.

Flow Time (*- or throughput time; FT*): dato un certo routing, il FT indica il tempo medio trascorso tra quando si rilascia un job in produzione all'inizio del routing e quando lo stesso raggiunge il magazzino alla fine del suo routing, ovvero il tempo che il pezzo spende come WIP. Questa definizione, seppur precisa, è limitata, poiché definisce il FT solamente rispetto ad un routing. È invece prassi comune utilizzare il concetto di FT anche per prodotti finiti complessi, in questo caso, però, la definizione diviene più ambigua (si pensi ad un'automobile: dove si comincia a misurare il FT? Dall'inizio dell'assemblaggio del prodotto finito? Oppure dall'inizio del preassemblaggio di subassemblati ed assemblati?).

Lead Time (*-; LT*): dato un routing od una linea, si indica LT il tempo concesso per la produzione o assemblaggio di un pezzo su quel routing o linea. Si evince dalla definizione precedente che si tratta di una costante gestionale, diversamente dal FT, che è spesso variabile.

Make To Stock (*-; MTS*): strategia aziendale ove la produzione/assemblaggio avviene sulla base di una domanda anticipata, ovvero prevista. Quando è possibile effettuare un'accurata previsione della domanda, la strategia MTS può rivelarsi particolarmente efficace; inoltre, è la strategia aziendale che presenta il minimo valore di LT. D'altra parte, la strategia MTS limita sensibilmente la personalizzazione ottenibile sui prodotti finiti [3]. Nei sistemi MTS, la DD coincide con la data dell'effettivo ordine cliente; in tutti gli altri sistemi la DD è successiva alla data dell'ordine.

Assemble To Order (*-; ATO*): strategia aziendale ove l'assemblaggio avviene a fronte di uno specifico ordine cliente e mediante l'utilizzo di una serie di componenti o subassemblati standard. Questa strategia accresce la personalizzazione ottenibile sui prodotti finiti rispetto al sistema MTS, a fronte di un LT maggiore [3].

Make To Order (*-; MTO*): strategia di produzione aziendale ove la realizzazione dei prodotti finiti avviene sulla base di un ordine cliente. Questo metodo di produzione, che può prevedere combinazioni di componenti standard e non, accresce ulteriormente il LT necessario per il ricevimento del prodotto, ma aumenta anche la personalizzazione ottenibile sui prodotti finiti rispetto a MTS ed ATO [3].

Engineer To Order (*-; ETO*): strategia di produzione aziendale ove l'analisi ingegneristica, la progettazione e la successiva realizzazione dei prodotti finiti avvengono sulla base di un ordine cliente. Quando la produzione avviene secondo il metodo ETO il termine prodotto è spesso sostituito dal termine **progetto** (combinazione di risorse, umane e non, riunite in un'organizzazione temporanea per raggiungere un obiettivo definito in termini di tempo, costo e qualità con risorse limitate). Questo metodo di produzione può prevedere l'utilizzo di materie prime, componenti o assemblati standard, ma impone la realizzazione ex-novo delle distinte base e dei routings per realizzare il prodotto finito. Il sistema ETO è perciò adatta alla realizzazione di prodotti finiti unici, quali interi impianti produttivi, navi, centrali elettriche eccetera [3].

Livello di servizio (*service level*): in un sistema MTO, si definisce livello di servizio la probabilità che il flow time sia minore o uguale al lead time - $p(FT \leq LT)$. Questa definizione implica che, per una data distribuzione del FT, si può aumentare il livello di servizio aumentando il LT e viceversa.

Fill rate (*-*): in un sistema MTS, si definisce fill rate la frazione di ordini soddisfatta dal magazzino.

Lateness (*-*): la differenza tra la DD di un ordine e la sua data di completamento; può essere positiva se il job è in ritardo e negativa quando esso è in anticipo. Per questo motivo, il suo valor medio è un dato poco significativo (si deve monitorare anche la sua varianza).

Ritardo (*tardiness*): è definito come la lateness di un job quando esso è in ritardo (quindi per valori di lateness positivi) e 0 in caso contrario. Ovvero $tardiness = \max(0; lateness)$.

Makespan (*-*): tempo necessario per completare un certo numero di jobs.

Utilizzazione (*utilization; u*): è la frazione di tempo in cui una stazione non è inattiva per la mancanza di pezzi da lavorare; ovvero la somma delle frazioni temporali in cui la stazione è attiva o ha codici in attesa che non possono essere lavorati a causa di guasti, set-up o altri impedimenti. Si può computare il livello di utilizzazione come rapporto tra la velocità di arrivo dei codici alla stazione e l'effettivo rateo di produzione della stazione stessa (definita come la massima produttività media della stazione una volta considerati gli effetti di tutti i detrattori o impedimenti nell'orizzonte temporale di interesse).

Produttività del bottleneck (*bottleneck rate; r_b*): è la produttività (pezzi o jobs su unità di tempo) della stazione caratterizzata dal più alto valore di utilizzazione nel lungo periodo. Con il termine lungo periodo si intende un orizzonte temporale tale da bilanciare le fermate dovute a guasti, pause degli operatori, problemi di qualità eccetera. La produttività del bottleneck è un parametro chiave per la descrizione di un routing: in linee che consistono in un singolo routing, ove il prodotto attraversa ogni stazione esattamente una volta e non vi sono scarti, la velocità di arrivo dei pezzi a tutte le stazioni sarà la medesima, quindi la stazione con il valore di utilizzazione più elevato sarà quella con la minore capacità nel lungo periodo (ovvero la più "lenta"). Invece, in stabilimenti con routing più complicati o scarti, il bottleneck può non risultare la stazione più lenta: una stazione più veloce, ma con un rateo di arrivo dei codici proporzionalmente superiore sarà caratterizzata da una maggiore utilizzazione.

Tempo minimo di processo (*raw process time; T₀*): è la somma dei tempi ciclo medi di ciascuna stazione della linea nel lungo periodo, ovvero il tempo medio che impiega un singolo job ad attraversare la linea "vuota", così da non dover attendere in nessuna coda.

Variabilità (*variability*): qualità della non uniformità di una classe di entità; indica l'uniformità (o non uniformità) di un certo numero di grandezze. Può essere (ma non necessariamente è) associata alla casualità, in quanto si compone di una variabilità controllabile –che avviene a causa di una decisione presa in modo conscio o inconscio- e di una variabilità casuale.

Casualità (*randomness*): l'essere o accadere senza uno scopo, ragione o modalità definita, ovvero a conseguenza di eventi al di là dell'immediato controllo. La casualità può essere apparente –ovvero dovuta all'incompletezza o imperfezione delle informazioni possedute- o reale –ovvero essere insita nell'universo, per cui anche possedendo tutte le informazioni possibili questi continuerebbe a comportarsi in modo casuale.

Fermate incontrollabili (*preemptive outages*): categorie di fermate di macchina o stazione che avvengono indipendentemente dalla volontà; sono considerate fermate incontrollabili i guasti, l'interruzione di servizi generali (blackout o simili), le emergenze o calamità eccetera. Queste fermate possono accadere, e spesso avvengono, durante la lavorazione di un job.

Fermate controllabili (*nonpreemptive outages*): categoria di fermate di macchina o stazione che devono necessariamente avvenire, ma il cui accadimento è parzialmente sotto controllo, ovvero può essere in parte dilazionato. Sono considerate fermate controllabili la sostituzione di utensili, la manutenzione preventiva, le pause ed i cambi turno. Queste fermate tipicamente avvengono tra due job diversi, piuttosto che durante la lavorazione di un job.

Tempo medio al guasto (*mean time to failure; MTTF*): tempo medio che intercorre tra due fermate incontrollabili, o tra l'inizio produzione ed una fermata incontrollabile.

Tempo medio di riparazione (*mean time to repair; MTTR*): tempo medio per ripristinare lo stato di funzionamento del sistema a causa di una fermata incontrollabile.

Disponibilità (*availability; A*): rapporto tra il tempo di funzionamento netto ed il tempo di funzionamento lordo di una macchina a causa delle sole fermate incontrollabili.

$$A = \frac{MTTF}{MTTR + MTTF}$$

Starvation (-): condizione di una macchina o stazione che non può lavorare poiché non alimentata con WIP dalle stazioni/magazzini a monte.

Blocking (-): condizione di una macchina o stazione che non può lavorare poiché le stazioni/magazzini a valle hanno raggiunto il massimo livello di WIP ammissibile, ovvero sono “piene”.

Scheduling (-): azione del determinare quando ogni attività deve iniziare e finire, in funzione della sua durata, delle attività ad essa precedenti e seguenti, delle relazioni di precedenza, della disponibilità delle risorse e della data di consegna del prodotto o progetto.

Dispatching (-): ordinare un determinato insieme in un certo modo (tipicamente i jobs in coda).

Regola di carico (dispatching rule): regola secondo la quale si esegue il dispatching in una qualsiasi coda.

Sistema di pianificazione e controllo della produzione (production planning and control system; PPC): sistema che procura e fornisce informazione per gestire efficientemente il flusso dei materiali, utilizzare efficientemente le risorse umane e tecnologiche, coordinare le attività interne con quelle dei fornitori e comunicare con i clienti informazioni concernenti le esigenze del mercato. I compiti di questo sistema (d'ora in avanti abbreviato con l'acronimo anglosassone PPC) sono molto più complessi in un ambiente MTO per diverse ragioni, quali la maggiore lunghezza e complicazione dei routings ed una più grande variabilità dei tempi ciclo delle stazioni per diversi ordini: siccome i magazzini prodotti finiti dei sistemi MTO sono ridotti o addirittura inesistenti, questi sistemi si basano esclusivamente sui loro PPC per fronteggiare il problema della variabilità della domanda, dei FTs e del flusso. Nonostante ciò, la valutazione e preselezione di un PPC adeguato è spesso basata più su ragionamenti intuitivi e sull'esperienza di consulenti che non su valutazioni oggettive delle caratteristiche aziendali [2].

Push (-): una stazione opera secondo logica push quando la sua produzione è pianificata, ovvero la stazione non ha un limite esplicito al proprio WIP (lavora fintanto che c'è materiale da lavorare). Un sistema PPC si dice push quando tutte le sue stazioni operano in ottica push (i.e. MRPII).

Pull (-): una stazione opera secondo logica pull quando la sua produzione è autorizzata, ovvero la stazione lavora o meno in funzione di un feedback proveniente da un punto più a valle di un routing (ha un limite esplicito al proprio WIP). Un sistema PPC si dice pull quando tutte le sue stazioni operano secondo la logica pull (i.e. JIT puro).

Ibrido (hybrid): un sistema produttivo si dice ibrido quando combina elementi push ed elementi pull. L'aggettivo ibrido non può essere utilizzato per una singola stazione, poiché essa si troverà per forza ad operare secondo una logica push o pull.

Sistema ibrido ad integrazione orizzontale (horizontally integrated hybrid system; HIHS): caratteristica di un sistema in cui alcune stazioni operano in logica push ed altre in logica pull.

Sistema ibrido ad integrazione verticale (vertically integrated hybrid system; VIHS): caratteristica di un sistema in cui il livello più alto (pianificazione della produzione di medio/lungo periodo) opera in logica push ed il livello più basso (programmazione e schedulazione della produzione) opera in logica pull.

3 Lean manufacturing: descrizione ed applicazioni

In questo capitolo si procederà dapprima a tracciare le origini della lean manufacturing ed a ripercorrere la storia che, partendo dal Toyota Production System degli inizi del '900, ha portato all'enorme successo della lean ai giorni nostri. Si procederà quindi con una descrizione della lean manufacturing; per poi individuarne e descriverne vantaggi e svantaggi. In seguito, si riporteranno le caratteristiche del principale strumento di mappatura dei processi utilizzato in ambito lean: la Value Stream Mapping (VSM). Essa sarà descritta, si analizzeranno le modalità e le tecniche di redazione della Current State Map (CSM) e si spiegherà come dalla CSM si può reingegnerizzare il sistema e passare alla Future State Map (FSM), che sarà poi implementata nel sistema analizzato. Infine, dopo aver presentato e descritto i principali limiti della VSM, si riporterà un caso studio riguardante due applicazioni pratiche della lean in un'azienda manifatturiera.

3.1 *Le origini della lean manufacturing*

La lean production (altrimenti nota con i termini di lean manufacturing, lean thinking e spesso abbreviata semplicemente come lean) è uno dei paradigmi più influenti degli ultimi due decenni nell'ambito delle operations [4]. Essendo ampiamente nota ed utilizzata sia a livello manifatturiero che a livello gestionale, la lean può essere osservata da due differenti punti di vista: da una prospettiva olistica o ad un livello più pratico [5]; [6]. Indipendentemente dal punto di vista, il principale obiettivo della lean è quello di soddisfare le attese del cliente finale nel miglior modo possibile, attraverso un processo di eliminazione degli sprechi teoricamente infinito [7]. Si definiscono sprechi, e sono quindi obiettivo del processo di eliminazione, tutti gli impieghi di risorse che non creano valore per cliente finale. A sua volta, il concetto di valore è definito come ogni processo, attività e/o azione per cui il cliente finale sarebbe disposto a pagare, perché arricchisce il prodotto o servizio acquistati.

La lean è stata fondamentale derivata dal sistema produttivo Toyota (*Toyota Production System; TPS*) e deve il nome a [8], ove fu utilizzato per la prima volta negli anni '90, nonostante numerosi studi sul Just-In-Time (JIT) e sul TPS fossero stati pubblicati circa un decennio prima [9]; [10].

Le origini della lean quindi sono indissolubilmente collegate al TPS, ed a quella grande storia di successo industriale che ha portato l'azienda fondata da Sakichi Toyoda nel 1890 per la produzione di telai tessili in legno a divenire, nel corso del 2008, la prima azienda automobilistica al mondo per numero di veicoli e per fatturato, superando la General Motors [11]. In particolare, l'interesse per il TPS si propone di determinare come e quando il sistema produttivo Toyota fu documentato per il pubblico dominio, ovvero quando il mondo esterno si rese conto dei progressi del sistema produttivo giapponese.

La storia della Toyota Motor Company (successivamente Toyota Motor Corporation) iniziò nel 1933 come divisione della Toyoda Automatic Loom Works, con l'obiettivo di produrre automobili e sotto la guida di Kiichiro Toyoda, figlio di Sakichi. In quel periodo, il mercato giapponese era dominato dagli impianti locali di produzione di automobili americane (General Motors e Ford su tutte), e la morte di Sakichi nell'ottobre del 1930 complicò il compito del figlio con difficoltà finanziarie [12]. Ciononostante, Kiichiro prevalse, con l'aiuto di una contemporanea legge giapponese sulla produzione automobilistica, e cominciò a realizzare dapprima i motori Tipo A, usati sull'automobile A1 e

sull'autocarro G1, e, dal 1936, l'automobile Modello AA, con ampia ispirazione dai prodotti americani, che è riconosciuto come il primo modello Toyota [13].

La Toyota Motor Company divenne una società indipendente nel 1937, ed in quell'occasione il nome dell'azienda fu trasformato da Toyoda in Toyota, al fine di semplificare la pronuncia e per motivi scaramantici (in giapponese, il nome odierno dell'azienda si crea attraverso 8 colpi di pennello, e l'8 è considerato un numero di buon auspicio). Con l'avvento della seconda guerra mondiale la produzione di automobili fu interrotta, e la depressione successiva alla guerra atomica consegnò la Toyota ad un periodo di scorte invendute e problemi economici via via crescenti [12]. Per questo ed altri motivi (tra i quali alcune importanti rivendicazioni sindacali), nel 1950 Kiichiro si dimise dal ruolo di presidente dell'azienda, e furono create le divisioni Motor Manufacturing e Motor Sales. In quell'anno, Eiji Toyota, cugino di Kiichiro, divenne amministratore delegato della divisione produttiva e, ironia della sorte, fu inviato negli Stati Uniti al fine di apprendere i metodi manifatturieri americani. Al termine di questo soggiorno negli USA, Eiji ritornò in Giappone con l'obiettivo di introdurre in Toyota e nel mercato nipponico le tecniche di produzione di massa che ormai erano sviluppate nell'America del secondo dopoguerra, nonostante i limiti economici della sua azienda e del suo paese non permettessero i grandi lotti produttivi tipici di Ford e GM.

Tuttavia, Eiji Toyoda ebbe la fortuna di incontrare sulla propria strada un ingegnere meccanico che, assunto nel 1932 presso la Toyoda Automatic Loom Works, nel 1943 passò al settore automobilistico: Taiichi Ohno; a lui infatti si deve il principale impulso e gran parte del merito per lo sviluppo del TPS. Anzi, alcuni scrittori affermano che furono proprio la mancata esperienza del settore automobilistico ed il conseguente approccio privo di preconcetti e basato sul "buon senso" gli strumenti principali per la realizzazione della filosofia JIT, un sistema radicalmente diverso rispetto alla "MRP-crusade" americana [13].

L'analisi del sistema produttivo occidentale portò Ohno a concludere che il metodo "batch-and-queue" (lotti e code) presentava due limiti intrinseci: in primo luogo, la ricerca di elevate efficienze ed alti tassi di utilizzazione delle risorse (e la conseguente produzione di grandi lotti) non era in grado di rispondere alla varietà dei prodotti finiti richiesta dai clienti – quella che viene definita variabilità potenzialmente positiva [1]. Secondariamente, secondo Ohno, il risultato di lotti produttivi numerosi è un elevato livello di scorte, che impegna capitali e occupa spazio a magazzino, aumentando sensibilmente i problemi collegati alla difettosità dei prodotti. Questo problema, d'altronde, era stato notato dallo stesso Henry Ford, quando le vendite del suo Modello T (il modello del quali si poteva "*scegliere il colore che si voleva, purché fosse nero*") precipitarono a discapito di auto usate che offrivano la scelta di colori ed equipaggiamento opzionale, quale ad esempio la Chevrolet.

A partire dal 1948, Ohno estese gradualmente a tutta l'azienda il suo concetto di produzione in piccoli lotti, che aveva cominciato ad applicare nel reparto di lavorazione alle macchine utensili di motori che egli stesso gestiva. Il suo obiettivo, già 65 anni fa, era quello di ridurre i costi attraverso l'eliminazione degli sprechi, un concetto sviluppato dallo stesso Ohno mentre ancora lavorava su telai automatici e realizzato attraverso il *jidoka*, o la macchina autonoma, un concetto che sarà fondamentale per il TPS. Nel 1956, così come aveva già fatto Eiji Toyoda, anche Ohno visitò fabbriche di produzione automobilistica negli Stati Uniti; e fu durante queste visite che elaborò i concetti di "supermarket di linea" e "kanban" (cartellino, in giapponese) [14]. Queste visite, d'altronde, non erano infrequenti né alla cultura giapponese né alla famiglia Toyoda, la quale, durante una visita effettuata

nella Germania del primo dopoguerra, presso l'azienda Focke-Wulff aircraft aveva appreso il concetto di "Produktionstakt", che sarà poi adattato dalla Toyota e dal JIT nel concetto di **Takt Time**¹.

Nel suo testo, Ohno riporta i seguenti due pilastri del TPS.

- **Autonomation** (ovvero automazione intelligente, o automazione con un tocco di umanità): è la caratteristica di una macchina che metta in pratica il principio del jidoka, ovvero che implementi alcune funzioni di controllo oltre a funzioni produttive, permettendo di prevenire e/o segnalare la produzione di pezzi non conformi, ridurre o eliminare la sovrapproduzione e focalizzare l'attenzione sulla comprensione profonda dei problemi eliminandone le cause.
- **JIT**: per usare le parole di Kiichiro, "*in un'azienda complessa quale quella automobilistica, il miglior modo di lavorare dovrebbe essere quello di avere tutte le parti necessarie per l'assemblaggio a bordo linea esattamente in tempo per l'assemblatore*".

Affinché questo "modello" potesse funzionare, si doveva ragionare per piccoli lotti produttivi e di movimentazione, ovvero in modo antieconomico, secondo il tradizionale ragionamento lotti e code. Per questo motivo, fu compito di Ohno ripensare le modalità di changeover delle stazioni, in modo da garantire minori tempi di setup e quindi la possibilità di realizzare crescenti varietà di prodotti in (sempre più) piccoli lotti. Il processo di riduzione dei tempi di setup avviato da Ohno avrebbe trovato, a partire dal 1955, l'aiuto di Shigeo Shingo, il padre del sistema **SMED**² [15]. Il risultato di questo processo portò sul mercato giapponese un'ampia varietà di automobili a prezzi competitivi, alterando la logica americana della produzione di massa ed avviando quella che, vista dal presente, fu una vera e propria rivoluzione manifatturiera, pari a quella avviata da Ford agli inizi dal '900.

La Toyota avviò, quindi, un lento processo di riduzione dei lotti di produzione e di acquisto, che si estese anche a monte in tutta la sua filiera e, benché avviato nel 1948, vide decenni di cicliche iterazioni, miglioramenti ed apprendimenti, così da poter considerare questa capacità di miglioramento ed apprendimento continuo il vero cuore del successo del Toyotismo, che ne fa un sistema ibrido di elementi presi dal contesto statunitense e successivamente modificati ed adattati alla realtà giapponese dell'epoca. Incredibilmente, nulla del TPS fu formalmente documentato fino al 1965, anno in cui il sistema kanban fu esportato ai fornitori di Toyota: fino a quell'anno, gli sviluppi precedentemente riportati rimasero inosservati, non tanto per motivi di segretezza industriale, quanto perché lo sguardo di tutto il mondo manifatturiero osservava la direzione opposta. Parafrasando le parole di Robert Hall "il sistema Toyota è un maestro silenzioso, che non può dirti che cosa stia facendo neppure in giapponese" [12]. Inoltre, lo stesso sistema Toyota fu elaborato gradualmente, per divenire quello che, a partire dal 2001, si definisce "The Toyota Way": non esisteva, quindi, prima degli anni '80, alcuna guida che documentasse questo metodo.

La grande occasione per osservare quel che succedeva al di là del Pacifico venne data agli Stati Uniti dalle grandi crisi petrolifere degli anni '70, che furono anche lo stimolo per la nascita dell'IMVP (International Motor Vehicle Program) presso il prestigioso MIT di Boston. Obiettivo del programma IMVP, che partiva con l'orizzonte temporale di un quinquennio (1979-1983), era quello di studiare il futuro dell'automobile, e portò ad un testo intitolato proprio "The future of the automobile", pubblicato nel 1984 [16]. Nonostante il progetto fosse basato a Boston, l'obiettivo era quello di costruire una rete internazionale di collegamenti e contatti sull'argomento, in modo da sensibilizzare

¹ Il **Takt Time** definisce la velocità con cui deve procedere il flusso produttivo, stabilendo ogni quanto tempo un prodotto debba spostarsi da una fase all'altra del flusso produttivo affinché la produzione ed il consumo siano sincronizzati.

² **Single Minute Exchange of Dies**, ovvero il cambio formato effettuato in un numero di minuti a singola cifra.

l'opinione pubblica mondiale sul tema del programma: tra il personale non americano che ha partecipato al programma si possono elencare ricercatori britannici, tedeschi e giapponesi. Un ruolo importante all'interno dell'IMVP fu assunto da Dan Jones, direttore europeo di una fase del programma, e Jim Womack, direttore della ricerca dell'IMVP a partire dal 1983. Questa rete di ricercatori a livello internazionale fu un'importante elemento di successo per il programma IMVP, e comprendeva già numerosi autori che avrebbero poi contribuito a realizzare [8].

Dopo un periodo speso nella gestione delle tematiche politiche, doganali e fiscali che avevano portato, a partire dal 1970, ad un simile successo delle automobili giapponesi negli Stati Uniti, il programma cominciò ad occuparsi di tematiche legate alle operations, ed in particolare di quali aspetti dessero alle aziende giapponesi un vantaggio competitivo. Tra le giustificazioni date per spiegare l'ormai evidente e crescente superiorità competitiva emergono le seguenti [12].

- Minori costi di produzione (in particolare minore costo della manodopera e tasso di cambio vantaggioso).
- Migliore tecnologia.
- Differente cultura, votata all'efficienza ed al rispetto.
- Politiche nazionali.
- Buona sorte.

A partire dall'inizio degli anni '80 cominciava quindi a delinarsi negli Stati Uniti (alcune prove, infatti, confermano che nello stesso periodo questa cognizione non era ancora diffusa in Europa) la consapevolezza che il vantaggio giapponese risiedeva nel processo manifatturiero [17].

Sulla base di questa consapevolezza, e con un finanziamento trilaterale proveniente da Giappone, Europa e Stati Uniti, nel 1985 si aprì la seconda fase del IMVP, con l'obiettivo di descrivere, e soprattutto misurare, il gap manifatturiero tra l'Occidente ed il Giappone, tramite indicatori oggettivi e comparabili e mediante l'utilizzo della tecnica di benchmarking di 4 impianti di assemblaggio di automobili: Flins (Francia), Framingham (USA), Takaoka (Giappone) e l'impianto NUMMI (una joint venture tra GM e Toyota) di Fremont (USA). I risultati di questo studio hanno portato a numerosi articoli e tesi di dottorato, ed hanno inoltre contribuito a gettare le basi per [8]: la pubblicazione di un testo coerente fu dettata dal modo in cui i risultati dello studio furono accolti quando presentati alla prima conferenza, nonché dalla quantità e qualità dei dati stessi. Il compito fu assegnato a Womack, Jones e Roos, nessuno dei quali aveva esperienza di pubblicazioni aziendali o business novels. Il libro *"The machine that changed the world - The story of lean production"*, che non si può considerare un testo accademico, mostra come la lean non sia solo un insieme di tecniche e strumenti relativi alla produzione manifatturiera, bensì una filosofia che approccia il sistema fisico, informativo e gestionale di un'organizzazione dal punto di vista opposto rispetto a quello solitamente utilizzato dalla produzione di massa: non tanto focalizzandosi sui concetti di efficienza e produttività, quanto sul valore per il cliente finale e sugli sprechi.

Con questo testo [8], era nata in occidente la lean production. Ma [8] non si limitò a certificare la nascita della lean, bensì ne confermò l'applicabilità anche in contesti produttivi diversi dal Giappone. Lo stesso Womack affermò: *"crediamo che le idee fondamentali della lean production siano universali - applicabili ovunque e da chiunque - e molte imprese non giapponesi lo hanno già imparato"*.

3.2 *Che cos'è la lean manufacturing*

Sin dalla prima volta che si ha a che fare con il concetto di lean manufacturing, una sequenza di domande sorge spontaneamente:

- Che cos'è la lean?
- Come si definisce?
- Quali sono i suoi punti di comunanza e le differenze rispetto ad altri concetti delle operations?
- E quali i suoi vantaggi e svantaggi rispetto a questi altri concetti?

In questo paragrafo, si affronteranno le prime due domande di questa lista. Nonostante sembri scontato che un concetto così diffuso come la lean debba avere una definizione chiara e concisa, la realtà non è così: alcuni autori si sono sforzati di definire il concetto di lean, mentre altri ricercatori si sono addirittura chiesti se il concetto stesso sia chiaramente definito oppure no [18]. Come anticipato nel paragrafo 3.1, la letteratura scientifica è concorde sul fatto che la lean esista in (almeno) due dimensioni: una pratico/operativa ed una strategico/filosofica [4]; [6].

Altri autori, in modo forse eccessivo, si spingono a definire quattro dimensioni della lean, componendo la matrice 2 x 2 che in ascissa presenta la dimensione operativa o strategica, ed in ordinata la dimensione pratica o filosofica, arrivando così a definire i seguenti quattro stati [18]:

1. **stato pratico/operativo**: la lean come un insieme di strumenti e metodi (the lean toolbox);
2. **stato pratico/strategico**: la lean come un processo di cambiamento continuo (becoming lean);
3. **stato filosofico/operativo**: la lean come un obiettivo o una condizione fissa (being lean);
4. **stato filosofico/strategico**: la lean come filosofia (lean thinking)

Nonostante la disputa riguardo alla validità del concetto, da una prospettiva pratico/operativa la lean comprende tecniche e strumenti applicabili a livello di stabilimento e di supply chain che si propongono di ridurre gli sprechi ed aumentare il valore per il cliente finale. Questi mezzi comprendono, ad esempio, il kaizen³, il kanban e la tecnica one-piece-flow, la manutenzione preventiva, la metodologia delle 5 S⁴ e l'approvvigionamento JIT, tra le altre.

Dal punto di vista filosofico/strategico, invece, la lean si propone di integrare sinergicamente gli strumenti precedentemente illustrati per il raggiungimento dei seguenti obiettivi: (i) riduzione del WIP, (ii) livellamento dei FTs, (iii) aumento della qualità e della sicurezza di prodotti e processi, (iv) miglior comprensione del processo produttivo ed integrazione tra i reparti, (v) maggiore autonomia della forza lavoro, (vi) aumento della produttività e (vii) risparmio economico. Riportando direttamente la mission di Toyota [19]: *“la lean richiede un modo di pensare che si focalizzi sulla creazione di un flusso di valore in produzione, che funzioni senza interruzione e nella logica del one piece flow; un sistema pull che risalga dalla domanda cliente finale a richiedere la produzione dei materiali utilizzati alla stazione successiva in piccole quantità e brevi intervalli; ed una forte cultura per il miglioramento”*.

³ Termine giapponese che significa cambiare verso il meglio e che viene tradotto in modo impreciso come miglioramento continuo, perdendo di originalità rispetto al ciclo di Deming dal quale deriva ma con il quale non coincide.

⁴ Le 5 S indicano un metodo di organizzazione del posto di lavoro basato su una lista di 5 termini giapponesi che iniziano tutti con la lettera S: *seiri, seiton, seiso, seiketsu, e shitsuke*.

In quanto autori dei due testi che hanno inventato il nome, spesso la descrizione della filosofia lean è affidata a Womack e Jones [7]; [8]; la lean si concentra quindi su un processo di eliminazione degli sprechi teoricamente infinito e scandito dai seguenti 5 principi:

1. definire in modo preciso il valore dal punto di vista del cliente finale (**value**);
2. identificare la sequenza di attività che costruisce il valore (**value stream**);
3. implementare il concetto di flusso nella sequenza di attività precedentemente individuata, ovvero costruire una progressione fluida e bilanciata di fasi che aggiungono valore senza interruzioni e discontinuità (**flow**);
4. lasciare che sia il cliente finale a tirare l'intero processo, ovvero a dettare la "portata" del flusso (**pull**);
5. perseguire la perfezione, attraverso la tecnica del miglioramento continuo (**perfection**).

Come illustrato, il punto di partenza dell'intero processo è il concetto di valore, ed il concetto ad esso opposto che è definito spreco. Rifacendosi direttamente al TPS, e con l'ausilio della lingua giapponese, la lean suddivide la vasta categoria degli sprechi in tre tipologie: *muda*, *muri* e *mura*. Con il termine *muda* si intende lo spreco vero e proprio, la futilità o l'inutilità di un'azione. *Muri* indica l'impossibilità, la eccessiva difficoltà o l'irraggiungibilità di un obiettivo, ed è utilizzato per rappresentare il sovraccarico di un processo o una risorsa. *Mura*, infine, significa irregolarità, variabilità o non uniformità, ed è utilizzato per indicare appunto gli sprechi collegati alla mancata implementazione di un flusso omogeneo di valore tirato dal cliente finale.

A sua volta, il concetto di muda (che in inglese è stato univocamente tradotto con il termine *waste*, spreco, trascurando il significato e l'importanza delle altre due tipologie di spreco, *mura* e *muri*) è stato coniugato in quelli che sono univocamente riconosciuti come i "7 tipi di sprechi", ed ai quali quasi ogni esperto aggiunge un ottavo punto, sempre diverso. I 7 sprechi originali individuati in Toyota sono i seguenti:

- **sovrapproduzione** – produrre di più, prima o più velocemente di quanto richiesto dal cliente;
- **immagazzinamento** – giacenza di materie prime, WIP o prodotti finiti senza che sia loro aggiunto valore;
- **attese** – risorse o pezzi in attesa di lavorazioni per essere completate o in attesa di altre componenti per l'assemblaggio;
- **movimentazione** – spostamento non necessario di persone o macchinari all'interno del processo;
- **trasporto** – spostamento non necessario di materie prime, WIP o prodotti finiti all'interno e all'esterno del processo;
- **difetti** – ispezione, ripetizione o correzione di un processo o attività per errori;
- **sovraprocessazione** – trattamento eccessivo rispetto a quanto richiesto dal cliente o reso disponibile dalla tecnologia.

Una volta definite le tipologie di spreco, tutte le attività aziendali possono essere inserite in tre tipologie: **attività a valore** (*Value Adding; VA*), **attività non a valore** (*Non Value Adding necessary; NVAn*) e **sprechi** (*Non Value Adding; NVA*). Le VA sono tutte e sole le attività (o processi) che aggiungono valore per il cliente finale; le attività NVAn sono attività o processi che, pur non aggiungendo valore per il cliente finale, sono necessarie nelle attuali condizioni di lavoro (ovvero non possono essere direttamente eliminate), e gli sprechi sono attività che non creano valore e non sono nemmeno necessarie (e va da sé che le NVA saranno le prime ad essere eliminate) [20].

Come indicato da Womack e Jones, solitamente, la prima analisi del Value Stream fornisce informazioni sconcertanti: tempi di attività a valore a volte inferiori al 10%, NVAn che si attestano intorno al 30 ÷50% ed attività NVA che a volte arrivano al di sopra del 50%! Tuttavia, lo svolgimento di una corretta mappatura del flusso di valore necessita strumenti che non sono ancora stati illustrati, e sarà quindi ripresa in seguito.

Un ultimo aspetto importante nella lean è il concetto giapponese di kaizen, il cosiddetto miglioramento continuo. Nonostante la traduzione dal giapponese della parola kaizen significhi esclusivamente miglioramento, senza riferimenti alla filosofia dietro di esso o alla continuità di questa operazione, la traduzione che è ormai unanimemente riconosciuta di questo termine è appunto il miglioramento continuo (questo si deve probabilmente allo spirito emulativo per gli eventi kaizen svolti in Toyota, che erano effettivamente continui e guidati da una filosofia precisa, come illustrato in [19]). Con questo termine, quindi, si intende oggi un processo il cui scopo travalica il semplice miglioramento in ambito produttivo: è un processo che, se svolto correttamente, permette di individuare ed eliminare gli sprechi (ove con il termine sprechi si intendono tutte le coniugazioni date dal giapponese ai termini *muda*, *muri* e *mura*), umanizza l'ambiente di lavoro, pone tutto il personale aziendale su uno stesso piano (idealmente dalla dirigenza sino alle varie maestranze) e insegna loro come svolgere esperimenti sul proprio lavoro utilizzando un metodo che si potrebbe definire scientifico.

Il **kaizen** spesso si manifesta attraverso eventi o giornate, guidate da un **sensei** (insegnante o maestro), ed è diventato ormai lo strumento principale di applicazione della lean. Gli aspetti fondamentali del kaizen sono:

- è un progetto di breve durata: di solito da 1 a 8 giorni;
- è estremamente specifico e ad elevato coinvolgimento: il team si dedica a temi ristretti e specifici, quali la progettazione di una cella produttiva, la riduzione di guasti, attese e tempi di set up;
- è estremamente efficace: si implementa immediatamente quanto proposto, portando a risultati tangibili che suffragano (o meno) il cambiamento;
- offre soluzioni temporanee e generalmente grezze, ma tangibili;
- interessa un team interfunzionale e multilivello.

Nella lean, si possono distinguere due tipi di kaizen: flow kaizen e process kaizen. Questi si integrano e si completano. Il primo, consiste in un'attività di miglioramento globale del flusso del valore. Viene condotto dal management e, solitamente, rappresenta la fase di partenza di un progetto lean. L'output del flow kaizen è solitamente il piano globale, o il progetto per intero, all'interno del quale si integreranno poi le singole attività focalizzate sull'abbattimento locale degli sprechi (process kaizen). Quest'ultimo è tipicamente operativo e breve, viene condotto direttamente in stabilimento. Il suo scopo è quello di implementare azioni tangibili per eliminare gli sprechi ed utilizza gli strumenti di miglioramento precedentemente esposti.

Concludendo, quindi, si può definire la lean come un tentativo (o meglio, uno degli ultimi tentativi) di affrontare il tema dell'efficienza di un'organizzazione, attraverso l'attenzione sulla distinzione tra valore e spreco ed un'ottimizzazione del flusso di valore che sia tirata dal consumatore finale. In questo, una serie di strumenti e metodi compongono una filosofia che prende spunto dalla particolarissima storia e cultura del paese in cui essa si è sviluppata e da una semplice domanda: "per che cosa sarebbe disposto a pagare il cliente finale?"; senza dare per scontato degli assunti fondamentali ma analizzando criticamente ed empiricamente che cosa è valore. Da questo punto di vista, essa non è che una parte della storia del management (e dell'operations management in

particolare) che, partendo dalla prima azienda moderna (l'arsenale di Venezia con i suoi 5.000 operai impiegati nei picchi di produzione), include lo studio del moto di Taylor, Andrew Carnegie ed il "movimento efficiente" di Ford, per arrivare alla produzione globalizzata del 21° secolo.

3.3 *Vantaggi e limiti della lean manufacturing*

Al fine di definire la validità del concetto di lean manufacturing, si svolgerà in questo paragrafo il paragone con un altro concetto molto influente emerso alla fine del 20° secolo ed incentrato sulla qualità: il 6 σ (letto six sigma). La storia dei due concetti presenta aspetti molto simili, nonostante l'attenzione sia principalmente concentrata su aspetti diversi. Così come la lean ha origini nella filosofia JIT originata in Toyota, così il 6 σ ha origini dalla filosofia TQM (Total Quality Management), anch'essa nata in Giappone; se il concetto di JIT, una volta importato negli USA, ha assunto il nome di lean, così il TQM, adottato dalla Motorola nella seconda metà degli anni '80, è stato ribattezzato come six sigma. Se la lean si sarebbe poi basata sullo strumento kaizen ed il ciclo di Deming (il ciclo Plan-Do-Check-Act; PDCA), il six sigma imponeva la metodologia MAIC (Measure-Analyze-Improve-Control), eccetera.

Riprendendo quindi la domanda posta all'inizio del paragrafo 0, quali sono le analogie e le differenze tra la lean ed il 6 σ ? La risposta è stata tratta principalmente da [1] e [18].

3.3.1 Concetti fondamentali

3.3.1.1 *Qualità*

Nonostante si sia dimostrato quanto la lean derivi da JIT, uno dei cui obiettivi era proprio il raggiungimento di una difettosità nulla, il concetto di qualità non riceve le stesse attenzioni nella lean in confronto alla letteratura TQM/6 σ . Si ripete spesso quanto la diminuzione del WIP causata dal JIT sia uno strumento che permetta, oltre che di ridurre i costi, di sottolineare i problemi. Utilizzando il noto paragone con la navigazione fluviale (si veda ad esempio Figura 1), alti livelli di WIP permettono di mascherare la presenza dei problemi in produzione. I problemi collegati alla qualità, alla variabilità dei lead times dei fornitori, dei tempi di set-up e delle macchine, nonché i problemi collegati al design dei nuovi prodotti (solo per citarne alcuni) sono tutti mascherati dalla presenza di un elevato livello di WIP che impedisce agli stessi di emergere in superficie. Questo non elimina i problemi, ma li rende meno visibili, a scapito di maggiori costi e valori di flow time. Ma, d'altra parte, la presenza di questi ostacoli rende pericolosamente controproducente la diminuzione dei valori di WIP se non accompagnata da un'adeguata eliminazione agli sprechi (o, per dirla come [1], una costante riduzione della variabilità).

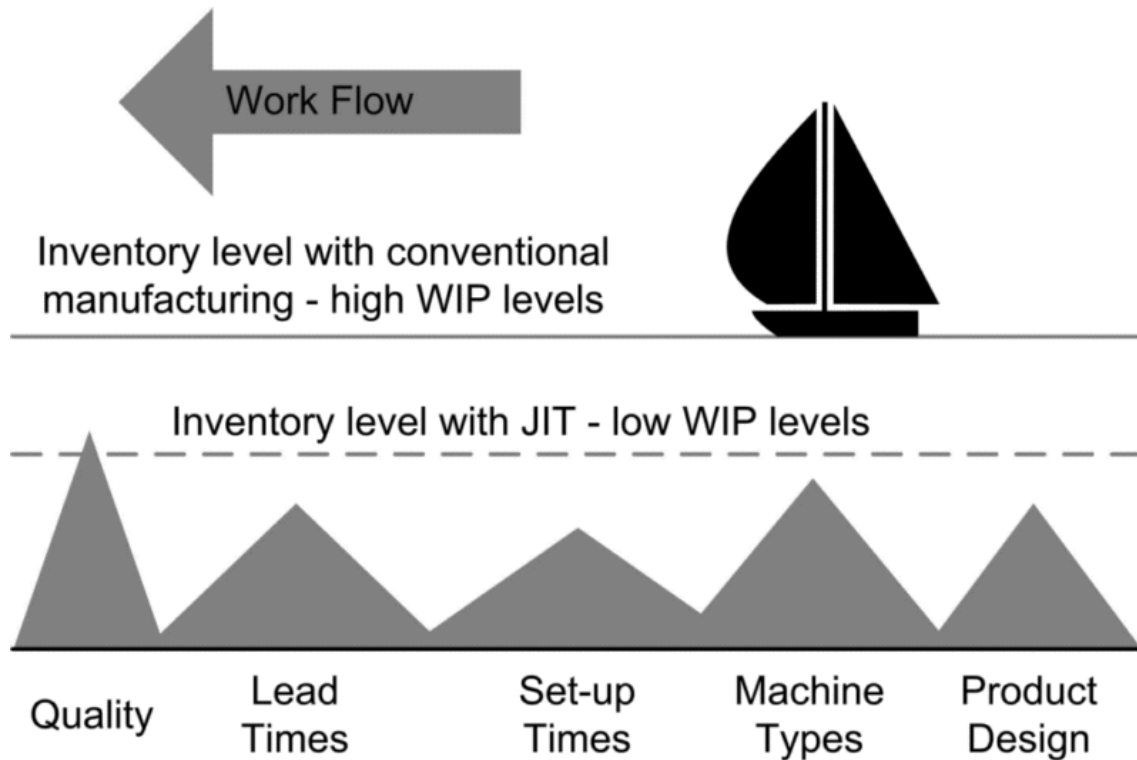


Figura 1: l'effetto del livello di WIP sulle problematiche di produzione.

Emerge quindi come la riduzione di risorse impiegate richiesta dalla lean implichi, nel breve periodo, una diretta riduzione dei costi, e nel lungo periodo richieda una costante soppressione degli sprechi e sia quindi uno stimolo continuo per il miglioramento continuo.

D'altronde, la riduzione degli sprechi è anche una tematica importante per il TQM/6 σ , anche se mascherata sotto la bandiera della riduzione dei costi collegati alla scarsa qualità; ma, pur mirando entrambi in modo più o meno marcato alla riduzione degli sprechi, la definizione di spreco è molto diversa. Nella lean, come illustrato, gli sprechi sono definiti dai concetti di muda, mura e muri, mentre il concetto dei costi collegati alla scarsa qualità del TQM risponde ad una definizione molto più generale.

3.3.1.2 Punto di vista sulla organizzazione

Un elemento che sicuramente accomuna la lean ed il 6 σ , e che probabilmente deriva dalla cultura del paese in cui entrambe si sono originate, è la visione olistica della organizzazione in cui si opera. La leggera differenza tra le due visioni sistemiche delle realtà aziendali, se proprio si deve cercare, consiste nel fatto che la lean si occupi quasi sempre dell'intera filiera produttiva, non limitando il proprio punto di vista ad un solo impianto o anche ad impianti multipli della stessa organizzazione (si vedano a proposito [21] e [22]). Nel 6 σ , invece, l'aspetto sistemico viene più spesso visto a livello della struttura interna di una organizzazione, concentrando l'attenzione sull'importanza della collaborazione ed integrazione tra i reparti e, soprattutto, tra le persone di diverse funzioni e livelli.

3.3.1.3 Importanza assegnata alla forza lavoro

Da questo punto di vista le opinioni sulla lean sono fortemente discordanti. Nonostante l'aspetto umano e l'importanza data allo stesso fossero e siano temi fondamentali nella mission di Toyota, e conseguentemente nel JIT, una critica che spesso si muove nei confronti della lean production è il fatto che consideri poco o nulla la forza lavoro, sintomo che "si è perso qualcosa per strada". I sostenitori della lean spesso presentano prospettive fortemente manageriali e/o strumentali, considerando il

personale di produzione solamente come risorse produttive che devono essere guidate o da scelte illuminate del management di medio/alto livello, o attraverso strumenti che impediscano errori e mancata qualità, come il concetto di autonomazione (il jidoka di Taichi Ohno) e di poka yoke⁵. Dal punto di vista dell'importanza assegnata alla forza lavoro, invece, l'approccio del TQM/6 σ è meno soggetto a critiche, imputando in modo più omogeneo importanza alla componente operaia.

3.3.1.4 *Distribuzione delle responsabilità tra il management e la forza lavoro*

Anche in quest'ambito, lean e 6 σ sono molto simili, pur presentando piccole differenze: l'opinione del 6 σ è che il management di medio alto livello debba costruire strutture che agevolino la produzione dei prodotti in qualità, mentre la lean sembra più centrata sull'utilizzo di metodi e strumenti che permettano di ridurre gli sprechi (e quindi accrescere la qualità) limitando il più possibile il fattore umano.

3.3.2 Agenti di cambiamento

3.3.2.1 *Il miglioramento continuo e il concetto di apprendimento*

La posizione della lean nei confronti dell'apprendimento è duale: se da un lato, infatti, il miglioramento continuo è fortemente incentivato e favorito dalla lean, dall'altro, i concetti di apprendimento sono stati trascurati nel passaggio dal JIT alla lean. Come precedentemente si è accennato, la letteratura lean è tendenzialmente debole sugli aspetti "umani" (ovvero correlati alla condotta della manodopera), favorendo gli aspetti metodologici e strumentali per ottenere il miglioramento delle performances dei sistemi. Infine, altri aspetti centrali della lean, che devono sicuramente essere accompagnati da un forte apprendimento (anche se solitamente si parla di apprendimento collettivo, senza specificare dettagliatamente i riceventi di questo apprendimento), sono quelli della standardizzazione del lavoro e della flessibilità ed intercambiabilità delle maestranze. Il TQM/6 σ , invece, pone maggiormente l'accento sulla stimolazione della creatività individuale e sugli sforzi dei singoli ai fini di un apprendimento generale dell'intera organizzazione [23].

3.3.2.2 *Importanza dei processi*

Una differenza importante tra lean e 6 σ è indubbiamente l'attenzione rivolta ai processi: mentre infatti la letteratura incentrata sulla qualità (TQM, le norme della serie ISO 9000 ed il 6 σ) suddivide le azioni aziendali in processi, sottoprocessi ed attività, la lean si basa più sovente sul concetto di flusso di valore (value stream).

3.3.2.3 *L'importanza di feedback nella gestione*

L'importanza dei feedback nella gestione, ovvero il management by facts, è un tema condiviso sia dalla lean che dal 6 σ . La prima, però, non sottolinea esplicitamente il concetto, lasciandolo sottinteso nella descrizione delle pratiche lean, che spesso usano strumenti analitici che forniscono i dati di feedback necessari per la gestione. Il 6 σ , invece, si concentra più direttamente sull'analisi della variabilità attraverso gli strumenti statistici che sono una sua caratteristica peculiare [23].

⁵ Termine giapponese che indica una scelta progettuale o un'apparecchiatura che, limitando il modo in cui un'operazione può essere svolta, forza l'utilizzatore ad una corretta esecuzione della stessa ed evita così gli errori di distrazione.

3.3.3 Modalità d'intervento

3.3.3.1 Applicazione del metodo scientifico

Probabilmente in questo punto si possono riscontrare le principali differenze tra lean manufacturing e la letteratura sulla qualità (TQM/6 σ). Entrambe, infatti, fanno uso del metodo scientifico, in diversi modi e con differenti metodologie, al fine di analizzare il sistema, proporre il cambiamento e misurare le performances. Nonostante ciò, gli strumenti proposti da un approccio difficilmente sono presenti anche nell'altro e viceversa (si pensi alla Value Stream Mapping ed agli strumenti statistici di controllo del processo come peculiarità dei due diversi approcci). Quello che è inoltre diverso, è bene sottolinearlo, è l'obiettivo delle misurazioni/analisi. Nel 6 σ , esse sono funzionali all'identificazione dei problemi per proporre, e successivamente controllare, la loro risoluzione. La lean, invece, si basa su di osservazioni più generali per identificare gli sprechi, ed utilizza le misurazioni allo scopo di sincronizzare le attività produttive con la domanda di mercato, ovvero per ottenere il valore di takt time [14].

3.3.3.2 Team di miglioramento

Un punto comune di lean e 6 σ è sicuramente il miglioramento, ed il modo per ottenerlo. Se i circoli della qualità sono riportati nella maggior parte della ricerca sul 6 σ , il kaizen ritorna spesso nella lean, come strumento di risoluzione dei problemi e di miglioramento continuo (si veda a proposito il paragrafo 0).

3.3.3.3 Analisi dei requisiti richiesti dal mercato

Nonostante la lean si concentri parecchio sul valore nell'ottica del cliente finale, la letteratura lean è perlopiù carente in metodi e strumenti che considerino gli interessi dei clienti, siano essi interni o esterni all'azienda. Contrariamente a questo, la letteratura su TQM/6 σ si occupa molto di più delle esigenze dei clienti, che debbono essere il punto di partenza e l'obiettivo del miglioramento aziendale e della ricerca della qualità.

3.3.3.4 Collaborazione tra azienda e fornitori

Anche questo è un punto in comune tra lean e 6 σ : entrambe sottolineano come il successo dell'organizzazione sia strettamente collegato ad una proficua e duratura collaborazione tra azienda e fornitori, con particolari sinergie ottenibili dalla coordinazione del miglioramento continuo.

3.3.3.5 Gestione dei processi

Il termine "processo" (si veda definizione nel glossario) è inteso in modo diverso da lean e 6 σ . Quest'ultimo si concentra in modo molto maggiore sulla mappatura, analisi, miglioramento e successiva gestione dei processi aziendali, visti come il motore principale delle azioni all'interno dell'organizzazione (come si fanno le cose). Diversamente, la lean concepisce su due diversi piano il concetto di processo e quello di attività: i primi, che costituiscono e coordinano l'intero processo produttivo (o addirittura l'intera supply chain) saranno affrontati e migliorati attraverso la VSM. A livello locale, invece, le attività sono migliorate attraverso strumenti come la metodologia 5S, lo SMED, il jidoka e gli heijunka box, per citarne alcuni. Con il termine heijunka box si intende uno strumento per la pianificazione visiva che consiste in un casellario in cui ogni colonna rappresenta un intervallo temporale ed ogni riga rappresenta un singolo prodotto o attività; i singoli cartellini saranno poi

posizionati in determinate caselle per indicare il prodotto/attività che li richiede e l'istante temporale in cui sono richiesti. Si veda a proposito l'immagine di Figura 2.

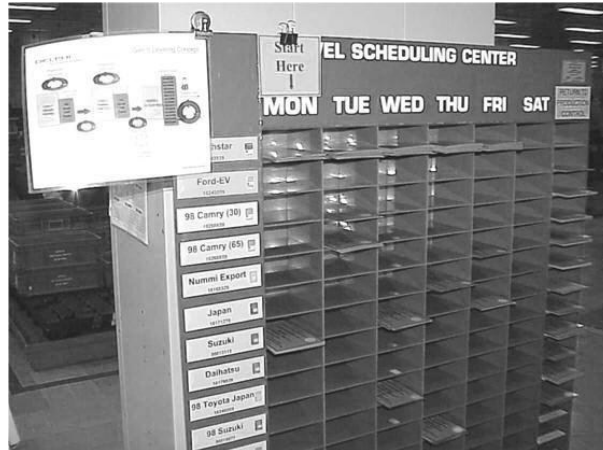


Figura 2: heijunka box.

Si può quindi concludere il paragone tra lean e 6σ dicendo che i due approcci sono, a livello filosofico/strategico, abbastanza simili, condividendo in particolare la visione sistemica dell'organizzazione, l'attenzione per il cliente finale ed il concetto di perfezione/miglioramento continuo. Ad un livello più operativo, invece, lean e 6σ differiscono maggiormente per la tipologia degli strumenti utilizzati. Riassumendo il tutto in una sola frase, si può dire che i due approcci guardano la stessa cosa (il successo presente e futuro di un'organizzazione) da due punti di vista e con due chiavi di lettura differenti (da una parte la qualità ed i costi ad essa correlati, dall'altra l'efficienza e gli sprechi che non creano valore per il cliente finale).

3.4 Lo strumento principale della lean: il Value Stream Mapping

3.4.1 Descrizione

L'adesione da parte di un'azienda alla battaglia per la drastica riduzione degli sprechi necessita l'utilizzo di strumenti che siano in grado di evidenziare e rimuovere le perdite. Numerosi autori, in letteratura, hanno proposto diversi strumenti che possono essere utilizzati per analizzare e migliorare il flusso di valore in azienda (si citino ad esempio [24] e [25]). Il **Value Stream Mapping** (mappatura del flusso di valore) è, tra queste, sicuramente la più nota. Sebbene ispirato al TPS del secondo dopoguerra, il VSM arriva in occidente solo qualche decennio più tardi; il suo obiettivo è guidare l'implementazione del JIT in un sistema produttivo tipicamente occidentale, e quindi spesso organizzato in logica push (per le definizioni di push e pull si rimanda al paragrafo 4.1).

Il VSM è una tecnica grafica che fornisce come risultato una mappa o disegno (denominata **Current State Map, CSM**) dell'insieme di processi ed attività ausiliarie che concorrono alla realizzazione di un prodotto, dal fornitore fino al cliente finale, passando per ogni stazione. Per questo motivo, il CSM può essere paragonato ad un'istantanea in tempo reale che permette di conoscere la situazione del sistema produttivo e che, quindi, sarà la base per una possibile implementazione di future modifiche. Nel fare questo, la VSM si propone di esplicitare la presenza del flusso materiale ed informativo, due concetti la cui presenza ed organizzazione non sempre è individuata e conosciuta in azienda.

Altre caratteristiche importanti della VSM sono la sua visione sistemica e semplicità realizzativa. La VSM nasce come strumento manuale (che è stato successivamente, ed abbastanza recentemente, informatizzato), attraverso un lavoro condotto a livello macro dall'analista, che rappresenta la realtà dell'azienda partendo da alcuni sopralluoghi in stabilimento. A lavoro ultimato si ottiene il CSM, un risultato che permette di esplicitare a tutta l'azienda lo stato dei flussi fisici ed informativi della produzione. Nella filosofia lean è, infatti, fondamentale che il riconoscimento del flusso e la sua conoscenza siano univoci e condivisi da tutti gli strati della gerarchia aziendale. Questo perché, una volta individuate le migliorie da apportare, la loro implementazione ricade spesso sui lavoratori diretti, che dovranno quindi esserne informati e preparati.

Per tutti i motivi elencati (per un'analisi approfondita dei pregi del VSM si veda [26], mentre un'analisi esaustiva e recente della letteratura sul VSM può essere trovata in [27]), la VSM è uno strumento importante nel processo di ricerca e abbattimento degli sprechi; essa è, inoltre, il primo strumento lean da utilizzare in ordine di tempo, poiché rende possibile individuare ove intervenire e con quali altri strumenti. Lo schema concettuale che si deve seguire nell'utilizzo della VSM è riportato in Figura 3, ove i riquadri identificano gli stati del sistema, ed il passaggio da uno stato all'altro è ottenibile attraverso i passaggi riportati qui di seguito.



Figura 3: schema di processo da seguire nell'applicazione della VSM.

Step 1 - dal sistema produttivo alla Current State Map: il risultato di questo primo step consiste nella CSM, o mappatura dello stato attuale; partendo da un'osservazione diretta, oggettiva e accurata del sistema produttivo così com'è (non come dovrebbe essere!), si procede a rappresentarlo fedelmente attraverso le icone che saranno di seguito riportate.

Step 2 - dalla CSM alla Future State Map: attraverso una serie di linee guida si procede ad individuare i punti critici del processo, e successivamente si apportano modifiche al CSM laddove si sono evidenziate lacune, cercando di eliminare o almeno ridurre gli sprechi. In questo modo si ottiene il **Future State Map (FSM)**, ovvero la risposta a "Come dovrebbe essere il sistema?".

Step 3 - dalla FSM al nuovo sistema produttivo: una volta stabiliti i miglioramenti da apportare si deve definire un piano d'azione. Si definisce quindi chi, come, quando, con che risorse ed in che ordine fa che cosa. Infine, conclusa la fase progettuale, si passa all'implementazione vera e propria, che si propone di trasferire fisicamente i cambiamenti programmati nella realtà produttiva. Questa parte, pur interessando un solo step, è indubbiamente la più duratura ed impegnativa di tutto il processo, e si conclude con un nuovo stato del sistema produttivo, che dovrà poi essere sottoposto ad un altro giro di miglioramento nell'ottica kaizen precedentemente illustrata.

Si procederà qui di seguito a descrivere i passaggi che portano alla redazione della CSM e della FSM per approfondire e completare la conoscenza della Value Stream Mapping.

3.4.2 L'analisi del sistema produttivo e la redazione della CSM

3.4.2.1 Introduzione

Per prima cosa, è importante definire il contesto in cui ci si trova ad agire. La prima distinzione che si può fare è separare le realtà produttive vere e proprie dai servizi. Le prime, luogo di nascita della lean manufacturing, sono rappresentabili con relativa facilità; le seconde, invece, costituiscono un ostacolo più impegnativo per la redazione della CSM, se non altro perché mancano, o sono meno visibili, i flussi fisici. Nonostante le differenze riscontrabili tra questi due contesti, la VSM resta sostanzialmente invariata, poiché le linee guida ed il modus operandi sono indipendenti dal processo studiato. Per semplicità, quando non altrimenti specificato, di seguito si farà riferimento ad un'azienda produttrice di prodotti e non servizi.

Il punto di partenza è l'individuazione dell'output di processo. Successivamente, si procede a ritroso nel routing del prodotto, risalendo la catena di operazioni cui esso è stato sottoposto, fino ad arrivare alle origini del flusso dei materiali (i.e. i magazzini materie prime). Solitamente, i consigli nella realizzazione della CSM propongono di posizionare nella parte del disegno in alto a destra il cliente, e nella parte in alto a sinistra il fornitore (o i fornitori) [21]. Quindi, seguendo queste indicazioni, il flusso di produzione si troverà a scorrere da sinistra verso destra, mentre il flusso informativo potrà seguire percorsi diversi.

È bene, infatti, precisare che, pur avendo spesso fatto riferimento alla parola flusso, sarebbe stato più opportuno usare il plurale, così da poter comprendere sia il flusso dei pezzi fisici attraverso il loro routing (material flow) che il flusso di informazioni che attiva, coordina e controlla il primo (information o communication flow). La VSM si propone di rappresentare entrambi i flussi durante la mappatura, riportando a due livelli diversi i due flussi precedentemente descritti. Infine, la parte più bassa della mappa costituisce la "linea dei tempi", che sarà illustrata in seguito.

La domanda che a questo punto sorge spontanea è quale flusso di prodotti debba essere rappresentato nella CSM; nella quasi totalità dei casi, infatti, le organizzazioni analizzate non producono un solo prodotto e non sono organizzate in un Pure Flow Shop (si veda a proposito il capitolo 2). Quindi, che cosa rappresentare? La scelta solitamente cade sulla rappresentazione di una famiglia di prodotti, ovvero un gruppo di prodotti che presentano tratti analoghi nel loro routing, sia nelle stazioni attraversate che nella loro sequenzialità. La letteratura propone due metodi diversi per selezionare la famiglia di prodotti per la quale redigere la prima CSM, ovvero l'approccio matriciale e l'approccio diretto (per una loro descrizione dettagliata si faccia riferimento a [28]). Certo è che risulta controproducente e confusionario rappresentare più di una famiglia in una singola CSM.

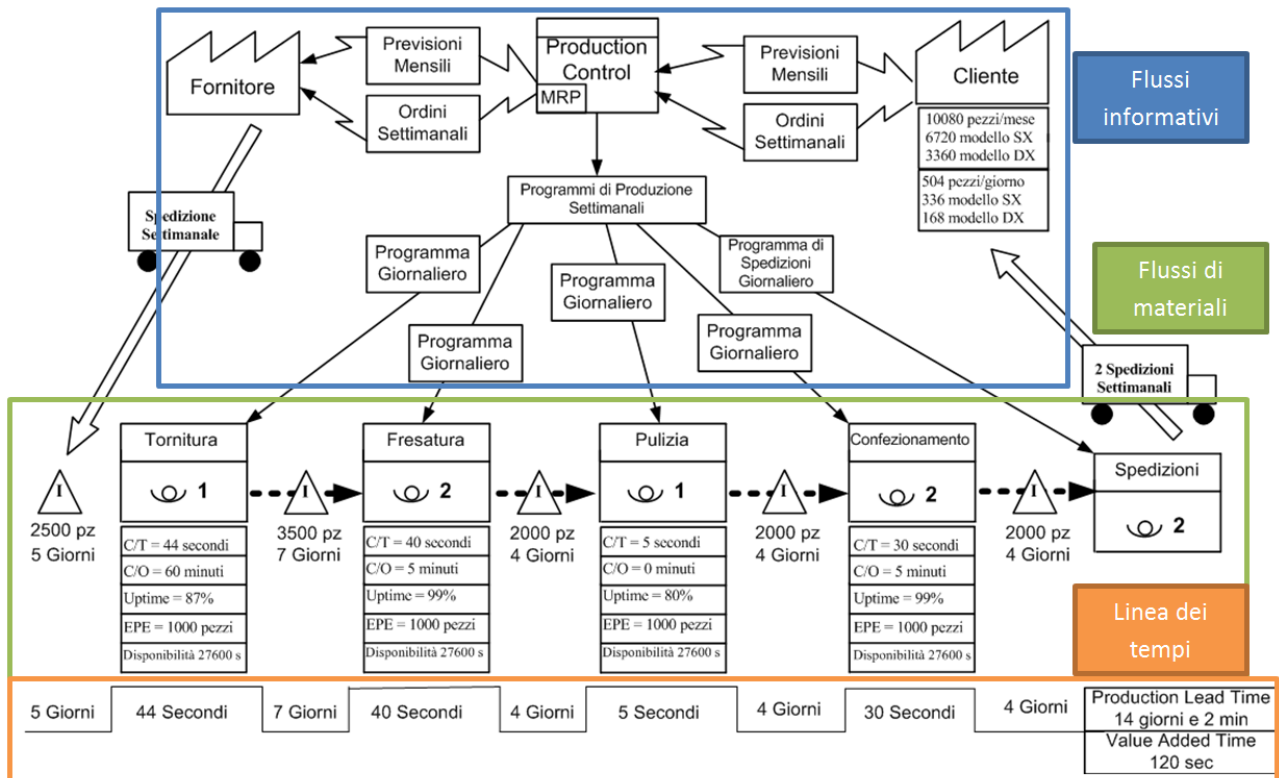


Figura 4: esempio di CSM con indicazione dei flussi informativi, di materiali e linea dei tempi.

3.4.2.2 Il concetto di tempo

Il tempo è un concetto fondamentale per la lean manufacturing e, quindi, nella tecnica VSM. Durante la mappatura verranno quindi registrati e catalogati diversi valori temporali che permettono di comprendere in modo più completo lo stato della linea/sistema produttivo. Seguendo la distinzione di paragrafo 0, il tempo è classificato in Value-Added (VA) e Non Value-Added (NVA); il primo è il tempo impiegato per eseguire le attività che aumentano il valore dei prodotti finiti, il secondo, al contrario, è tempo in cui non si aggiunge valore, ed è quindi uno spreco. Nella (quasi) totalità dei casi, il tempo NVA è maggiore rispetto al VA; questo anche perché molte operazioni NVA sono necessarie ai fini aziendali e non possono essere immediatamente rimosse. Ciononostante, un compito importante del VSM è quello di segnalare e mantenere sotto controllo i valori di tempo VA ed NVA, permettendo di visualizzare e comprendere le cause che portano a questi valori. Una volta misurati ed indicati questi tempi, essi vengono sommati per ottenere il flow time medio di produzione (comprendente sia tempi NVA che VA) ed il valor medio del tempo VA totale (che ovviamente comprende solo i tempi VA).

Nella linea dei tempi di Figura 4, quindi, sono riportati sopra la linea dei tempi i valori NVA, e sotto di essa i "tempi a valore" (VA). Entrambi questi valori contribuiscono a formare il flow time medio della famiglia, mentre solo i secondi costituiscono il Value-Added Time. Nell'esempio in figura, a fronte di un tempo VA di 2 minuti, il FT medio è di circa 14 giorni, portando la percentuale di tempo VA a livello delle parti per milione!

Si noti che i valori di tempo che saranno inseriti nella CSM sono tipicamente raccolti dal mappatore durante una serie (indicativamente di 2 ÷ 5) di visite in stabilimento e con l'eventuale ausilio di interviste al personale di produzione; questo da una parte permette di realizzare la CSM in modo immediato, chiaro e veritiero, ma presenta tutti i limiti di un'istantanea (non necessariamente lo stato fotografato del processo produttivo è la sua condizione normale, in positivo o in negativo).

3.4.2.3 Le icone e i dati raccolti

Data la natura e gli obiettivi della VSM, le icone tipicamente utilizzate per redigere la Current State Map sono semplici e schematiche, così da favorire la loro comprensione ed il loro utilizzo. Le icone caratteristiche della VSM sono riportate in Figura 5, per la maggior parte tratte da MS Visio 2010. Oltre alle icone classiche della VSM, Figura 5 introduce alcune icone che possono essere utilizzate per un'applicazione della VSM al settore dei servizi e che sono adattate da [29].

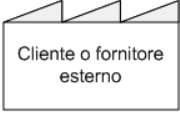

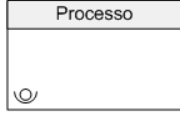



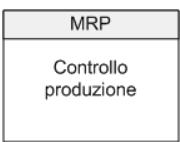

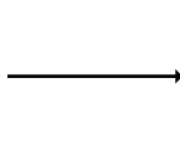

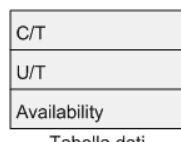
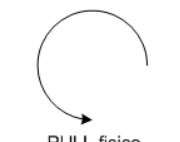

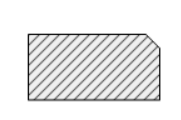
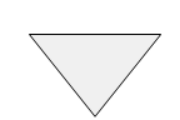
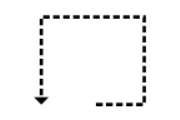

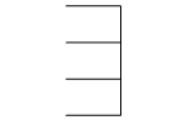
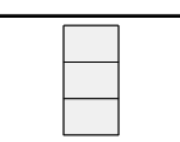

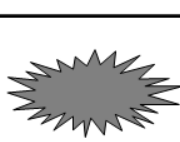
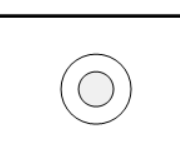
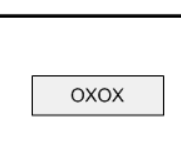


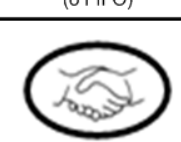
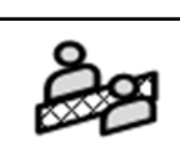



 Cliente o fornitore esterno	 Cliente o fornitore interno	 Processo	 Magazzino	 Freccia PUSH	 Freccia spedizione
 MRP Controllo produzione	 Spedizione via autocarro		 Informazioni elettroniche	 C/T U/T Availability Tabella dati	 PULL fisico
 Kanban produzione	 Kanban prelievo	 Segnale kanban	 Freccia PULL	 Attesa kanban	 Supermarket di linea
 Scorte di sicurezza	 Linea CONWIP (o FIFO)	 Esplosione kaizen	 Pull sequenziale	 OXOX Livellamento carico	 Ispezione visiva
 Fornitore di informazioni	 Conferimento di servizio	 Contatto con il cliente	 Coda FIFO	 Postazione informatica	 Pagina WEB

Figura 5: le icone della VSM.

L'utilizzo della VSM, però, non può limitarsi ad una sola visualizzazione grafica, essa è principalmente concepita per ottenere e visualizzare dati sensibili del sistema analizzato; in questo modo sarà possibile evidenziare i punti critici ed intervenire sul sistema in modo mirato. I dati raccolti durante la mappatura sono riportati, e brevemente descritti, qui di seguito.

Takt Time: parametro temporale del sistema che rappresenta il passo dello stesso, ovvero la velocità alla quale il sistema deve produrre un prodotto finito per essere allineato con la richiesta di mercato. Si può ottenere il Takt Time (TT) con la seguente equazione:

$$Takt\ Time = \frac{Tempo\ lavorativo\ disponibile\ netto}{Domanda\ del\ cliente}$$

Cycle Time: parametro temporale di una singola stazione, indica il tempo medio richiesto dalla stazione per la lavorazione di un pezzo. In letteratura lean, esso si indica solitamente con il simbolo C/T. Si noti che esso può essere inferiore al tempo medio richiesto da una macchina/postazione di lavoro nel caso in cui una stazione contenesse più macchine/postazioni di lavoro. Secondo le definizioni del capitolo 2, il CT di un sistema composto di una linea che consiste in un singolo routing ove non vi sono scarti è pari a $CT = 1/r_b$. Dal confronto tra TT e CT di un sistema si ottiene che, se $CT \leq TT$ il sistema è in grado di soddisfare la domanda dei consumatori; viceversa, se $CT > TT$ è necessario intervenire per cercare di rimediare alla quota di domanda non soddisfatta dal sistema.

Inoltre, la conoscenza dei CT delle singole stazioni permette di individuare i bottlenecks del sistema, nei pressi dei quali è possibile individuare la creazione di code di pezzi in attesa che possono degradare le performances del sistema (FT, livelli di WIP, dimensioni dei magazzini a bordo macchina etc.). Pur non essendo necessariamente un male, la presenza di stazioni collo di bottiglia deve essere strettamente monitorata per la loro criticità.

Changeover Time: nella letteratura lean questo tempo è solitamente indicato con il simbolo C/O ed è misurato come il tempo che intercorre tra la produzione dell'ultimo pezzo A non difettoso e la produzione del primo pezzo B non difettoso (comprendendo in questo modo anche il C/T di B) [28]. In questa sede si ritiene che quest'approccio sia fuorviante e s'indica come changeover il tempo di setup necessario per eseguire le modifiche di un'attrezzatura che le consentano di cambiare il tipo di pezzo lavorato (ma senza comprendere il C/T per la produzione di quest'ultimo). Al crescere del valore del tempo di setup sarà via via più conveniente raggruppare i prodotti in grossi lotti al fine di ridurre il tempo totale di cambio formato, ed i paragrafi 3.1 e 0 indicano quanto la lean sia attenta alla riduzione dei C/O.

Up Time: indica il tempo percentuale di lavoro giornaliero di una stazione rispetto al tempo lavorativo giornaliero lordo. Si indica con il simbolo U/T e tiene conto sia delle fermate controllabili che di quelle incontrollabili, risultando quindi diverso (e solitamente inferiore) dalla availability A.

Work Content: indica il contenuto di lavoro presente in una determinata stazione del processo, ovvero la sommatoria dei tempi VA e NVA lavorati da ciascun addetto/a della stazione. Si indica come W/C.

Defect Rate: rappresenta le percentuali di pezzi difettosi prodotti da una stazione.

Availability of Equipment, Availability of Personnel: rappresenta la percentuale di tempo in cui un'attrezzatura/utensile (AOE) o il personale (AOP) condiviso da più routings è disponibile per quel routing/famiglia di prodotti. Queste grandezze sono più caratteristiche della fornitura di servizi, e sono trascurate quando gli utensili o il personale non sono condivisi.

Travel Distance Line: strumento di mappatura che tiene in considerazione le distanze percorse dal prodotto e/o dagli addetti all'interno del processo.

3.4.3 Miglioramento del sistema: dalla CSM alla FSM

3.4.3.1 Le 7 linee guida e la redazione della FSM

A questo punto giunti si ha a disposizione la mappa dello stato attuale del sistema, un prezioso strumento per individuare e rimuovere gli sprechi. Questa operazione viene svolta attraverso una sequenza di linee guida che sono ampiamente documentate in letteratura (si vedano ad esempio [21] ed Allegato 3) e che saranno descritte qui di seguito. Obiettivo di questi passaggi è guidare il mappatore nel miglioramento del processo.

1. Produrre secondo il Takt Time.

Il Takt Time è stato definito al paragrafo precedente e rappresenta il più naturale punto di partenza per sincronizzare il sistema produttivo con il cliente. Nella situazione ideale, la stazione più lenta (che nella letteratura lean solitamente si indica come *pacemaker*, invece di bottleneck) dovrebbe avere un tempo ciclo molto prossimo al Takt Time, con le dovute attenzioni ai deterrenti delle performances produttive quali tempi di down, changeover e problemi di qualità.

2. Sviluppare il flusso continuo ovunque sia possibile.

Flusso continuo significa produrre con la logica del one-piece-flow e seguendo il concetto di flusso uniforme, ovvero con passaggio diretto dei pezzi da un passo all'altro del processo; secondo la lean, questa metodologia produttiva è la più efficiente e deve quindi essere implementata ove possibile. Nel fare questo, si deve prestare attenzione al fatto che il collegamento continuo e diretto di processi o stazioni ne accomuna i tempi ciclo ed i tempi di down, sommandoli. Perciò non è conveniente, ove anche fosse possibile, creare linee di flusso continuo troppo lunghe senza interruzioni. Risulta invece conveniente, e spesso usato, collegare attraverso flusso continuo tutte le stazioni a valle del pacemaker.

3. Inserire supermarket pull ove non è possibile instaurare il flusso continuo.

Per le motivazioni illustrate precedentemente, e non solo, il flusso continuo non può essere stabilito in ogni punto del processo; ove accade questo andranno installati dei supermarket regolati da logiche kanban. Tipicamente, il primo luogo ove collocare il supermarket è immediatamente a monte del pacemaker, così da scollegare i processi precedenti dal pacemaker (più lento) ed evitare la sua starvation.

4. Utilizzare un solo processo produttivo per la schedulazione.

Se si vuole scegliere un solo processo cui inviare la schedulazione di produzione, il punto più indicato è sicuramente il pacemaker; a monte di questo la produzione sarà tirata dallo stesso (e produrrà per il supermarket pull vicino al pacemaker), mentre a valle si potrà instaurare il flusso continuo. In caso di flusso molto lungo o complesso, invece, le schedulazioni possono essere inviate in più punti critici.

5. Bilanciare il mix di produzione.

La logica alla base della lean impone di concentrare l'attenzione sul cliente finale, che solitamente richiede prodotti differenti e non grandi lotti mono-prodotto. Perciò la produzione in grossi batches impone grandi scorte di prodotti finiti e, conseguentemente, di materie prime. Al contrario, la logica del bilanciamento del mix di produzione suggerisce di realizzare prodotti diversi in piccole quantità ed a brevi intervalli di tempo; tanto più questa logica è spinta, tanto più si potranno accontentare richieste differenti dei clienti con ridotti valori di lead time, WIP e scorte. Inoltre, il sistema beneficerà in snellezza del processo, qualità e flessibilità. Questo, tuttavia, può solo essere realizzato se i tempi di C/O si riducono drasticamente, poiché i changeovers diverranno molto più frequenti.

6. Bilanciare i volumi produttivi.

Dopo aver lavorato sul mix produttivo, è opportuno stabilire un valore minimo di produzione che può essere prodotto, ovvero il "passo" della produzione. Per fare questo si può procedere rilasciando ordini di produzione multipli interi di questo volume minimo, che solitamente viene scelto uguale alla quantità di prodotti in una confezione di vendita (ad esempio il numero di prodotti finiti contenuti in un contenitore in uscita dall'azienda). Il passo, quindi, corrisponderà temporalmente al prodotto tra Takt Time e numero di pezzi contenuti in una confezione, e rappresenterà l'intervallo di rilascio del lavoro e di ritiro dei prodotti finiti.

7. Sviluppare l'abilità di realizzare tutte le parti ogni giorno/turno a monte del pacemaker.

Attraverso la progressiva diminuzione dei tempi di changeover e dei lotti, l'organizzazione riuscirà a rispondere in modo via via più veloce ai cambiamenti nella domanda ed a lavorare con livelli di scorte decrescenti. L'ultima annotazione da fare è con quale frequenza ogni stazione/processo riesce

ad effettuare la produzione di tutti i suoi codici attivi, con il primo obiettivo di sviluppare la produzione di "every part every day".

A titolo di esempio, Figura 6 riporta le modifiche realizzate su di una CSM per realizzare una Future State Map.

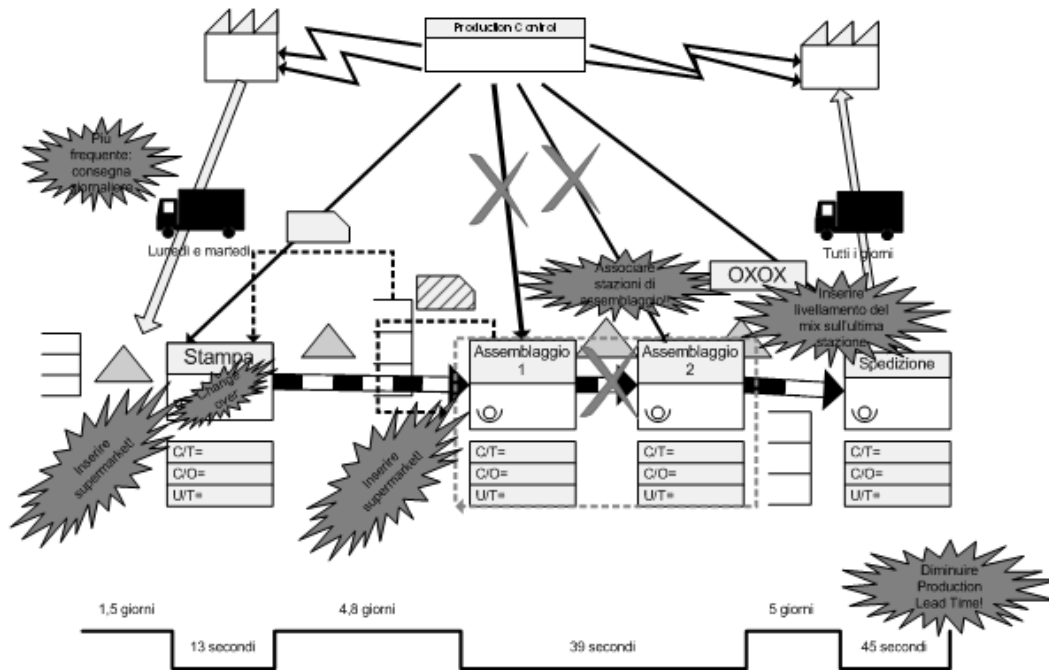


Figura 6: un esempio (didattico) di FSM.

3.4.3.2 Implementazione delle modifiche progettate

Una volta realizzata la FSM, le modifiche progettate dovranno essere trasferite nella realtà del sistema; al fine di ottenere questo risultato la VSM individua una sequenza di passi da seguire. Nonostante l'implementazione delle modifiche progettate sia la parte più duratura e costosa dell'intero processo rappresentato in Figura 3, in questa sede si è scelto di affrontare solo superficialmente l'argomento, molto più pratico che scientifico. Ci si limiterà quindi a riportare la sequenza di operazioni che porta "dalla teoria alla pratica", implementando la FSM realizzata.

- Identificazione e separazione dei cicli di processo, al fine di non aggredire l'intero processo come un *unicum*, ma attraverso una sequenza di interventi migliorativi;
- definizione delle priorità dei singoli cicli migliorativi, stabilendo la loro gerarchia;
- elaborazione delle priorità tra le modifiche all'interno dei cicli precedentemente definiti, sempre seguendo l'ordine logico illustrato per la creazione della FSM;
- applicare il piano d'azione redatto implementando fisicamente le modifiche nel sistema;
- stilare una serie di progress charts, tabelle che monitorino nel tempo i cambiamenti realizzati ed i progressi ottenuti.

3.4.4 I limiti della VSM

Sino a questo momento, nella descrizione della VSM, si sono riportati dettagliatamente gli aspetti positivi ed i vantaggi di questa tecnica; per completezza e correttezza, qui di seguito se ne sottolineeranno anche le mancanze ed i difetti. A riguardo, si veda anche [26].

1. Possibilità di creare sovraspettative.

Pur essendo uno strumento utile, la VSM non è miracolosa e non può quindi risolvere tutti i problemi aziendali. A ben vedere, questo è probabilmente il limite principale della VSM: mappare il flusso del valore non propone soluzioni definite e standard, ma costituisce uno strumento di analisi che, di per se, non è in grado di risolvere alcun problema del sistema produttivo.

2. Elevata dipendenza dall'analista.

Come accennato precedentemente, lo strumento VSM non propone soluzioni fisse, ma il suo successo dipende dalle capacità dell'analista di individuare gli sprechi più rilevanti, produrre ed implementare soluzioni adatte, adeguate e tempestive.

3. Strumento cartaceo.

Data la sua natura, la VSM è uno strumento poco preciso e la cui redazione e modifica manuale è, seppur relativamente breve, temporalmente costosa.

4. Considera solamente aspetti tecnici.

La VSM esamina solamente aspetti fisici e tecnici, tralasciando completamente il lato umano. Quest'ultimo, in particolare in processi legati ai servizi e non alla produzione, può essere importante o addirittura predominante.

5. Non considera la struttura spaziale dello stabilimento.

Nonostante la possibilità di introduzione della linea delle distanze, la VSM non rappresenta in modo accurato lo spazio all'interno dello stabilimento, e quindi non può suggerire come questo influenzi (o meno) potenziali ritardi nella movimentazione dei materiali.

6. Non mostra le conseguenze dovute ad inefficienze dei flussi.

Flussi di materiali o informazioni scarsamente efficienti solitamente generano conseguenze, quali ad esempio accresciuti livelli di WIP, elevati FTs o maggiori costi. La correlazione tra cause e conseguenze non è indicata dalla VSM.

7. Difficoltà di adattamento ai contesti con elevata variabilità dei prodotti finiti e dei routings.

La VSM rende al meglio in contesti dettati da una variabilità limitata dei prodotti finiti e dei routings, quale ad esempio il settore automobilistico. Se applicata in industrie ad alta variabilità e ridotti volumi di prodotti finiti (le cosiddette aziende High-Variability-Low-Volume, o HVLV) essa risulta ingombrante e di difficilissima applicazione.

8. Non permette di dare priorità oggettiva alle differenti alternative.

Un limite strettamente collegato al punto 2 è l'impossibilità della VSM di fornire informazioni oggettive riguardo alle differenti alternative di rimozione degli sprechi; queste considerazioni sono, infatti, delegate all'analista, perché la VSM non consente di creare analisi di sensitività.

9. Non fornisce informazioni riguardo alla variabilità del processo produttivo analizzato.

Per sua natura, la VSM considera solamente i valori medi (o meglio, i valori medi relativi ad un ristretto intervallo temporale in cui si svolge l'ispezione dello stabilimento) dei dati raccolti, come indicato al paragrafo 3.4.2.3. In questa raccolta dati, la variabilità non è assolutamente considerata.

10. Consente l'applicazione dei soli PPC kanban e CONWIP nel sistema futuro.

La VSM nasce, in occidente, con l'obiettivo di introdurre il sistema JIT negli ambienti manifatturieri occidentali; per questo motivo sia le icone che le linee guida presentate sono incentrate sulle logiche utilizzate del TPS. Queste logiche, sebbene si siano dimostrate molto efficaci in alcuni contesti produttivi, non possono essere utilizzate acriticamente in qualsiasi contesto produttivo. Negli ultimi 50 anni, in aggiunta ai classici Manufacturing Resource Planning (MRPII) e JIT hanno visto la luce numerosi sistemi per la pianificazione ed il controllo della produzione (PPC), quali il CONstant Work In Process (CONWIP), il synchro-MRP, il Workload Control (WLC), l'Optimised Production Technology (OPT), il Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization (POLCA), per citare i più importanti (una lista e descrizione completa dei sistemi PPC è disponibile in [30]). Ebbene, la VSM così come è stata descritta non è in grado di supportare questi sistemi, poiché creata per sostenere esclusivamente le implementazioni di kanban e CONWIP in sistemi tipicamente MRPII. Queste tecniche presentano sensibili diversità, ad esempio, nell'accettazione degli ordini di acquisto, nella definizione della data di consegna, nel rilascio degli ordini in produzione, nella fase di dispatching/scheduling, nella gestione e controllo del WIP e delle informazioni. Inoltre, ciascuno di questi sistemi è più o meno adatto per applicazioni in contesti variabili in termini di personalizzazione dei prodotti finiti, complessità dei routings e dimensioni aziendali.

Tutti i limiti fino ad ora elencati non hanno screditato lo strumento VSM, anzi, la letteratura scientifica degli ultimi 15 anni ha cercato di fornire risposte a ciascuno dei punti precedentemente illustrati. Si veda ad esempio [26] per le risposte ad alcuni dei punti precedentemente illustrati.

Come emerge invece da Allegato 3, la risposta al punto 10 non era mai stata tentata. Il principale obiettivo di Allegato 3 è proprio quello di superare questo limite. D'altronde, questo problema è abbastanza sentito in letteratura, come si può dedurre dalle parole di [2]: *“i sistemi di pianificazione e controllo della produzione sono strumenti decisivi per soddisfare le richieste e le attese dei clienti in costante crescita nell'attuale, e sempre più competitivo, ambiente manifatturiero. [...] Ciononostante, la determinazione dell'applicabilità dei diversi approcci di pianificazione e controllo della produzione è un compito complesso, a causa del numero crescente di alternative differenti e dell'inclinazione di numerose software house a suggerire il loro prodotto come universalmente appropriato. Spesso questa scelta è dettata dalla mancanza di indicazioni riguardo alla tipologia di impresa che può sperare di ottenere benefici da uno specifico sistema di pianificazione e controllo della produzione, e quindi dall'intenzione di ottenere un'ampia applicabilità per una specifica soluzione. È tuttavia inevitabile che questa ricerca di un vasto mercato di riferimento porti al mancato soddisfacimento delle specifiche esigenze aziendali, dal momento che gli ambienti manifatturieri sono diversi in termini di caratteristiche quali, ad esempio, la configurazione del reparto produttivo ed il livello di personalizzazione dei propri prodotti. Per tutti questi motivi, la scelta di una tecnica di pianificazione e controllo della produzione è spesso una decisione malinformata e basata su caratteristiche superficiali, anziché sulla selezione di specifiche progettate per una specifica industria o settore”*.

3.5 *Un'applicazione pratica di lean manufacturing*

Allegato 1 presenta un caso studio sull'analisi e confronto di due implementazioni lean nello stabilimento di Denipro AG (Tannenwiesenstrasse 5, CH-8570, Weinfelden – Switzerland). L'allegato è reperibile al sito:

<http://www.summerschool-aidi.it/images/3.3.pdf>

Allegato 1: Bertolini, M., Gapp, A. and ROMAGNOLI, G. 2011. Analysis and comparison of two practical lean implementations on the assembly shop floor of a manufacturing industry: a case study. In: Proceedings from the 16th Summer School “Francesco Turco” of Industrial Mechanical Plants - SSD ING-IND/17, 14-16 September 2011, Abano Terme (PD), Italy.

4 Push, pull e tecniche ibride

Questo capitolo si occupa in primo luogo dei concetti di push e pull, due concetti considerevolmente dibattuti nella letteratura scientifica legata ai sistemi PPC: dopo aver fornito le diverse definizioni presenti in letteratura per questi due concetti, si esporranno limiti e pregi di queste accezioni per poi definire il significato di push e pull utilizzato per il presente lavoro. Si continuerà quindi con la descrizione dei 3 principali sistemi PPC ibridi presenti in letteratura, ovvero il CONWIP, il synchro-MRP ed il WLC. Per ciascuno di questi sistemi, dopo una descrizione generale del metodo di funzionamento e delle potenziali applicazioni, si riporteranno gli studi dell'autore ed il materiale proposto per la pubblicazione su giornali nazionali ed internazionali di settore.

4.1 I concetti di push e pull

È quasi impossibile leggere un articolo scientifico collegato alla lean manufacturing, al JIT o ai sistemi PPC e non incontrare almeno una volta i termini push e pull. Nonostante il loro significato nella vita quotidiana sia chiaro e banale, l'accezione figurativa che questi termini assumono in ambito operations è molto più confusa. Questo, a sua volta, si ripercuote su ambiguità e dubbi relativi alla terminologia fondamentale della lean. Questo paragrafo si propone di analizzare i vari significati assegnati in letteratura ai concetti di push, pull e hybrid, riferiti sia ad una singola stazione che ad un intero sistema produttivo, e di chiarire come questi termini saranno utilizzati nel resto del lavoro.

Un ottimo articolo relativo alla storia dei concetti di push e pull è reperibile in [31], mentre un'interessante review della letteratura su questi due concetti è fornita da [32]. Tralasciando gli aspetti storici e le cause che li hanno provocati, in letteratura sono reperibili tre macro definizioni dei concetti di push e pull.

4.1.1 Definizione collegata alla strategia aziendale di produzione

In questa prima accezione, i concetti di push e pull sono collegati alla modalità con cui l'azienda decide di produrre i propri prodotti, ovvero ai concetti di MTS, MTO ed ATO. Ad esempio, alcuni articoli che utilizzano questa definizione sono i seguenti:

“i sistemi di controllo della produzione che utilizzano previsioni di domande future per controllare il processo manifatturiero sono noti come push. Dall'altro lato, i sistemi pull reagiscono solamente a domande dei clienti già effettivamente avvenute” [33];

“in un sistema pull, ci si aspetta che tutte le domande dei clienti siano soddisfatte dal magazzino prodotti finiti, ovvero si opera secondo una metodologia MTS. [...] Invece, la programmazione che guida un sistema push deriva da un ordine, reale o previsto, e non da uno stato del sistema” [35];

“un sistema push può essere descritto come un sistema a pianificazione top-down poiché tutte le decisioni relative alle quantità produttive sono derivate da una previsione della domanda. [...] Il sistema pull guida la produzione basandosi sulla domanda effettiva (anziché sulla domanda prevista). [...] Quando arriva l'ordine del cliente, questo è soddisfatto dal magazzino prodotti finiti” [37].

Provando a riassumere quanto sopra riportato, quindi, il termine **push** indica, in quest'accezione, un sistema di programmazione e controllo della produzione che reagisce ad un ordine cliente effettivo o previsto, ovvero opera in logica MTO. Il termine **pull** invece indica una risposta ad un ordine cliente che si è già verificato, ovvero per il quale il cliente ha trovato (o non ha trovato) il prodotto desiderato già presente in magazzino. Questo sistema opera quindi in logica MTS. La logica conclusione che deriva

da quanto precedentemente riportato è che un sistema che operi in modo **ibrido** tra push e pull sia il sistema ATO, e quest'affermazione è infatti condivisa da [37].

Le considerazioni che emergono da un'attenta analisi delle definizioni precedenti sono di seguito riportate:

- se valgono le analogie push = MTO, pull = MTS e hybrid = ATO, ove le definizioni dei tre acronimi sono prese dal capitolo 2, perché allora utilizzare due termini distinti per definire lo stesso concetto? Non si potrebbero eliminare gli uni o gli altri termini?
- Si è detto che il sistema pull ragiona in logica make-to-stock, ovvero produce per il magazzino. La effettiva domanda del cliente dovrà quindi essere prevista, poiché il magazzino deve essere rifornito con i prodotti richiesti dai clienti tra una consegna e l'altra (si immagini una catena distributiva semplice, dotata soltanto di un produttore ed un punto vendita), che per quanto ravvicinate non possono essere continue. Ma è una prerogativa dei sistemi push lavorare con una domanda prevista, mentre i sistemi pull reagiscono ad una domanda effettiva. Quindi un sistema che prevede la domanda del cliente sarà push o pull?
- Le logiche pull sono unanimemente collegate al TPS, oltre che al make-to-stock. Ma Toyota opera in logica MTS? Ovvero le autovetture Toyota sono sempre presenti in tutti i modelli disponibili nei magazzini dei concessionari Toyota? La risposta è sicuramente no!

Le considerazioni precedentemente riportate, suffragate anche da quanto indicato in [31], evidenziano le incongruenze della definizione di push e pull legata alla strategia aziendale di produzione.

4.1.2 Definizione collegata alla pianificazione/autorizzazione della produzione

Nonostante la definizione riportata in 4.1.1 sia abbastanza comune, un'altra definizione è reperibile e molto utilizzata in letteratura per i concetti di push e pull. Questa è riassunta esemplarmente da [41]:

*“i sistemi **push** sono quelli che pianificano la produzione dei jobs. [...] I sistemi **pull**, invece, non pianificano l'inizio di un job ma ne autorizzano la sua produzione”.*

Secondo questa definizione, quindi, il sistema MRPII (manufacturing resource planning, poi ERP) è un sistema push, poiché pianifica la lavorazione dei job ad ogni singola stazione in base a considerazioni esterne al sistema (quali ad esempio una domanda effettiva o pianificata). Il sistema JIT/kanban, invece, è un sistema pull, poiché autorizza la produzione in risposta ad un particolare stato (interno) del sistema produttivo.

Questa definizione appare molto più coerente della precedente, e propone come **ibridi** i sistemi che operano con un certo numero di stazioni in logica push e con altre secondo il metodo pull, ovvero che combinano le caratteristiche dell'MRPII e del JIT/kanban (da cui i nomi di hybrid MRP/kanban o hybrid MRP/JIT). Esempi di articoli che utilizzano queste definizioni sono [34] e [39].

Il concetto di ibrido, poi, può essere ulteriormente definito, suddividendo tra sistemi ibridi ad integrazione verticale (VIHS) e sistemi ibridi ad integrazione orizzontale (HIHS), come si può dedurre da [38], [40] e [42]. La descrizione dei due sistemi ibridi precedentemente introdotti è riportata nel glossario. Secondo quest'accezione di push e pull, quindi, i sistemi puri si riducono ai (rari) casi di MRPII e JIT puri, mentre ciascuna stazione opererà esclusivamente secondo una logica push o pull (i.e. non esistono stazioni ibride, ma la maggior parte dei sistemi sono ibridi).

4.1.3 Definizione collegata al controllo del WIP

Un'ultima definizione di push e pull è fornita da [1], [31] e [36]. In questi testi, si introduce la fondamentale differenza tra il livello filosofico/strategico ed il livello pratico/tattico (riprendendo la dicotomia di paragrafo 0). Il primo, si riferisce alla filosofia o strategia su cui si basa la produzione, ed è quindi relativo ad esempio alla sincronizzazione tra produzione e domanda di mercato (il concetto di takt time). Il secondo, invece, si riferisce alla specifica implementazione pratica del sistema PPC, ovvero come questo innesca la produzione.

Siccome il principale obiettivo di quest'accezione di push e pull è giustificare il vantaggio della seconda logica sulla prima, essa cerca le cause ultime che hanno garantito al pull la sua ampia visibilità. La definizione, quindi, è la seguente [31]:

“un sistema di produzione pull limita esplicitamente il quantitativo di WIP che può essere presente nel sistema (solitamente questa quantità è ridotta). Per definizione, quindi, un sistema push non ha un limite esplicito per il WIP che può essere nel sistema”.

Nonostante questa definizione sia probabilmente la più completa ed interessante, essa presenta un limite principale: non ammette una terza via. Ciascun sistema produttivo può o imporre o non imporre un limite esplicito (e solitamente piccolo) al WIP; nel primo caso sarà un sistema pull, nel secondo sarà push, ma non sarà mai ibrido. Unica eccezione di sistema ibrido concessa da questa definizione è un PPC che combina le caratteristiche di due sistemi già esistenti, e quindi rappresenta un ibrido tra i precedenti due.

Siccome, tuttavia, il concetto di *sistemi PPC ibridi* è molto diffuso in letteratura, si è scelto in questa sede di riferire il concetto di push e pull a livello di singola stazione, e non all'intero sistema. Questo consente di mantenere l'analogia push-mrp e pull-kanban, ma mantiene i concetti di sistemi ibridi, VIHS ed HIHS.

Si passeranno ora in rassegna i principali sistemi PPC ibridi presenti in letteratura, con l'obiettivo di estendere il loro utilizzo alle strategie di produzione aziendale in cui essi non sono nativi e di ampliare lo strumento VSM al fine di accomodare un loro utilizzo all'interno di questa tecnica.

4.2 CONWIP

Il sistema CONWIP (CONstant Work In Process) è un sistema PPC ibrido che fa la sua prima apparizione nel 1990 [41]. In particolare, nella sua applicazione più comune, il sistema CONWIP presenta le caratteristiche illustrate per i sistemi ibridi ad integrazione orizzontale: in esso, infatti, i jobs che escono dalla produzione rilasciano l'autorizzazione per il rilascio di nuovi jobs cui corrisponda un medesimo valore del WIP. In questo modo, limitando il numero di autorizzazioni, si può limitare direttamente il WIP presente nel sistema. Un semplice esempio di confronto del funzionamento dei sistemi push puro, pull puro e CONWIP è visibile in Figura 7.

Il principale vantaggio del sistema CONWIP consiste nella riduzione (o meglio nel controllo) del WIP; pur essendo un sistema ibrido, esso, infatti, limita esplicitamente il quantitativo di WIP che può essere presente nel sistema. Questo significa mantenere gli ordini di acquisto in una lista di rilascio (ovvero *su carta*) e consentire il rilascio di questi solo dopo che il WIP scende sotto una soglia stabilita; in questo modo si garantisce una maggiore flessibilità, che sarebbe persa qualora i jobs venissero rilasciati immediatamente in produzione. Infatti, finché gli ordini sono sulla lista di rilascio, è facile ed economico modificare la sequenza, le quantità, i cicli di lavorazione eccetera, basando il più possibile la produzione su effettivi ordini clienti e non sulla loro previsione.

Inoltre, secondo la legge di Little [43], $TH = WIP/FT$, da cui si evince che un determinato valore di produttività si può ottenere con elevati WIP e lunghi flow times, o con FTs ridotti e minore WIP (il che significa inoltre risparmiare sugli immobilizzi di capitale). D'altra parte, come illustra Figura 1, il WIP costituisce una protezione (invero non priva di costo) dai problemi che si possono incontrare in un sistema produttivo; i problemi sono rilevati (e quindi hanno influenze negative visibili) con maggiore difficoltà e quindi si può dilazionare la ricerca delle loro soluzioni (si pensi ad esempio ai guasti di macchinari o ai ritardi di consegna dei fornitori che sono mascherati dalla presenza di scorte che mantengono al lavoro lo stabilimento produttivo).

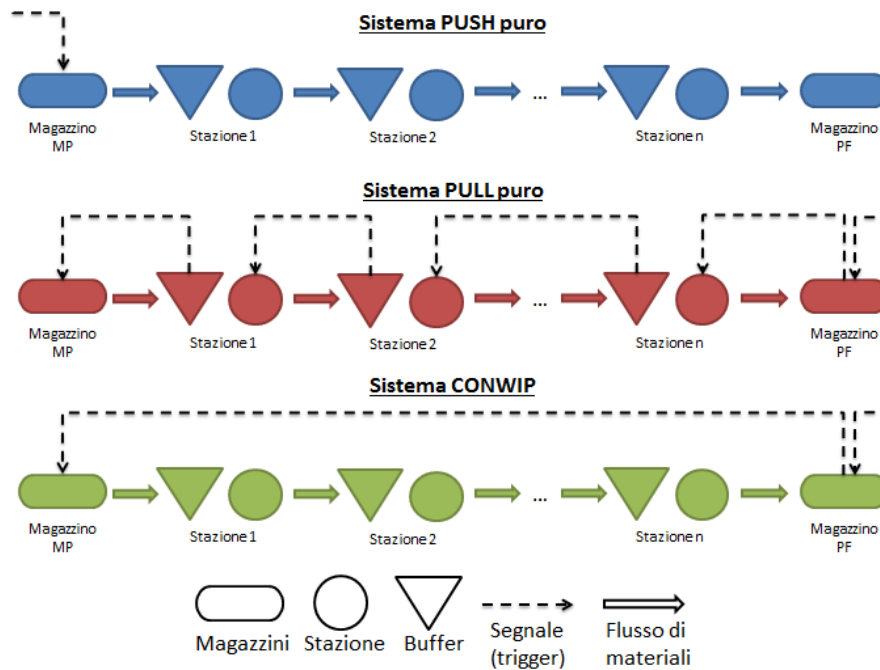


Figura 7: esempio di base del funzionamento di sistemi push, pull e CONWIP.

4.2.1 Il funzionamento

Il CONWIP si propone di controllare il WIP di una linea rendendo disponibile un determinato numero di cartellini all'inizio della stessa; ciascun job in arrivo dalla lista di rilascio, per essere rilasciato, necessita della presenza di un cartellino. Si deduce quindi che i job sono liberi di entrare nella linea finché sono presenti cartellini non associati; quando questi sono terminati, i job restano in attesa fintanto che un job precedentemente rilasciato non termina la sua lavorazione e libera il cartellino che l'accompagnava, il cartellino può quindi essere accoppiato con il nuovo job e seguirlo in stabilimento. In questo modo, il WIP è uguale alla quantità consentita dai cartellini (si noti che l'accoppiamento cartellino/job raramente coincide con l'accoppiamento 1 job/1 pezzo). Secondo questa definizione, il kanban può essere descritto come un caso particolare del CONWIP, ove la linea alla quale si applica il PPC corrisponde ad una sola stazione e ciascuna stazione è dotata del proprio sistema. Infatti, una generica linea (o sistema) produttiva può essere pianificata e controllata di più sistemi CONWIP in serie: si parla in questo caso di multi-CONWIP, come semplicemente illustrato in Figura 8.

Ove siano presenti più job in attesa di rilascio ad inizio linea, un'apposita lista riassume le loro caratteristiche e la priorità posseduta, ed essa può comprendere sia ordini effettivamente pervenuti che una loro previsione. In questo modo si realizza un sistema che ha l'obiettivo di massimizzare il rapporto TH/WIP . Inoltre, il sistema appare estremamente semplice, poiché il suo corretto

funzionamento sembra dipendere solamente da un parametro, che è il massimo numero di cartellini n che autorizzano il rilascio dei jobs. In realtà, un'analisi più approfondita mostra come le assunzioni che sono state implicitamente fatte siano (i) che la linea produttiva consista in un singolo routing e (ii) che tutti i jobs siano identici, ovvero che il WIP possa essere misurato in unità. Nel caso in cui una di queste assunzioni non fossero rispettate, il sistema si complica considerevolmente; queste complicazioni sono affrontate nel prossimo paragrafo, mentre un confronto esaustivo tra CONWIP, MRPII e kanban è esposto in [41].

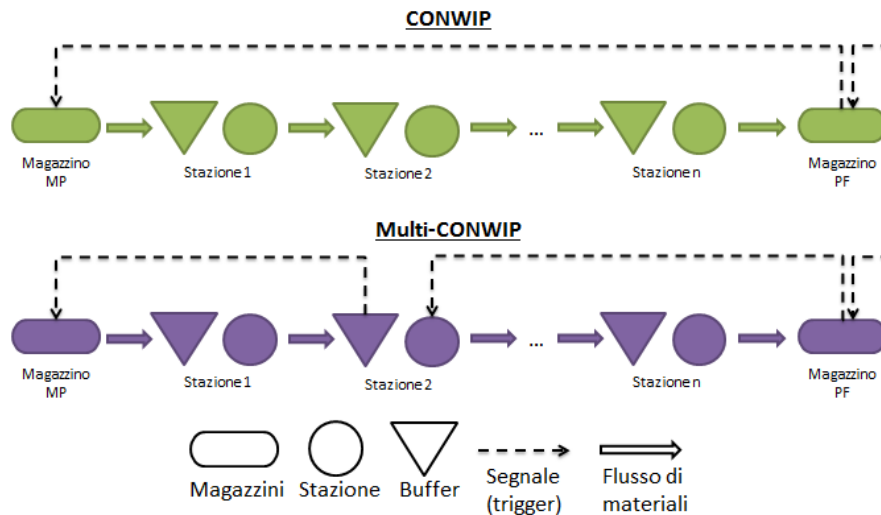


Figura 8: confronto tra CONWIP e multi-CONWIP.

4.2.2 Differenti configurazioni di un sistema CONWIP

Per ovviare alle lacune precedentemente presentate, il CONWIP ha visto negli anni successive variazioni e/o modifiche che ne hanno sensibilmente ampliato l'applicabilità e la complessità: al fine di considerare, ad esempio, la variabilità dei prodotti finiti in aziende multiprodotto si possono utilizzare i seguenti tipi di cartellini:

1. **basic CONWIP (un solo tipo di cartellini)**: la modalità più semplice di estendere l'applicabilità del CONWIP a diversi contesti è quella di mantenere un singolo tipo di cartellini che possa essere applicato indistintamente ad ogni prodotto. Questa configurazione risulta essere la più semplice, ma anche la meno efficace, poiché la variabilità dei prodotti finiti non permette di paragonare tra loro i singoli jobs o prodotti (avere come WIP di sistema 10 utilitarie o 10 auto sportive di lusso non è sicuramente la stessa cosa). Affinché questa semplice applicazione possa dimostrarsi efficace è importante individuare una opportuna unità di misura del WIP (quale ad esempio la somma dei tempi ciclo del job nello stabilimento o il tempo ciclo dello stesso al bottleneck);
2. **multi type CONWIP cards**: questa modifica del sistema prevede una tipologia di cartellini per ogni codice o famiglia (ogni cartellino può essere associato solo ad uno specifico codice o famiglia di prodotti). Questo aumenta il controllo del sistema produttivo e la complessità del CONWIP: il principale problema, infatti, diventa come definire il quantitativo di WIP ammesso per ciascun prodotto/famiglia, invece del solo valore totale di WIP nel sistema. Il numero di cartellini per ogni tipologia può essere determinato sulla base del mix produttivo o proporzionalmente al prodotto tra tempo ciclo e percentuale del mix, ad esempio;
3. **path type CONWIP cards**: gestione più complessa che associa ciascun cartellino non tanto ai prodotti quanto ad uno specifico routing (o ad un insieme di questi). Ad esempio, tutti i

prodotti che condividono lo stesso routing si possono abbinare ad una tipologia di cartellini (caratterizzati da un certo livello di WIP); o si può abbinare una tipologia di cartellini a tutti i prodotti processati da una determinata stazione (come ad esempio il test di prodotto su di uno specifico banco prova, proposto in Allegato 2).

Inoltre, un'altra scelta importante riguarda la lunghezza del CONWIP (ovvero il punto in cui i cartellini vengono dissociati dai jobs per ritornare disponibili all'inizio dei rispettivi routings): la separazione tra jobs e cartellini può infatti avvenire all'ingresso nel magazzino prodotti finiti o in uscita dalla macchina collo di bottiglia. Infatti, scopo del CONWIP è controllare il WIP nel sistema, e per definizione il bottleneck è quella macchina superata la quale (mediamente) i prodotti fluiscono senza incappare in rallentamenti o code. Pertanto è possibile scegliere due modalità di liberazione dei cartellini dai jobs, **(i) a fine routing**, ove tutta la linea produttiva è sottoposta al controllo del CONWIP, **(ii) pull-from-the-bottleneck**, dove il CONWIP arriva da inizio routing fino al collo di bottiglia per non spingersi oltre o **(iii) CONWIP assembly line**, ove più linee di produzione che alimentano un singolo assemblaggio possono essere guidate da più sistemi CONWIP che si estendono da inizio routing fino al buffer pre-assemblaggio; in (iii), l'operazione di inizio assemblaggio di un job rilascia un cartellino per ciascun componente che è necessario all'assemblaggio stesso.

Infine, si segnala che l'autore sta correntemente lavorando su di un'analisi della letteratura del sistema CONWIP che, se dovesse essere ultimata in tempo, sarà allegata extra indice alla presente tesi; l'ultima literature review sul CONWIP risale infatti del 2003 ed il lavoro sinora svolto sull'argomento è stato fondamentale per comprendere meglio i sistemi PPC.

4.2.3 Estensione del CONWIP per un'applicazione in ambito MTO

Allegato 2 presenta una metodologia per la implementazione del CONWIP in un flexible job shop. Dopo aver descritto l'azienda, una procedura di 12 steps è proposta e seguita con lo scopo di implementare il CONWIP in un'azienda MTO. La stessa procedura è quindi seguita per proporre e simulare l'introduzione di questo PPC in una parte di stabilimento che comprende 21 stazioni e processa un totale di circa 25.000 differenti prodotti. Si propone un sistema path type con schema pull-from-the-bottleneck, introducendo una specifica strategia di rilascio dei job ed una regola di carico che ordina i jobs in attesa nella lista di rilascio. Si procede quindi a costruire e validare un modello simulativo dello stato presente del sistema, che viene successivamente confrontato con lo stato futuro ipotizzato (che consiste nel sistema CONWIP descritto): il paragone tra i due dimostra come il CONWIP proposto garantisca ottimi risultati di performances aziendali.

Allegato 2: Bertolini, M. and ROMAGNOLI, G. *under review*. Design and simulation of CONWIP in the complex flexible job shop of a Make-To-Order manufacturing firm. Submitted for potential publication on *International Journal of Production Economics* (first submission on 23/05/2011 – revised version submitted on 05/06/2012).

4.3 *synchro-MRP*

Allegato 3 presenta un possibile sviluppo della VSM che consenta all'analista di progettare, all'interno della FSM, l'implementazione di un sistema synchro-MRP. Dopo una descrizione del sistema synchro-MRP, questa estensione della VSM (denominata SyVSM) comprende nuove icone, linee guida per l'implementazione e formule matematiche per calcolare il risparmio ottenibile con l'introduzione

del synchro-MRP. Un caso industriale è presentato nel paper al fine di giustificare l'utilità pratica dell'approccio proposto.

Allegato 3: Bertolini, M., Braglia, M., ROMAGNOLI, G. and Zammori, F. *under review*. Implementing synchro-MRP through synchronised value stream mapping. Submitted for potential publication on *International Journal of Production Research* (first submission on 09/05/2012 – revised version submitted on 16/10/2012).

4.4 WLC

La tecnica del Workload Control (WLC) è stata proposta per la prima volta nel 1978 con l'obiettivo di superare la sindrome del lead time [44]: con questo termine si intende la tendenza a rilasciare in anticipo gli ordini in produzione l'obiettivo di limitare il rischio ritardo dovuto alla variabilità dei FTs ed assicurare i tempi di consegna stabiliti. Questa tendenza comporta un incremento del WIP nel sistema produttivo e, secondo Little, un aumento dei valori medi dei FTs stessi. Questo manterrà lo sfasamento tra FTs e LTs, ed a fronte di ritardi che dovessero verificarsi causerà un ulteriore anticipo nel rilascio dei jobs, innescando un circolo vizioso che comporta lo scollamento tra quanto pianificato e lo stato dello stabilimento produttivo fino ad un teorico collasso del sistema.

Per evitare questa situazione, il WLC propone di scollegare l'accettazione degli ordini dal loro rilascio, costituendo un accumulo di ordini accettati ma non ancora rilasciati in produzione che denomina "Pre-Shop Pool", (PSP; si noti che lo stesso concetto sarà ripreso dal CONWIP oltre 10 anni dopo e denominato lista di rilascio). Obiettivo di questo sfasamento è quello di controllare il livello del WIP nel sistema e quindi limitare la lunghezza delle code a monte di ogni stazione; il WLC, infatti, è un sistema PPC ibrido ad integrazione orizzontale che ben si addice ad ambienti di lavorazione MTO/ETO, e che per questo motivo difficilmente si adattano all'utilizzo della lean. Al contrario, il WLC è considerato una soluzione PPC ideale per aziende che debbano definire la data di consegna ed il prezzo dei loro prodotti in modo particolarmente competitivo per aggiudicarsi gli ordini cliente [45].

In realtà, come evidenziato in una brillante literature review del 2011 [46], il termine WLC include diverse tecniche PPC riconducibili a quattro principali filoni di ricerca:

1. i metodi di Order Review and Release (ORR) ampiamente sviluppati in nord America [47];
2. i metodi di controllo dell'Input/Output del sistema (I/OC), principalmente sviluppati presso l'università di Lancaster nel Regno Unito [48];
3. il metodo Load Oriented Manufacturing Control (LOMC), sviluppato principalmente da Bechte presso l'università di Hannover in Germania [49];
4. il sistema che organizza la ORR in un PPC completo ed è stato proposto da [50] dall'università di Groninga nei Paesi Bassi (ed abbreviato come ORR WLC).

Aspetto comune di questi quattro filoni fondamentali è quello di migliorare le performances aziendali attraverso il controllo delle code davanti ad ogni stazione.

4.4.1 Il funzionamento

Coma anticipato, il WLC approccia il job shop come un sistema di code: a monte di ogni stazione si trova una coda di jobs in attesa di essere processati e ciascun nuovo job in arrivo ad una stazione si unirà alla coda. Al fine di controllare il funzionamento del sistema, il WLC impone un limite alla massima lunghezza di ciascuna coda ritardando il rilascio in produzione dei jobs che sono già stati accettati. Nonostante la letteratura scientifica presenti molti metodi diversi per il controllo dei carichi

di lavoro, infatti, il motivo ricorrente di tutti questi è l'utilizzo di un PSP che accumula gli ordini prima del loro rilascio in produzione attraverso uno specifico meccanismo (*release mechanism*). Una volta che un job viene rilasciato, esso si mette in coda all'inizio del suo routing e man mano prosegue fino al suo completamento ed uscita dal sistema. Le sequenze di lavorazione di ciascuna coda sono definite attraverso le regole di carico.

Si può quindi descrivere il WLC come una tecnica PPC che pianifica e controlla lo stabilimento mediante tre livelli di controllo [51]:

- i. accettazione dell'ordine (e definizione della data di consegna);
- ii. rilascio dell'ordine in produzione e
- iii. dispatching del job presso le code del suo routing.

Il processo logico che porta dalla ricezione dell'ordine alla consegna (o rifiuto di effettuare la consegna) dello stesso è illustrato attraverso un diagramma di [51], e qui di seguito riportato in Figura 9. La prima decisione, in realtà, comprende due attività distinte, che possono avvenire in parallelo o in seri; esse costituiscono il processo decisionale che porta all'accettazione di un ordine cliente con una specifica data di consegna: a volte, seppur raramente, il cliente impone la data di consegna e l'azienda può solamente accettare o rifiutare la stessa. Altre volte, invece, l'azienda accetta l'ordine e poi definisce o ritratta la data di consegna, anche se il più delle volte le due attività avvengono in modo parallelo. Si procederà quindi a descrivere questi tre livelli di controllo introdotti.

Livelli di controllo nel WLC

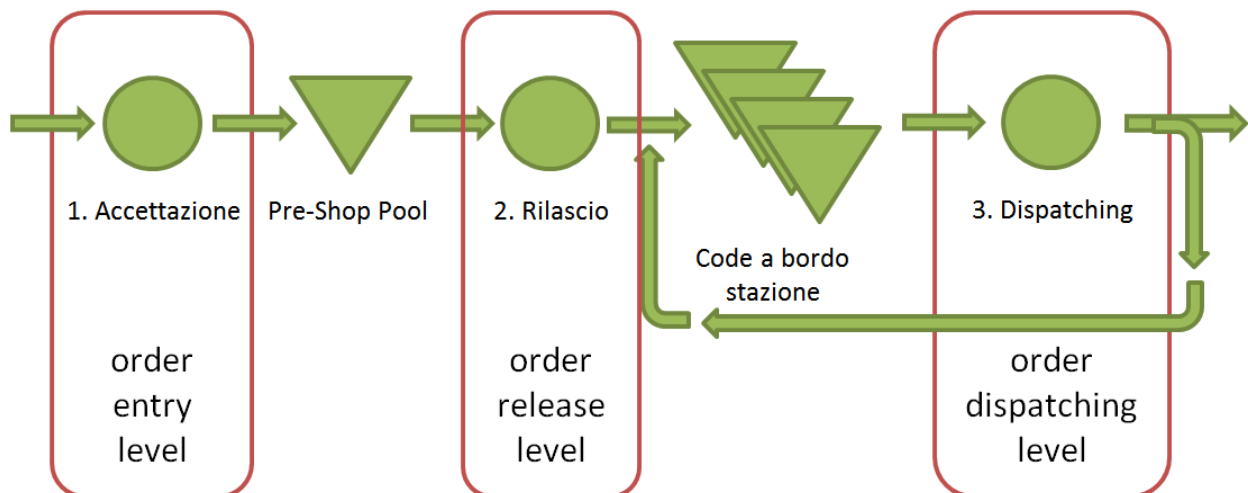


Figura 9: schema dei livelli di controllo nel WLC.

4.4.1.1 Accettazione dell'ordine e definizione della data di consegna

Come precedentemente anticipato, questa fase comprende tutte le attività che accadono tra la richiesta espressa da un ordine cliente (o ordine di acquisto, che comprende diversi ordini cliente) e l'accettazione (o rifiuto) dello stesso con una specifica data di consegna ed una quotazione economica. Qui si posiziona l'interfaccia fra la pianificazione di medio/lungo periodo (tipicamente il sistema MRP) e l'ORR; essa consiste nella preparazione ed inserimento degli ordini di produzione nel PSP e, più in particolare, nell'esecuzione delle seguenti attività:

- controllo della completezza dei cicli di lavorazione e disponibilità degli utensili, delle macchine e dei programmi per il comando delle macchine CNC;

- generazione di liste di picking relative a tutti materiali richiesti dall'ordine e controllo dell'effettiva disponibilità dei componenti in essa presenti;
- definizione della data di inizio del ciclo produttivo più opportuna, al fine di rispettare i tempi di consegna stabiliti.

Controllata e verificata la disponibilità di tutte le risorse richieste dal sistema produttivo al fine di assicurare l'esecuzione dell'ordine (informazioni, materiali, utensili, ecc.), l'ordine stesso può essere inserito nel PSP. Può capitare che questa fase venga saltata, a vantaggio di un immediato ed automatico inserimento dell'ordine nel PSP, ma questo causerà molto probabilmente ritardi e problemi nella successiva lavorazione dell'ordine in stabilimento. Esempi di articoli scientifici che si occupano della definizione/contrattazione delle date di consegna e della fase di accettazione dell'ordine sono [51], [52], [53] e [54].

4.4.1.2 Rilascio dell'ordine in produzione

Superata l'accettazione e definita la data di consegna, i jobs vengono inseriti nel PSP: questo rappresenta un immagazzinamento virtuale di tutti gli ordini di produzione accettati ma non ancora rilasciati. Per garantire l'efficacia di questo strumento, è importante che tutti gli ordini accettati siano sottoposti a questa fase prima del rilascio. In questa attesa, i jobs sono ordinati seguendo una determinata regola; tra le più comuni troviamo First-Come First-Served (FCFS), Earliest Due Date (EDD), Earliest Release Date (ERD), Critical Ratio (CR) e tante altre. Per una descrizione e confronto di diverse regole di carico presenti in letteratura si faccia riferimento a [55].

Una volta organizzati i job in attesa, il compito fondamentale dell'ORR consiste nell'autorizzare il rilascio degli stessi in modo intelligente attraverso un meccanismo di rilascio (noto anche come *triggering mechanism* o *input control mechanism*). Questo può utilizzare le seguenti tipologie di informazioni:

- lo stato corrente del PSP, cioè quanti e quali ordini siano correntemente inseriti nella lista e le loro caratteristiche;
- lo stato attuale del carico di lavoro di ogni stazione e dello stabilimento (quali ordini sono già stati rilasciati nel sistema produttivo ed in quale stazione essi si trovano);
- le prestazioni pianificate del sistema produttivo, ovvero i livelli massimi ammessi per il carico di lavoro di ciascuna stazione (le loro *norme*) e dell'intero sistema ed il conseguente FT previsto per gli ordini e relativo livello di servizio.

Utilizzando queste informazioni, il meccanismo di rilascio determina se e quando rilasciare ciascun ordine presente nel PSP, con l'obiettivo di rispettare determinate performances produttive.

Le tecniche che governano il meccanismo di rilascio (dette anche tecniche di Order Release, o OR) possono essere classificate in due grosse categorie: ***load limited*** e ***time phased***.

Le prime possono eseguire il rilascio in qualsiasi momento ed in funzione delle caratteristiche dell'ordine (carico di lavoro richiesto) e del sistema (carico di lavoro disponibile). Le seconde, invece, si occupano di definire l'istante ottimale di rilascio per ciascun job, calcolato in funzione della data di consegna e del carico di lavoro presente (o previsto) nel sistema. L'approccio *load limited* è più comune e, solitamente, efficace rispetto al *time phased*, ma quest'ultimo risulta essere migliore se associato con regole di carico che non tengono conto delle date di consegna.

Un'altra importante distinzione nel meccanismo di rilascio è la sua convenzione temporale (o *timing convention*), che può essere ***continua*** o ***discreta***. Nel primo caso un rilascio può accadere in qualsiasi istante. Al contrario, nel secondo caso, il rilascio avviene ad intervalli temporali predefiniti

(inizio turno, inizio giornata lavorativa, eccetera). Questa scelta influenza direttamente e sensibilmente l'impegno in termini di potenza di calcolo: una convenzione temporale continua è solitamente più efficiente e più complessa da progettare e gestire rispetto alla discreta.

Altro discriminante tra le varie tecniche di OR è l'unità di misura dei carichi di lavoro: questa può essere il **numero di ordini** presenti nel sistema o la **quantità di lavoro** ad essi associata (misurata in ore di lavoro sulle macchine o in percentuale di capacità pianificata). La prima unità di misura risulta immediata e poco pratica poiché generalmente approssimativa, e questo fa sì che la seconda sia di gran lunga più utilizzata.

Inoltre, nel valutare il carico di lavoro di un sistema si possono utilizzare diversi livelli di aggregazione: ad un estremo si trova il carico di lavoro dell'**intero stabilimento** che non fornisce indicazioni relative alla distribuzione del carico tra le stazioni, all'altro estremo invece si può calcolare il carico di **ogni singola stazione**. Compromesso tra queste due posizioni alternative è il calcolo del carico per le sole **stazioni collo di bottiglia**, che media tra le caratteristiche di efficacia ed applicabilità dei due estremi precedentemente riportati.

Infine, il calcolo del carico di lavoro di ciascuna stazione dovrà, secondo [56], tenere conto di tre apporti principali (differenziati secondo un discriminante temporale):

- i. il carico di lavoro in coda o lavorazione presso una stazione (*load on hand*);
- ii. il carico di lavoro che è già nel sistema ed arriverà alla stazione secondo il suo routing (*load in transit*);
- iii. il carico di lavoro che non è ancora nel sistema, ma nel PSP, ed arriverà alla stazione secondo il suo routing (*released load*).

Si noti come un carico, appena rilasciato, si trasformi da released load a carico on hand per la prima stazione del suo routing e carico in transit per tutte le successive stazioni sempre appartenenti al suo routing. Una volta conclusa la lavorazione ad una stazione, invece, il carico del job viene sottratto dal carico della specifica stazione.

Giunti a questo punto, si sono introdotti tutti gli aspetti collegati al rilascio degli ordini e si possono quindi descrivere le due metodologie di controllo dei carichi di lavoro, che possono avvenire mediante il **contenimento (workload bounding)** del carico di lavoro entro vincoli prefissati ed il suo **bilanciamento (workload balancing)**.

Il concetto di **workload bounding** consiste nell'utilizzo di parametri che limitino il carico di lavoro in stabilimento attraverso limiti superiori e/o inferiori (upper bound e lower bound) che dovranno essere rispettati al rilascio degli ordini. L'obiettivo è stabilizzare il livello di WIP, evitando il sovraccarico di alcune stazioni e starvation di altre. Come dimostrato da alcuni studi ([57] e [58]), l'impiego di limiti troppo stretti ostacola il rilascio di ordini urgenti e peggiora il valor medio del ritardo di consegna, a vantaggio della minore variabilità delle code a monte di ogni stazione.

Diversamente da questo, il concetto di **workload balancing** si preoccupa di evitare l'inattività di alcune stazioni a causa della riduzione di WIP del sistema, non limitandosi solamente a diminuire i carichi di lavoro del sistema ma cercando il loro bilanciamento. Infatti, la sequenza di rilascio presente nel PSP potrebbe proporre una lista di jobs accomunata dallo stesso (o da un simile) routing; per questo motivo, alcuni ordini potrebbero non essere rilasciati perché causano il superamento delle norme di carico di una sola stazione, mentre altre stazioni rimarrebbero sotto la norma. La stessa lista di rilascio, invece, se ottimizzata, potrebbe garantire una sequenza di jobs che meglio si avvicini ad un carico del sistema secondo le varie capacità. Questo concetto si avvicina meglio del precedente all'idea di controllo (e non solo limitazione) dei carichi di lavoro, ma richiede inevitabilmente una migliore previsione temporale della produzione ed una più accurata temporizzazione di rilascio degli ordini,

garantendo d'altronde un miglior equilibrio tra efficacia ed efficienza. Un esempio di bilanciamento dei carichi di lavoro ed i risultati da esso ottenibili è presentato in [59].

Si avvicina a questa logica il metodo LOMC di [49] che, una volta raggiunto il limite di carico su di una singola stazione, cerca nella PSP altri job che, pur causando leggeri sovraccarichi su di una stazione, bilancino meglio l'utilizzo delle altre postazioni di lavoro.

In generale, il bilanciamento dei carichi di lavoro comporta i seguenti vantaggi, se confrontato con il solo workload bounding:

- a parità di prestazioni, il WIP è decisamente inferiore;
- minore variabilità dei FTs;
- regole di dispatching poco influenti.

D'altra parte, esso comporta anche i seguenti svantaggi:

- il sequenziamento dei job non offre molte possibilità, il che può essere un problema nel caso di job con tempi di set-up molto variabili;
- conflittualità tra bilanciamento e timing.

Infine, ultimo aspetto importante del WLC consiste nel metodo utilizzato per misurare effettivamente il carico di lavoro: si è detto infatti che il carico di lavoro può essere composto da tre contributi principali (load on hand, load in transit e load released), ma non si è parlato di come questi contribuiscano alla valutazione del carico in ciascuna stazione. Sia il load in transit che il released load costituiscono infatti quantità di carico future di job che in quell'istante sono accodati in stazioni a monte, o sono ancora nel PSP. I tre approcci individuati per considerare il load in transit ed il released load sono quindi:

- approccio atemporale;
- approccio time bucketing;
- approccio probabilistico.

Il primo è anche il più semplice: esso suggerisce, al momento del rilascio, di attribuire il carico di lavoro di un job ad ogni stazione che fa parte del suo routing, senza considerare l'istante temporale in cui il job si troverà effettivamente in coda alla rispettiva stazione. In questo modo, la coda di jobs in attesa davanti ad ogni stazione comprende sia il load on hand che il load in transit, ma non il released load.

L'approccio time bucketing suddivide l'orizzonte di pianificazione in intervalli temporali (o time buckets); i jobs sono assegnati tramite schedulazione a ciascun periodo per la lavorazione su determinate stazioni, e sono considerati nelle code solo quando inclusi come carico diretto (load on hand).

L'approccio probabilistico è stato sviluppato per la prima volta in [49]; esso è il metodo più sofisticato, poiché cerca di tener conto dei carichi di lavoro futuri in funzione del tempo. Senza scendere nel dettaglio, i jobs vengono aggiunti agli ordini ancora da processare nelle stazioni future sulla base della probabilità che essi raggiungano o meno la specifica stazione nel periodo di pianificazione. Per l'approfondimento di questo approccio si faccia riferimento a [60] e [61].

4.4.1.3 Priority dispatching

Ultimo aspetto del WLC è il dispatching, ovvero la disposizione dei jobs nelle code di lavorazione a monte di ogni stazione. Gran parte di questa ricerca fu condotta negli anni '80 e '90 del secolo scorso, quando diversi autori dimostrarono l'importanza di regole di carico adeguate per gli specifici contesti

manifatturieri (si vedano ad esempio [47] e [55]). Tale filone di ricerca, tuttavia, divenne man mano meno importante e dibattuto con la diminuzione di importanza delle regole di carico quando accompagnate da altri metodi di controllo del WIP. Le ricerche più recenti sul WLC utilizzano regole di carico generalmente semplici ([51], [54]), a meno di rare eccezioni ([62]).

4.4.2 Modifiche alla VSM per l'introduzione del WLC

Analogamente a quanto svolto al paragrafo 4.3, Allegato 4 presenta un possibile sviluppo della VSM che consenta all'analista di progettare, all'interno della FSM, l'implementazione di aspetti caratteristici del WLC. La bozza di articolo, che è ancora in lavorazione, dapprima riporta le caratteristiche principali del WLC, per poi proporre una estensione della VSM che in un primo momento si occupa di raggruppare i prodotti in famiglie, e successivamente riporta i flussi materiali delle varie famiglie nello stabilimento in una sorta di macro spaghetti chart. Infine, proponendo nuove icone e nuovi strumenti si occupa di mappare il flusso di valore delle singole famiglie, considerando gli aspetti caratteristici del WLC e proponendo una introduzione di questi nella progettazione dello stato futuro.

5 Nel frattempo, la situazione italiana ...

I capitoli precedenti hanno introdotto i concetti di lean manufacturing e sviluppato la ricerca relativa a questo argomento, principalmente orientata ad ampliare l'applicazione della lean ad una maggiore varietà di settori (ATO, MTO ed ETO) e con un più ampio utilizzo di sistemi PPC (synchro-MRP e WLC). Questo capitolo riporta invece applicazioni pratiche e casi studio sull'argomento lean.

In primo luogo si descrive un progetto di ricerca il cui obiettivo verte sulla ridefinizione di criteri generali per la pianificazione ed il controllo della produzione in una PMI alimentare (Righi S.r.l.). Successivamente, si riporta la collaborazione con una grande azienda metalmeccanica per l'introduzione di logiche lean nella pianificazione e gestione delle commesse (OTO S.p.A.). Infine si relaziona l'intervento effettuato per la reingegnerizzazione dei processi aziendali in un'azienda che produce per commessa (Chronos BTH S.r.l.). Linea guida comune per i tre casi studio è l'implementazione di logiche lean in settori atipici rispetto a quelli che ne hanno testimoniato la nascita.

5.1 *Ridefinizione dei criteri generali per la pianificazione e il controllo di produzione in ambito alimentare: il caso Righi S.r.l.*

5.1.1 Introduzione

Righi S.r.l. è un'azienda alimentare con sede a Reggio Emilia specializzata nella produzione di prodotti surgelati, in particolare prodotti tipici della tradizione gastronomica emiliana. La sede e lo stabilimento produttivo di Righi sono localizzati in via monti urali 32, Reggio Emilia. L'azienda fu fondata da Leonardo Righi come laboratorio gastronomico artigianale per la produzione di Erbazzone Reggiano, per poi crescere progressivamente ed evolvere la propria produzione ad una più ampia gamma di prodotti che possa incontrare i gusti di diverse regioni italiane. A partire dagli anni '90, la ditta iniziò ad assumere un carattere industriale, distribuendo i suoi prodotti in tutte le insegne della GDO (Grande Distribuzione Organizzata) e presso i principali operatori Ho.Re.Ca. (Hotel - Restaurant - Catering). L'azienda fu acquisita nel 2005 da RoyalWessanen NV (S.p.a. olandese, quotata alla borsa di Amsterdam), con un aumento del fatturato del 30%. Tuttavia nel 2009, in seguito ad una ristrutturazione del comparto *surgelato*, Righi fu venduta dalla casa madre per ritornare in mani emiliane, con l'acquisto dell'azienda da parte di un gruppo di sei manager italiani, guidati da Marco Barbieri e Andrea Melioli: Barbieri fu nominato per presiedere il nuovo CdA e mantenne il ruolo di direttore commerciale e marketing; Melioli, fu invece incaricato dei ruoli di vice presidente e amministratore delegato.

Questo cambiamento ha rappresentato per l'azienda uno stimolo importante, riportando in azienda dinamicità ed intraprendenza; nel 2009, infatti, la società si è confermata leader di mercato nel segmento delle torte salate con un fatturato di circa 10 milioni di Euro. Inoltre, l'ampliamento della gamma di prodotti aziendali, avviato negli anni '90, è continuato sviluppando nuove linee di torte rustiche salate, prodotti da forno e vari formati di pasta all'uovo ripiena. Oggi l'azienda realizza internamente più di 100 prodotti. Figura 10 e Tabella 1 riportano e descrivono il layout dell'azienda.



Figura 10: layout Righi s.r.l., suddiviso in area uffici (arancione), produzione (rosso) e magazzini (azzurro).

ID	DESCRIZIONE
MAGAZZINI MATERIE PRIME	
1	Magazzino delle polveri e aromi (sale, spezie).
2	Magazzino di buffer per ripieni
3	Magazzino delle polveri (latte in polvere, malto).
4	Magazzino di buffer per pasta sfoglia a riposo
5	Magazzino con attrezzature e le rimanenze di fine giornata (pompe o formaggi aperti).
6	Magazzino dei grassi a 4°C (margarina e strutto).
7	Magazzino materie prime non surgelate (prosciutto, wurstel).
8	Magazzino materie prime surgelate a -20°C (spinaci, bietole, cipolla, carciofi).
11	Magazzino dei formaggi (grana, ricotta).
12	Silos MP sfuse
14	Magazzino refrigerato in cui vengono a volte stoccate alcune MP (pomodoro).
MAGAZZINI PRODOTTI FINITI	
9	Cella di stabilizzazione (-23 °C)
10	Magazzino prodotti finiti e commercializzati (-23 °C)
MAGAZZINO IMBALLI	
15	Magazzino dove sono stoccati gli imballi primari e secondari e il materiale per la palettizzazione
REPARTO CUCINA	
16	F-G cutter, H forno per eventi, 1-2-3 braschiere
REPARTO IMPASTI	
17	D-C impastatrici, B raffinatori, A sfogliatrice a mano, I pressa a burro
13	Magazzino per ritagli di pasta utilizzati il giorno seguente
REPARTO LAMINAZIONE	
18	Linea rondò 1, linea rondò 2 (linee per la laminazione di pasta sfoglia e pasta di erbazzone)
REPARTO FORMATURA	
19	Linea di formatura 1, linea di formatura 2
REPARTO SURGELAZIONE	
20	Tunnel surgelazione 1, tunnel surgelazione 2
REPARTO CONFEZIONAMENTO	
21	Macchina a controllo di visione, Linea 1, linea 2 (astucciatrice, incartonatrice, etichettatrice)

Tabella 1: descrizione del layout produttivo di Righi s.r.l.

5.1.2 Esigenze aziendali ed obiettivi di progetto

Oggetto di studio del progetto sono stati i processi che interessano la pianificazione della produzione, la produzione (con particolare attenzione ai cicli di lavorazione) e il controllo della produzione stessa. L'obiettivo principale del progetto, infatti, consisteva nella ridefinizione di un modello di pianificazione e controllo della produzione per lo stabilimento produttivo Righi di Reggio Emilia. Quest'obiettivo principale si scompone, a sua volta, nei quattro obiettivi secondari che lo compongono:

1. raccolta ed analisi dei dati relativi ai prodotti, ai processi ed alle logiche di pianificazione e controllo degli stessi;
2. definizione dei cicli di lavorazione per ciascun prodotto/famiglia di prodotti, al fine di allocare con miglior livello di dettaglio i costi di manodopera e altri costi generali ai prodotti finiti;
3. individuazione dei lotti economici di produzione per ciascun prodotto/famiglia di prodotti in un contesto multiprodotto;
4. pianificazione dei bottleneck e definizione dello scheduling ottimale di produzione per le varie famiglie di prodotti.

Con questi obiettivi, la collaborazione sviluppata con Righi si è articolata in un progetto di ricerca che ha avuto inizio il 3 ottobre 2011 e si è concluso in data 1 ottobre 2012, con una durata di 12 mesi.

5.1.3 Il progetto ed i risultati

5.1.3.1 *Raccolta ed analisi dei dati preliminare*

Il progetto è cominciato con la raccolta dei dati relativi alla pianificazione, produzione e consuntivazione della produzione disponibili ad ottobre 2011. L'attenzione si è principalmente focalizzata sull'analisi dei processi, andando a costruire rappresentazioni grafiche con differenti tecniche di mappatura, quali il diagramma IDEF \emptyset (Integration Definition for Function Modeling), il diagramma di flusso interfunzionale ed il diagramma ASME. Obiettivo di questa raccolta dati fu quello di fotografare il processo a differenti livelli di dettaglio, per comprendere a fondo le attività della pianificazione/produzione/controllo di Righi S.r.l.

La prima conclusione tratta a valle di questa raccolta dati fu notare la carenza di informazioni sensibili sul funzionamento (e sullo stato) del processo produttivo: il management aziendale si trovava ad operare conoscendo in modo impreciso il proprio stabilimento produttivo. Per questo motivo, si sviluppò un'analisi approssimativa dei flussi fisici in ingresso ed in uscita dallo stabilimento, a guisa di controllo. Tale analisi fornì una (vaga) idea dei bilanci di massa in produzione, utilizzando la logica di Figura 11 e Figura 12.

Quest'analisi fece notare gli scostamenti indicativi tra masse in ingresso ed in uscita dal sistema (dato non allarmante), l'errore nella ripartizione dei consumi di servizi (i dati precedentemente stimati erano ben diversi da quelli ottenuti, seppur imprecisi) e la quantità di scarti di produzione dichiarati che, invece, costituiva per l'azienda un dato allarmante, e quindi segnalato.





Simbolo	Descrizione
	Ricavo generato dai Prodotti di Prima Scelta venduti a prezzo "pieno"
	Ricavo generato dai Prodotti di Seconda Scelta venduti a prezzo ridotto a causa di imperfezioni sul prodotto finito. Vi è un costo opportunità dato dalla differenza tra il prezzo "pieno" e quello scontato.
	Ricavo generato dalla vendita degli scarti alimentari di produzione. Rappresenta un ricavo esiguo, inferiore ai costi sostenuti.
	Costo per smaltimento rifiuti

Figura 11: legenda per l'analisi dei flussi fisici IN/OUT in produzione.

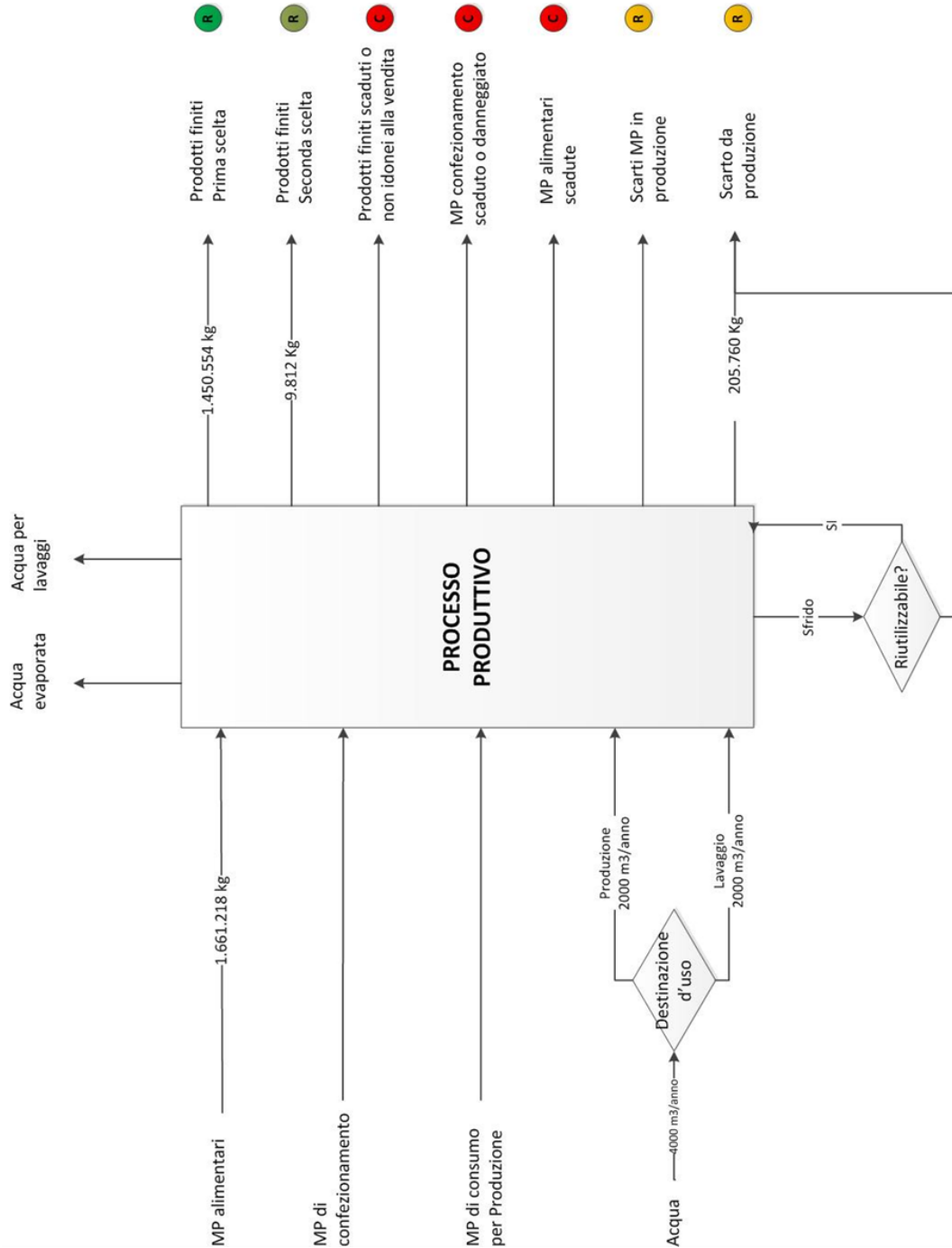


Figura 12: rappresentazione schematica dei flussi fisici IN/OUT in produzione.

5.1.3.2 Supporto all'inserimento dei dati nel sistema gestionale aziendale

Dopo aver raccolto ed analizzato i dati disponibili, si procedette con lo studio del nuovo sistema gestionale che l'azienda avrebbe implementato nel corso del 2012: questo studio illustrò come, al fine di poter consentire il passaggio al nuovo sistema, fosse necessario reperire ed inserire una serie di dati precedentemente non disponibili e/o strutturati, tra i quali figuravano in particolare le distinte base. Lo studio successivamente svolto sulle BOM permise di individuare le seguenti criticità:

- BOM non mantenute in relazione ai consumi effettivi (mancanza di un controllo periodico per confrontare il consumo dichiarato a distinta con il consumo effettivo);
- scelta poco immediata di codici utilizzati per identificare MP, SL e PF (codifiche incomplete e non standardizzate);
- presenza di due strutture di BOMs non interconnesse tra di loro e gestite come entità indipendenti, sia dal punto di vista della codifica che a livello informativo;
- BOMs utilizzate in produzione non codificate e diverse da quelle presenti in "ufficio";
- registrazione della produzione vincolata ai macchinari presenti nei reparti per l'utilizzo di BOMs di funzioni delle singole macchine (ovvero dimensionate *a capacità dei macchinari*);
- mancanza di alcuni elementi ed alcuni livelli in distinta;
- presenza in distinta di semilavorati misurato a numerosità, ed in rapporto 1:1 al kg di prodotto finito (l'utilizzo di un impasto/ripieno da parte di più prodotti finiti in proporzioni differenti ne impone la codifica con codici differenti).

Alla luce delle criticità precedentemente individuate, si formularono le seguenti proposte di miglioramento:

- i. ridefinizione della struttura della BOM;
- ii. revisione delle unità di misura utilizzate per i semilavorati e rielaborazione dei coefficienti d'uso per il calcolo dei quantitativi "esplosi";
- iii. integrazione in distinta delle materie prime non considerate;
- iv. valutazione delle possibili alternative per la considerazione dell'impasto in distinta;
- v. riprogettazione della fase di prelievo delle MP da magazzino e della reportistica ad esso associata.

Tali proposte, valutate da parte del management Righi, portarono alla nuova struttura delle distinte di prodotto illustrata in Figura 13. In essa sono illustrati i componenti già presenti nella versione precedente delle distinte base (colore azzurro), i componenti introdotti nella nuova versione (colore giallo) e tutte le unità di misura utilizzate da ciascun componente tra parentesi (numeroso unità di misura sono nuove rispetto alla versione precedente).

Successivamente, siccome il nuovo gestionale aziendale ragionava utilizzando i concetti di centri di costo e fasi di lavorazione, per consentire il passaggio a questo sistema, si individuarono i centri di costo e le fasi di lavorazione cui ciascun prodotto va incontro. Si è inoltre proceduto con una stima (iniziale ed approssimativa) del personale necessario per la realizzazione di ciascun prodotto su di ciascun centro di costo. Lo svolgimento di tutti questi passaggi, tuttavia, evidenziò come, anche in questo caso, i dati disponibili all'azienda per pianificare, gestire e controllare la propria produzione erano incompleti ed imprecisi. Per ovviare a questo limite, si decise di svolgere una raccolta dati strutturata nel reparto produzione di Righi che si proponesse di correggere e completare la conoscenza dello stabilimento produttivo.

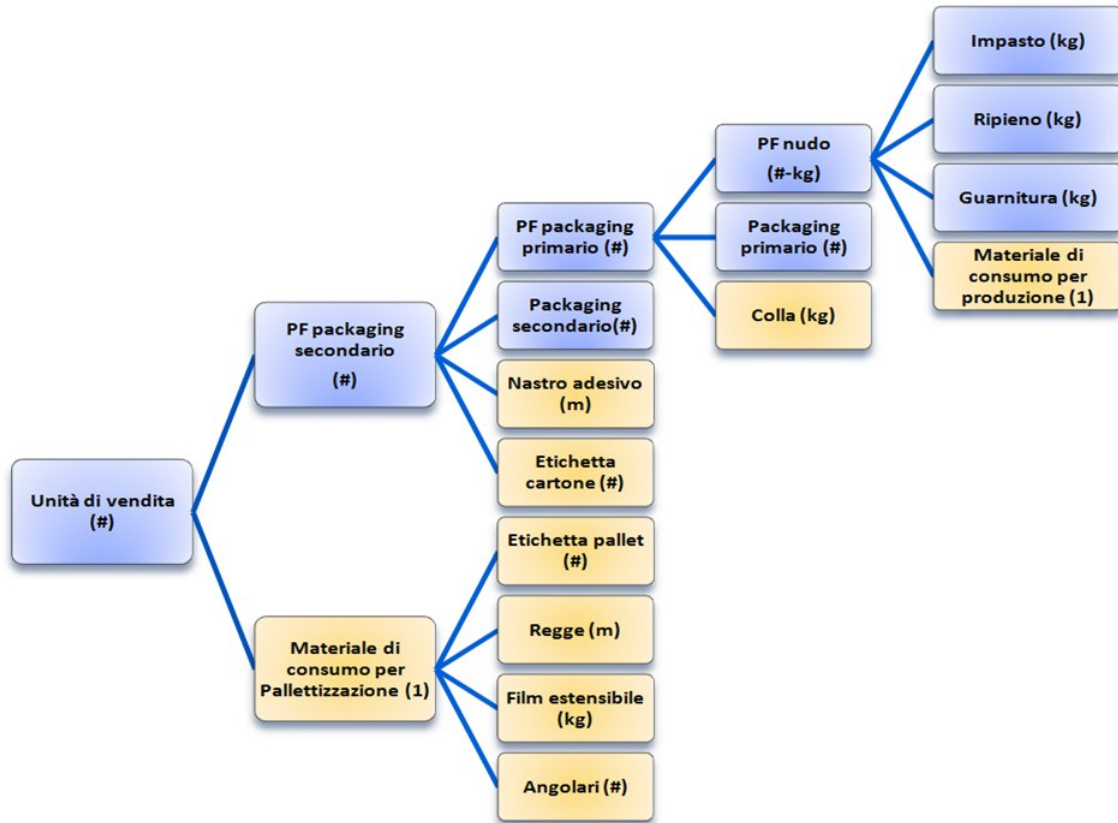


Figura 13: nuova struttura delle distinte base adottata in Righi Srl.

5.1.3.3 Nuova raccolta dati in produzione

Si è quindi scelto di svolgere una nuova raccolta dati intensiva, monitorando un singolo reparto/centro di costo alla volta e con la creazione ex-novo di moduli per uso a campione, utilizzati in monitoraggi diretti in produzione svolti tra il 16/01/2012 ed il 02/03/2012 in tutti i centri di costo dell'azienda ed ottenendo i seguenti risultati.

REPARTO CUCINA

Le operazioni di monitoraggio svolte nel reparto cucina hanno interessato 9 tipi di ripieni differenti, lavorazioni al cutter ed alla grattugia per rilevazione dei tempi ciclo delle macchine per un totale di 43 cicli macchina.

La misurazione delle masse si è dimostrata un'operazione complessa, a causa della mancanza di strumenti adeguati. Ciononostante, si è registrato il calo peso (diminuzione di massa alla cottura del ripieno per evaporazione dell'acqua) per ripieni cotti e sminuzzati.

Si è dimostrato come i tempi di impiego della macchina varino da prodotto a prodotto, nonostante si possano raggruppare i tempi di impiego del personale in tre cluster: (i) produzione ripieni per erbazzone; (ii) produzione altri ripieni e (iii) cutteraggio ripieni.

A valle della raccolta dati effettuata, si sono tratte le seguenti conclusioni:

- le attività di produzione e controllo sono totalmente manuali (automazione insufficiente);
- impossibilità degli operatori di compilare i moduli con tutte le informazioni;
- mancanza di strumenti per pesare l'output del reparto;
- i tempi si mantengono quasi costanti al variare della massa in brasiera;
- lavaggio delle cutteratrici fatto con sola acqua fredda (risciacquo);
- pur avviando la produzione alle ore 4:30, la cucina non è mai utilizzata al 100%.

REPARTO IMPASTI

Sono stati monitorati in tutto 3 tipi di impasto. In questo reparto, le macchine non presentano alcuna automazione, ed i tempi di impiego delle macchine e del personale sono più costanti rispetto alla cucina. Questi valori, infine, sono poco variabili con la quantità di massa trattata.

REPARTO LAMINAZIONE

Sono state monitorate 5 differenti laminazioni su due diverse linee di laminazione: queste operazioni sono diverse in funzione del prodotto trattato e dell'accoppiamento tra prodotti in formatura. In particolare, si verifica una grande differenza di produttività tra le linee, che porta ad un difficile bilanciamento delle stesse. L'impiego medio del reparto è di 1 operatore per ciascuna fase di laminazione, ad eccezione della linea 1 (produzione di pasta sfoglia), che necessita stabilmente di almeno 1,5 operatori.

A valle della raccolta dati nei reparti impasto ed in laminazione, si sono raccolte le seguenti conclusioni:

- la fase di impasto/laminazione presenta tempi di set up molto contenuti (10-20 minuti per ogni cambio formato) ed una elevata affidabilità;
- il reparto ha un tasso di utilizzazione molto inferiore al 100%.

REPARTO FORMATURA

In questo reparto si concretizza la massima parte della varietà dei prodotti, andando a combinare insieme (i) differenti impasti; (ii) differenti ripieni e (iii) differenti forme e dimensioni dei prodotti. Il reparto richiede il monitoraggio di parecchi dati la cui misurazione è difficile; inoltre, i tempi di setup in formatura sono consistenti, l'impiego di personale è notevole (da 1 a 5 persone per linea di formatura) e si generano parecchi scarti e sfridi (particolarmente in guarnitura, ove si verifica una bassa efficienza), nonostante l'affidabilità del reparto sia molto elevata.

Le due linee di produzione possono spaziare su livelli di produttività differenti (da 250 a 600 kg/ora), e la quantità di scarti/sfridi prodotta varia molto a seconda del prodotto, con picchi di oltre un centinaio di kg/ora.

REPARTO CONFEZIONAMENTO

Il reparto di confezionamento presenta tempi di set up consistenti, ha una parziale automazione (almeno a livello di confezionamento primario) e verifica la presenza di circa 1,5 persone per linea. La produttività misurata per questo reparto arriva a 700 kg/ora, ed esso è responsabile di un'elevata produzione di scarti. È il reparto che, insieme al tunnel, presenta la minore affidabilità, pur manifestando produttività puntuali superiori a quelle della formatura, ma con un elevato numero di fermate/scarti.

RISULTATI E CONCLUSIONI

A valle della raccolta dati svolta, i risultati ottenuti, si possono riassumere come segue:

- il confezionamento è l'attività a minor produttività (frequenti fermate);
- il tunnel di surgelazione è la macchina collo di bottiglia dell'impianto;
- la massima manodopera è richiesta da laminazione 1 e confezionamento;
- i reparti di laminazione, impasti e ripieni sono fortemente sopradimensionati.

Infine, si sono raccolte e strutturate le seguenti note, indirizzate al management Righi:

- i moduli di produzione raccolgono parecchie informazioni ridondanti e la loro registrazione è impegnativa;
- i dati da report potrebbero essere riorganizzati in modo da massimizzare la loro utilità;
- la mancanza di strumenti di misura rende la pesatura delle masse impossibile – controllo limitato su scarti e sfridi;
- alcune lavorazioni non sono razionalizzate o sono poco efficienti;
- automazione quasi inesistente: elevata richiesta di operazioni manuali.

Si può quindi affermare, una volta conclusa questa intensiva raccolta dati sul campo, che una pianificazione della produzione efficace si deve basare su dati raccolti quotidianamente. I moduli strutturati per questa fase, analitici ed intensivi, non sono adatti per un utilizzo giornaliero da parte del personale di Righi. Si è quindi scelto di riformulare il report di raccolta giornaliera dei dati di produzione, poiché quello precedente non risultava completo, tralasciando il livello di dettaglio usato in questa fase e prestando attenzione ai dati dei singoli prodotti, alle produttività orarie e di linea. In questo modo, i dati potranno essere raccolti su base giornaliera in modo sistematico (purtroppo senza l'ausilio di automazioni che non sono presenti in azienda) e successivamente organizzati a livello mensile.

5.1.3.4 Riorganizzazione della modulistica e controllo di capacità

Si è quindi provveduto a riorganizzare i report giornalieri in 4 macro aree:

1. **produzione**: dati relativi alle quantità di prodotto e al packaging utilizzato
2. **personale**: dati relativi al personale ed alle ore lavorate per reparto
3. **macchine**: dati sulla produttività delle linee, le fermate e i tempi di setup
4. **qualità**: quantità di extraconsumo, di scarti e di sfridi della giornata.

A livello mensile, invece, i dati saranno utilizzati per popolare un database mensile con le seguenti caratteristiche:

- presenta l'andamento di ogni dato di produzione con dettaglio giornaliero e li riassume in un solo foglio, con grafici e formattazioni condizionali;
- permette un confronto coi mesi precedenti, data la sua compilazione standard;
- permette un'individuazione grafica ed immediata di outliers e colli di bottiglia;
- facilita l'analisi statistica;
- individua facilmente sprechi e relativi costi ad essi correlati.

Infine, con lo scopo di agevolare la pianificazione della produzione, oltre alla raccolta mensile dei dati, si sono creati altri due database aggiornati in continuo che presentano valori medi dei dati di produzione relativi ai singoli prodotti e della matrice contenente i tempi di setup. Questi database sono raccolte storiche di valori medi aggiornati che organizzano i valori mensili al fine di ottenere, in particolare:

- tempi medi di setup, tra i giorni e nel giorno di produzione, da qualsiasi codice di partenza a qualsiasi codice di arrivo;
- tempi medi di fermata incontrollabile per ciascun prodotto e per ciascuna linea;
- produttività media dell'ora effettiva (ovvero al netto delle fermate) per ciascun prodotto.

Grazie a queste informazioni è stato possibile ottenere un programma denominato "controllore di capacità", che consente di ottenere lotti di produzione che perseguono i seguenti obiettivi: (i)

saturazione dell'unità di carico prevista, (ii) saturazione del turno previsto e (iii) raggiungimento di obiettivi stimolanti e realistici per la produzione.

Una volta ottenuti i suddetti lotti di produzione, si potranno ricavare altre informazioni a supporto della produzione, in particolare stimare il consumo previsto (su base settimanale e giornaliera) di materie prime nel caso si adotti il lotto di produzione indicato.

5.1.4 Conclusioni

Il progetto di ricerca svolto si è dimostrato particolarmente interessante ed utile per capire in profondità la realtà di una PMI emiliana in ambito alimentare. La collaborazione si è fortemente incentrata su aspetti produttivi e gestionali, ed ha richiesto la capacità di operare nei singoli reparti, così come sul nuovo software gestionale ed a contatto con consulenti aziendali.

Le conclusioni che si possono trarre a valle del progetto di ricerca sono le seguenti. Righi costituisce un ottimo esempio di una PMI italiana di successo; nata in un contesto familiare, essa si è estesa fino a diventare una importante realtà industriale. Nonostante la posizione sul mercato, l'azienda si trova ad operare con macchinari in parte obsoleti, ma soprattutto in una importante carenza di automazione. E, cosa ancor più grave, la carenza di automazione rispecchia la scarsa importanza riconosciuta all'acquisizione ed analisi dei dati provenienti dal reparto produttivo (e, purtroppo, molte piccole e medie aziende italiane si trovano in questa situazione!).

Questa carenza, sentita dall'azienda, ha portato al progetto di ricerca descritto, il quale, nonostante i propositi ambiziosi di paragrafo 5.1.2, si è occupato di argomenti molto più semplici del previsto. Appare allora, prendendo Righi come modello, una logica conclusione di questo progetto di ricerca la necessità di una maggiore e più incisiva collaborazione tra il mondo della ricerca e le PMI emiliane. Il primo, con umiltà, deve accompagnare le piccole e medie imprese verso la comprensione dell'importanza e l'acquisizione degli strumenti per la pianificazione ed il controllo della produzione. Le PMI, dal canto loro, devono uscire dalla sola logica del fare (*"perché se non vendiamo qui si chiude bottega"*) e dedicare risorse ad un miglioramento dei loro processi e del controllo degli stessi, se vogliono sopravvivere nel mercato globale.

5.2 *Introduzione di logiche lean nella pianificazione e gestione delle commesse: il caso OTO Mills*

5.2.1 Introduzione

Oto Mills è un'azienda situata a Boretto (RE) e primariamente specializzata nella progettazione e produzione di linee per tubi e profili saldati dai 4 ai 220 mm di diametro; l'azienda inoltre realizza componenti di carpenteria metallica e sistemi per l'insonorizzazione industriale. Oto Mills fu fondata nel 1980 da Steno Marcegaglia, Giovanni Giuliani e Aleardo Chezzi, e nei suoi tre decenni di storia la società è cresciuta incrementando le proprie tecnologie e competenze, riuscendo così a far fronte ad un mercato in continua evoluzione realizzando ed installando più di 700 macchine in tutto il mondo.

Con l'obiettivo di differenziarsi e realizzare un vantaggio competitivo, l'azienda ha perseguito e realizzato un'integrazione verticale, sviluppando società specializzate in obiettivi complementari, come Oto Mills Steel Structural Works, Elletre ed Oto Lift Trucks.

A partire dal 16 Settembre 2011 il Gruppo cambia ragione sociale in OTO S.p.A. e assume il ruolo di capogruppo, cui fanno riferimento 3 business units ed una società partecipata al 100%: OTO Mills per la produzione di linee tubi, OTO Lift Trucks per la produzione di carrelli elevatori di grandi dimensioni e portate, OTO Steel (ex OTO Mills SSW) specializzata nella lavorazione dei metalli, OTO Automation (ex Elletre) diventata ora completamente di proprietà di OTO S.p.A.

OTO S.p.A. di opera con successo ed è un punto di riferimento nel mercato mondiale, grazie alla sua flessibilità, esperienza e capacità di personalizzare i propri prodotti in funzione di specifiche realtà e clienti con la massima attenzione ai costi di esercizio. Per il perseguimento di questi obiettivi, OTO investe costantemente nello sviluppo di nuovi prodotti e nella formazione delle proprie risorse umane. L'azienda detiene il 70% delle quote del mercato occidentale per gli impianti fino agli 8 pollici di diametro, con intenzione di ampliare la gamma fino ai 26 pollici. Attualmente, OTO S.p.A. è presente in più di 50 Paesi nel mondo e in tutti i continenti.

5.2.2 Esigenze aziendali ed obiettivi del progetto

Con queste premesse, il progetto di ricerca è cominciato nel luglio 2012 e con una durata prevista di 12 mesi, avendo per oggetto l'introduzione di nuove metodologie di pianificazione e gestione delle commesse che si ispirassero ai concetti lean riportati nel capitolo 3.

In accordo con il management aziendale, inoltre, si sono fissati i seguenti obiettivi di progetto, ove i secondi due dipendono dai primi (e principali) due.

1. Riduzione del Lead Time Industriale del 30%.

Per Lead Time Industriale, che per semplicità si indicherà con LTI, s'intende l'intervallo di tempo, concordato con il cliente finale, che intercorre tra la data d'inizio della fase di progettazione e la data di collaudo della macchina, come si può notare da Figura 14.

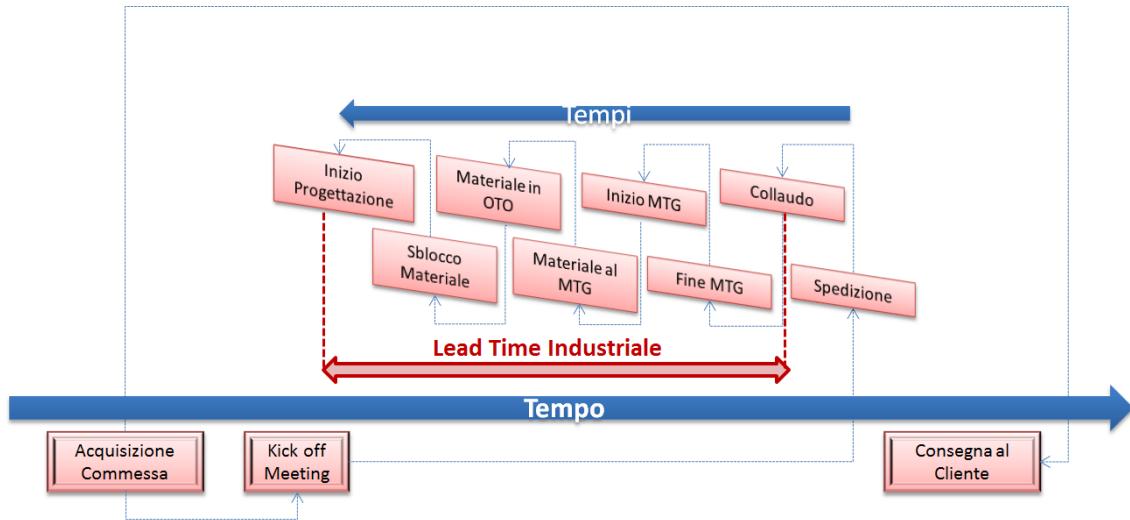


Figura 14: rappresentazione schematica di flusso e relazioni tra le fasi di una commessa.

2. Aumento della produttività delle stazioni di premontaggio e montaggio finale del 25%.

Il tempo impegnato nelle varie stazioni di premontaggio e montaggio finale può essere scomposto nelle tre componenti introdotte nel paragrafo 0: tempo a valore (VA), tempo non a valore (NVAn) e spreco (NVA). In base a questa distinzione, la produttività delle stazioni è stata ridefinita come rapporto tra le ore VA e le ore complessive relative alla specifica commessa, ovvero:

$$Produttività = \frac{\text{ore VA}}{\text{ore complessive}} \times 100$$

3. Aumento della qualità del servizio.

Riducendo gli spazi occupati ed il quantitativo di materiale contemporaneamente presente alle postazioni di montaggio si evitano sprechi di tempo nella ricerca di materiale e negli spostamenti, consentendo di dedicare maggiori percentuali di tempo operatore alla fase di montaggio. In questo modo, si otterrà un indiretto aumento della qualità al montaggio. Questo aumento può essere quantificato misurando, ad esempio, la eventuale riduzione degli interventi in garanzia sulle macchine installate.

4. Aumento della sicurezza.

Andando a sequenziare correttamente l'approvvigionamento delle stazioni di premontaggio e montaggio si evita la contemporanea presenza di materiali pesanti a bordo stazione; questi debbono più volte essere movimentati con mezzi e strumenti che, teoricamente, aumentano il numero di possibili infortuni. Questo potenziale aumento di sicurezza può essere quantificato misurando la riduzione degli accessi all'infermeria di stabilimento durante premontaggio e montaggio.

5.2.3 Il progetto ed i risultati

Il progetto si è articolato in quattro fasi fondamentali: (i) analisi della situazione iniziale, (ii) sviluppo di proposte di miglioramento, (iii) applicazione delle proposte presentate e (iv) misurazione dei benefici ottenuti.

5.2.3.1 Analisi della situazione iniziale

Questa prima fase consiste nell'immortalare la situazione di inizio progetto dell'azienda. Si è proceduto analizzando i diversi prodotti dell'azienda con lo scopo di individuare la specifica linea/macchina su cui concentrare il lavoro. Senza scendere nel dettaglio della descrizione delle specifiche parti macchina, in questa fase si è in primo luogo valutato l'elenco ordini di acquisto ricevuti da OTO Mills: siccome l'azienda aveva già al luglio 2012 ordini in portafoglio per 20 mesi, si sono considerati gli ordini del biennio 2012-2013.

Utilizzando quindi il diametro dei tubi in uscita come parametro discriminante, si sono ottenuti 3 cluster di prodotti OTO (Figura 15):

- profile ETC;
- profile non ETC di piccole dimensioni;
- profile non ETC di medie dimensioni.

POLLICI	mm	TIPOLOGIA DI PROFILA					
		STD	SPEC	HQ	RTC	QTC	ETC
0,5-2	12-50	X		X	X	X	
2-3	50-76	X	X	X	X	X	
3-3,5	76-89	X	X		X	X	X
3,5-6,5	89-165	X	X		X		X
6,5-8,5	165-215	X			X		X
8,5-16	215-406						X
>16	>406						X

Figura 15: clusterizzazione delle linee prodotto da OTO Mills.

Dopo l'analisi del portafoglio ordini (biennio 12/13) e la classificazione per diametro e modello, si è individuata la tipologia di macchina su cui svolgere l'analisi, ovvero la profila ETC da 8", nonché la specifica commessa, 13619. Questa scelta è principalmente dovuta ai seguenti motivi:

- la profila concentra il maggior numero di premontaggi;
- le profile sono caratterizzate da un elevato margine di contribuzione;
- i premontaggi della profila 13619 cominciavano nel periodo iniziale del progetto;
- questo genere di profila si prevedeva altre cinque volte nel corso del 2013.

Successivamente, si sono analizzate le metodologie di pianificazione e gestione delle commesse, evidenziando vantaggi e limiti. OTO Mills opera su due livelli di programmazione: la **programmazione di alto livello**, effettuata in fase d'offerta, e la **programmazione di medio livello**, effettuata a commessa acquisita e successivamente al Kick Off Meeting.

La programmazione di alto livello è utilizzata in fase di offerta, presenta un orizzonte temporale di un anno e un livello di dettaglio che scompone le commesse in macro-fasi di ingegneria, acquisti e produzione. Queste macro-fasi sono poi raggruppate in una visualizzazione comune, che permette, in fase d'offerta, di definire la data di consegna della macchina. In particolare, si devono individuare (i) la data di consegna della commessa, (ii) le date d'inizio e fine produzione (comprensiva di montaggio meccanico ed elettrico, collaudi, imballo e spedizione), (iii) le date di inizio e fine approvvigionamento e (iv) le date d'inizio e fine ingegneria.

A valle di questa prima programmazione si tiene il kick-off meeting e si prosegue con la programmazione di medio livello, ove le fasi di ingegneria e produzione sono pianificate separatamente. Questa programmazione si articola su un orizzonte temporale di 6 mesi e un livello di dettaglio che arriva alla fase di montaggio della singola macchina. A questo livello si definiscono le seguenti date: (i) data di spedizione, (ii) data merce pronta, (iii) data inizio collaudo, (iv) data inizio montaggio e (v) data di arrivo materiale in azienda.

In particolare, (v) si ottiene sottraendo a (iv) un valore fisso di 4 settimane, mentre (iv) si ottiene dalla (iii), sottraendo il monte ore storico relativo al montaggio. Non avendo informazioni relative al ciclo di montaggio della macchina, tutto il materiale viene, teoricamente, portato assieme al montaggio.

L'analisi finora effettuata ha permesso di sottolineare i seguenti problemi: la metodologia attuale di pianificazione e gestione della commessa manca di sincronismo fra le diverse macro-fasi di ingegneria, acquisti e produzione. Questa mancanza è causata dalle scarse informazioni relative al ciclo di montaggio delle macchine; queste infatti sono fondamentali per programmare a ritroso tutte le attività dell'azienda. La loro mancanza, di conseguenza, genera assenza di sincronismo, che è fonte diretta di elevati LTI e peggioramento della produttività, come illustrato da Figura 16.

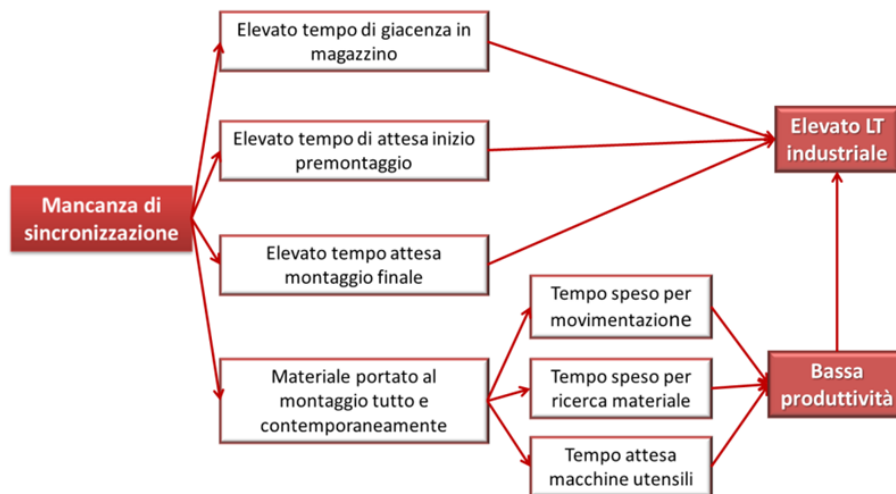


Figura 16: collegamento tra la mancata sincronizzazione e l'incremento del LTI.

Inoltre, le attività di analisi hanno portato a ricavare dati relativi a tempi di premontaggio, che sono stati raggruppati come appare in Figura 17. Come si può notare in figura, i tempi persi per attività NVA ed NVAn ammontano a circa il 63% del totale. Completa l'analisi il monitoraggio della pianificazione.

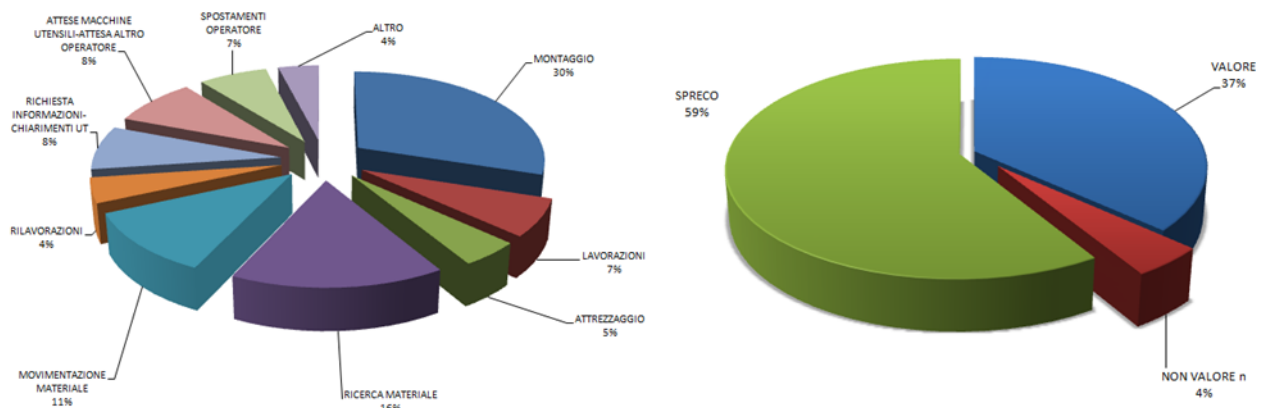


Figura 17: monitoraggio dei tempi complessivi di premontaggio, suddivisi in VA, NVAn ed NVA.

La profila 13619 è stata programmata secondo il metodo precedentemente descritto, il programma di produzione settimanale e i movimenti materiali registrati hanno permesso di risalire alle seguenti date:

- Kick off meeting: 16/02/2012
- Consegna 31/01/2013

Il monitoraggio diretto portato avanti da luglio in poi ha permesso quindi di ricavare le date relative ai premontaggi e montaggio finale. Queste informazioni sono riassunte nel diagramma di Gantt di Figura 18, ove ogni fase della commessa è caratterizzata da un colore differente.

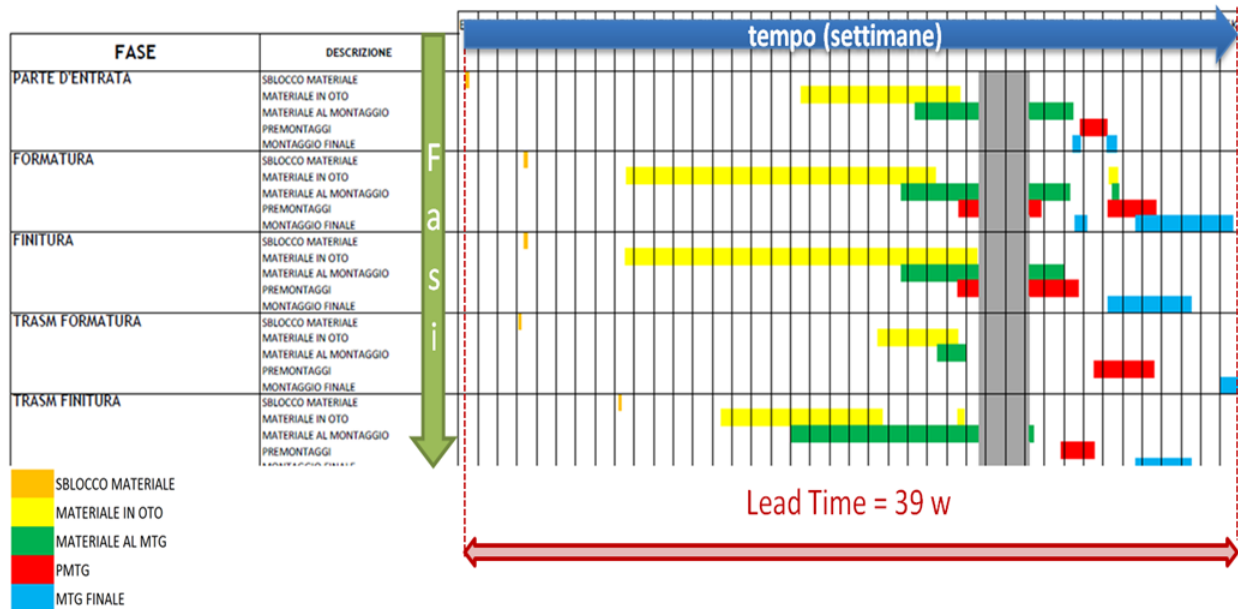


Figura 18: programmazione della commessa 13619.

A seguito di questa analisi è possibile evidenziare una generica mancanza di sincronizzazione tra le fasi, che causa un LTI di 39 settimane (Figura 18). Si traggono inoltre le seguenti conclusioni.

- Il tempo medio fra sblocco materiale e arrivo materiale in OTO: 10 settimane

Questo è dovuto al fatto che l'ufficio acquisti non conosce e contratta il LT dei fornitori; di conseguenza lo sblocco del materiale viene effettuato con grande anticipo, e nonostante questo si verificano ritardi che allungano anch'essi il LTI.

- Il tempo medio di conteggio, controllo qualità e stoccaggio in magazzino: 7,7 settimane

In questo lasso di tempo il materiale arriva in OTO e attraversa l'intero sistema logistico. Nonostante questo tempo sia consistente, esso non è stato affrontato nel progetto.

- Il tempo medio di attesa prima dell'inizio del montaggio: 3,7 settimane

Durante questo tempo il materiale permane in giacenza presso il premontaggio, occupando inutilmente spazio e causando inutili spostamenti.

- Il tempo medio di attesa materiale premontato a bordo macchina: 2,7 settimane

Analogamente al caso precedente, durante questo lasso di tempo i gruppi premontati permangono in giacenza presso la stazione di montaggio finale.

5.2.3.2 Sviluppo di proposte di miglioramento

Per cercare di risolvere le problematiche emerse dall'analisi sulla profila 13619, si è proposta una nuova metodologia di pianificazione e gestione delle commesse fondata sulle logiche del project management multi commessa e, in particolare, sulle necessità di migliorare il sincronismo tra le varie fasi del progetto.

La nuova procedura di pianificazione e gestione delle commesse si organizza su tre livelli di programmazione. La **programmazione di alto livello** non si discosta dalla procedura attuale. La **programmazione di medio livello**, per quanto riguarda la produzione, si occupa di determinare le seguenti date, in accordo con la disponibilità delle risorse: (i) data di spedizione e (ii) data merce pronta, (iii) data inizio collaudo e (iv) data inizio montaggio.

Per garantire il corretto sincronismo tra le diverse fasi si deve però ricorrere ad una terza fase: la **programmazione di dettaglio**. Questo livello di programmazione fa riferimento ai diagrammi di montaggio delle macchine, e permette di definire con precisione le seguenti date: (i) data inizio montaggio delle singole attività (Figura 19) e (ii) data di rientro materiale (Figura 20).

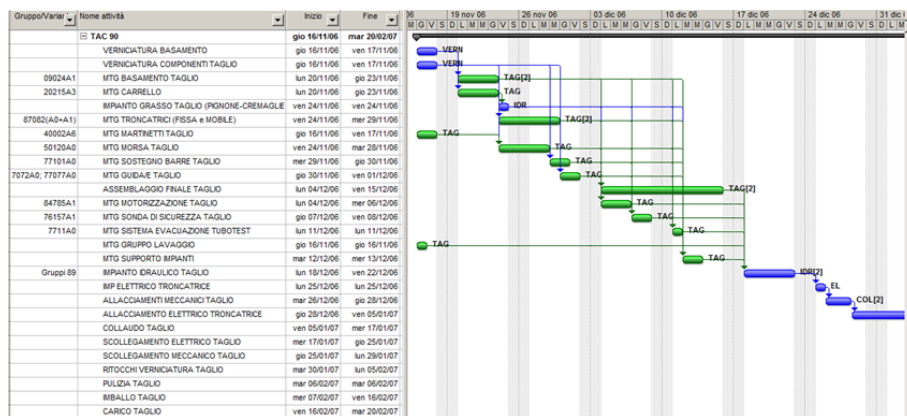


Figura 19: diagramma di Gantt relativo al montaggio.

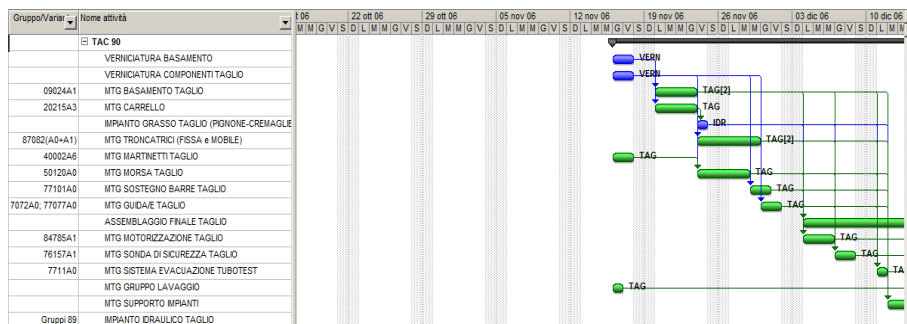


Figura 20: metodo per il calcolo delle date merce in azienda.

In particolare, grazie a Figura 19 si possono evitare lunghi tempi d'attesa d'inizio montaggio, la presenza contemporanea di tutto il materiale alla stazione di montaggio e ridurre sensibilmente i tempi non a valore per la ricerca del materiale. Il risultato di Figura 20 permette invece di non sbloccare il materiale contemporaneamente, ma in modo sincronizzato, evitando lunghi tempi di giacenza in magazzino.

A fronte di queste modifiche e cambiamenti si arriva al risultato di Figura 21. In essa, una semplice pianificazione e gestione basate su un diagramma di Gantt riesce a ridurre il LTI di un 36%, passando da 39 settimane a 25 settimane. La nuova procedura è stata implementata attraverso i passi illustrati nel prossimo paragrafo.

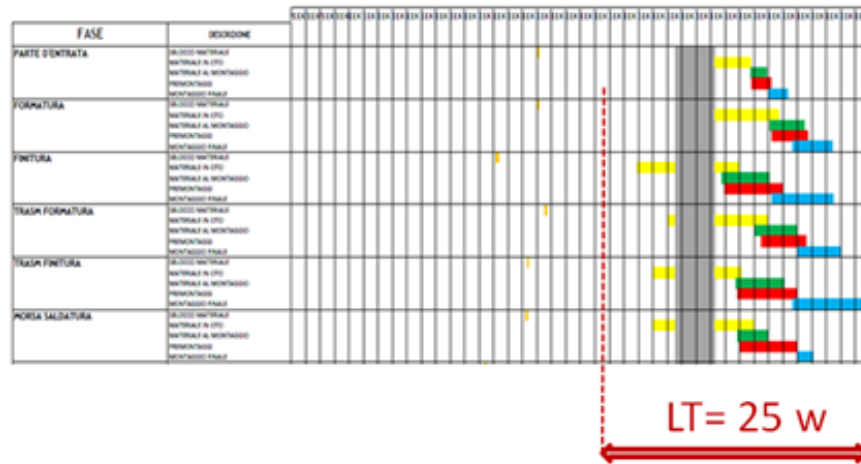


Figura 21: andamento di un ipotetico sviluppo sincronizzato di profila 13619.

5.2.3.3 *Applicazione delle proposte presentate*

Le proposte illustrate precedentemente sono state applicate all'interno della realtà OTO Mills. In primo luogo si è cercato di popolare i modelli Excel e Project delle varie macchine, si è poi proceduto creando i cartellini di raccolta ore e di creare i modelli Gantt sul software aziendale.

Con la collaborazione dei capi squadra si sono preparati i modelli Excel per il calcolo del contenuto di lavoro (in ore) delle varie attività. Per ogni macchina si sono individuate le discriminanti che variano il contenuto di lavoro, i vincoli di precedenza e le risorse necessarie allo svolgimento delle attività. Con questi dati si sono preimpostati i modelli in MS Project delle specifiche macchine.

I dati raccolti ed organizzati sono poi stati impiegati per la gestione (poiché la programmazione risaliva ai primi mesi del 2012) della commessa 13535, approcciata secondo la procedura esposta nel capitolo precedente: in primo luogo si sono individuate le caratteristiche particolari di questa profilatrice. Si è quindi settato il configuratore Excel per risalire al corretto quantitativo di ore di ogni attività (simile, ma diversa in termini di lavoro rispetto all'omonima attività della commessa 13619). Con l'ausilio del capo squadra per la verifica di precedenze e le risorse, si sono quindi associati "gruppi" o "varianti" alle varie fasi del nuovo Gantt. In questo modo si è ottenuto il diagramma Gantt ideale della Profila 13535.

Con esso, è stato possibile determinare la sequenza ottimale di montaggio con i relativi tempi, e questa informazione ha permesso di definire più precisamente la sequenza ottimale di montaggio. È stato inoltre possibile, grazie a questo strumento, apportare modifiche nella preparazione dei pallet destinati al premontaggio, consentendo un'uscita del materiale per variante, in modo che lo spazio alle varie stazioni sia occupato solamente da una variante per volta.

5.2.3.4 *Misurazione dei benefici ottenuti*

Dopo aver applicato parte delle nuove procedure alla commessa 13535 si è passati ad una valutazione dei risultati. Le rilevazioni effettuate hanno portato ai seguenti risultati.

- Riduzione degli spazi occupati.

Il confronto tra luglio 2012 (commessa 13619) e novembre 2012 (commessa 13535) ha portato ad una più coerente disposizione dei pallet rispetto alle stazioni di premontaggio, ad una riduzione dell'86% del volume di materiale e dell'80% in termini di varianti presenti a bordo stazione.

- Aumento della produttività.

Il confronto tra le commesse 13619 e 13535 ha portato ad un aumento delle attività a valore pari al 25%, con un dimezzamento dei tempi spesi per la sola ricerca materiale.

- Riduzione dei tempi di attesa alle macchine utensili.

Infine, il mese di novembre ha verificato una diminuzione del 5% del tempo di attesa delle macchine utensili rispetto a luglio/agosto 2012.

5.2.4 Conclusioni

Il progetto di ricerca illustrato precedentemente ha permesso di approfondire la conoscenza di una grande azienda metalmeccanica che produce per commessa; la collaborazione si è incentrata su aspetti di pianificazione e gestione della produzione.

A valle del progetto, emerge come anche nel caso OTO l'azienda provenga da una gestione "padronale" abbastanza recente (il top management è ancora formato dai fondatori dell'azienda); nonostante i prodotti realizzati dalla società siano estremamente complessi e tecnologicamente ineccepibili, i dati di cui l'azienda dispone relativi alle operazioni di montaggio sono decisamente scarsi. Si conoscono i quantitativi di ore necessari per la progettazione, il premontaggio ed il montaggio di ciascun prodotto, ma solo a livello aggregato, e non al dettaglio delle singole operazioni. Anzi, a dire il vero, l'azienda non è al corrente dei cicli relativi al premontaggio e montaggio dei propri prodotti.

Questa caratteristica, comune a tutte le realtà aziendali italiane con cui lo scrivente ha collaborato, comporta innumerevoli svantaggi all'organizzazione. Primo fra tutti, la mancata formalizzazione dei compiti produttivi necessari per realizzare i vari prodotti complica fortemente la formazione di nuovo personale. Inoltre, questa carenza rende più difficile esplicitare i compiti dei singoli, disincentivando una piena assunzione di responsabilità che permetterebbe di aumentare di molto la qualità dei prodotti e dei processi. Infine, in mancanza di direttive precise sulle attività di produzione, il know how delle persone non viene acquisito dall'organizzazione come asset.

Infine, non si può non segnalare come grave la carenza di sincronizzazione tra ingegneria, acquisti, premontaggio e montaggio segnalata al paragrafo 5.2.3. Le proposte avanzate per il miglioramento, infatti, non provengono certo dai principi lean illustrati nel capitolo 3, quanto piuttosto dalle basi d'ingegneria industriale apprese durante il corso di Impianti Meccanici.

Alla stregua di quanto avvenuto per Righi, quindi, anche il caso OTO Mills suggerisce la necessità di una maggior collaborazione tra la ricerca e l'industria verso un miglior utilizzo dei concetti di base dell'ingegneria industriale ed una formalizzazione del know how personale, che sicuramente non manca nelle aziende italiane e che deve divenire patrimonio societario. Solo così, infatti, a parere dello scrivente, si può evitare l'acquisizione da parte di gruppi stranieri delle aziende italiane che tanto brillano dal punto di vista della qualità dei prodotti quanto (mediamente) non sanno trasformare questo prerequisito in un investimento duraturo e di successo.

5.3 Business Process Reengineering in ottica lean in un'azienda che produce per commessa: il caso Chronos BTH

5.3.1 Introduzione

Chronos BTH è una società che progetta e realizza macchinari innovativi e personalizzati per la pesatura, insacco, pallettizzazione e assicurazione del carico pallettizzato di materiali sfusi⁶ (bulk materials). L'azienda offre soluzioni integrate di tipo manuale, semi-automatico o automatico.

Il nome del gruppo fa riferimento alle origini industriali del prodotto, quando la prima bilancia automatica per materiali sfusi venne inventata dalla "Hennefer Maschinenfabrik Chronos Reuther und Reiser" a Hennef (nei pressi di Colonia, Germania), nata nel 1881 e successivamente rinominata "Chronos-Werk". L'azienda, fin dall'inizio della sua storia, ha quindi contribuito a gettare le basi e stabilire gli standard per i progressi nel settore della pesatura automatica. Durante il secolo scorso, l'espansione del business ha portato alla apertura di filiali in diverse parti del mondo, quali Nottingham, Parigi, Parma e Bangkok. Nel 1982, la Chronos-Werk fu rinominata Chronos Richardson.

Nel 2002, il gruppo canadese Premier Tech ha concluso le trattative per l'acquisizione dell'azienda a seguito di un'imponente manovra finanziaria. Ad inizio 2009, Chronos Richardson ha acquisito, unitamente alla casa madre, la società olandese "Bag Treatment Holland" (BTH), creando così la denominazione attuale di Chronos BTH.

Oggi, grazie alla lunga esperienza e alle acquisizioni della casa madre Premier Tech, il gruppo si avvale di tecnologie, di un know-how industriale e di una reputazione che ne ha fatto un leader nell'offerta di attrezzature-impianti per materiali sfusi. Il gruppo conta circa 2.000 dipendenti impiegati in tutto il mondo, vendite annue per oltre 250 milioni di € di fatturato e 7 unità operative.

La sede operativa di Parma dispone di un organico di 33 dipendenti, organizzati in una struttura di tipo funzionale.

5.3.2 Esigenze aziendali ed obiettivi del progetto

Il progetto realizzato e di seguito descritto consiste nella formulazione di una proposta di reingegnerizzazione dell'intero iter di commessa per l'azienda Chronos BTH, utilizzando come principale criterio di riferimento il concetto di lean illustrato al capitolo 3.

Lo scopo del progetto è quello di rendere più snello ed efficiente il flusso fisico e il flusso informativo relativi all'intero ciclo di vita della commessa; questo consentirà all'azienda di gestire al meglio tempi, costi e qualità di progetto e, in ultima analisi, ottenere migliori risultati aziendali.

Gli obiettivi dello studio sono riportati in Tabella 2, ove si riportano in maniera schematica gli obiettivi "globali" (generali) della lean e, per ognuno di essi, l'obiettivo corrispondente specifico dello studio condotto. Il progetto ha avuto una durata di 8 mesi, spaziando tra inizio febbraio e fine settembre 2010.

⁶ Per **materiale sfuso** o **materia granulare** (bulk material) si intende un insieme di particelle solide di dimensioni sufficienti a non renderle soggette a fluttuazioni o moti termici. Il limite inferiore di dimensioni di queste particelle è circa 1 μm , al di sotto del quale le particelle avrebbero caratteristiche tipiche di un fluido. Il limite superiore non è ben definito. Le polveri, in genere, essendo insiemi di particelle solide di diametro inferiore ai 500 μm possono quindi essere considerate nella categoria di materia granulare, così come le sabbie. Altri esempi possono essere il carbone, il riso, il caffè, i cereali, lo zucchero, i fertilizzanti, il cemento, le polveri chimiche, i composti premiscelati e numerosissime altre polveri.

OBIETTIVI DELLO STUDIO	
GLOBALE	SPECIFICO
Attenzione costantemente orientata a quanto "crea valore" per il cliente finale	Ridisegnare l'intero iter di commessa rendendolo più efficiente e più "snello"
Gestione aziendale il più possibile efficiente ed attenta alla eliminazione degli sprechi	Cercare di eliminare le attività inutili, cioè quelle che non aggiungono valore per il cliente finale e che non sono necessarie per l'azienda, e di ridurre al minimo quelle che non aggiungono valore ma sono necessarie per l'azienda stessa
Creazione di strumenti "robusti" (validi nella maggior parte dei casi) per l'ottenimento dei risultati prefissati	Individuare le attività più critiche, e per queste proporre soluzioni, strumenti operativi e sistemi di controllo per ridurre la criticità

Tabella 2: obiettivi generali e specifici del progetto.

5.3.3 Il progetto ed i risultati

La linea guida del processo di è individuata nella letteratura scientifica, ed in particolare in [5]. In questo articolo, infatti:

- si incoraggia l'adozione di un approccio strutturato e basato sui dati, affinché i concetti lean possano essere applicati all'intero processo aziendale;
- si prevede necessariamente l'adozione di un approccio per processi, che impone di identificare, analizzare e mappare i principali processi ordinati secondo la loro creazione di valore in ottica del cliente finale;
- si prevede di applicare le tecniche di VSM illustrate al paragrafo 3.4.

Per fare ciò, [5] propone 5 steps fondamentali:

1. **raccolta dei dati** (collect data);
2. **analisi dei dati** (analyze data);
3. **progettare il cambiamento** (design the change);
4. **implementare il cambiamento** (make the change);
5. **misurare i benefici** (measure benefits).

Di questi, il progetto realizzato e descritto costituisce una proposta di reingegnerizzazione dell'iter di commessa per Chronos BTH; pertanto si sono seguiti i primi 3 steps dell'elenco precedente.

La fase di **raccolta dati** consiste nell'identificare e descrivere tutti i singoli processi/attività dell'iter di commessa, facendo attenzione sia al flusso dei materiali che a quello informativo, per poi mappare i processi individuati e identificare gli sprechi. Durante questa fase si sono direttamente coinvolte le persone quotidianamente responsabili della realizzazione delle attività, poiché esse sono le più indicate a descrivere il funzionamento dei processi aziendali e per la loro propensione verso un punto di vista locale piuttosto che sistemico. Al fine di coinvolgere il più possibile il personale di Chronos BTH, si è avviato un ciclo di incontri periodici che ha coinvolto un team interfunzionale composto dal direttore commerciale e dai responsabili della logistica, dell'ufficio produzione/acquisti e dell'ufficio layout.

Durante questi incontri, i membri del team sono stati chiamati a fornire una descrizione dettagliata e, per quanto più possibile, condivisa di come si articola l'iter di una tipica commessa, dal primo contatto con un potenziale cliente fino alla firma del verbale di collaudo (con la quale il cliente accetta ufficialmente la macchina/linea). Si è quindi proceduto a raccogliere e rappresentare il materiale raccolto con due diverse tecniche di mappatura, ovvero la metodologia IDEF0 ed il

diagramma di flusso interfunzionale, in modo da evidenziare dove si genera valore per il cliente finale e dove, invece, sono presenti sacche di inefficienza e spreco che possono essere migliorate.

In questo modo, l'iter di commessa è stato scomposto in 3 livelli gerarchici: i processi, i sottoprocessi e le attività. Si sono individuati tre processi, cioè la fase di offerta, la fase realizzativa e la fase di cantiere, che si compongono rispettivamente di 4, 10 e 6 sottoprocessi per un totale di 146 attività elementari: per motivi di sintesi si è scelto di non riportare le mappature effettuate.

Giunti a questo punto si è incontrata una grossa difficoltà: diversamente dalle solite applicazioni lean, infatti, ci si è trovati a definire il concetto di valore non in una produzione di prodotto, bensì nell'iter di una commessa, quindi in un'applicazione transazionale, come definito nel capitolo 3. In particolare, non appariva immediato come distinguere tra attività VA, NVAn ed NVA. Si è quindi scelto di operare nel seguente modo: nel corso dell'ultimo meeting si sono condivisi con il gruppo i diagrammi interfunzionali realizzati, ove emergono chiaramente la sequenza di attività della commessa tipo, la sequenza logica in cui questa sequenza di sviluppa e le relazioni tra attività e funzioni aziendali (ovvero chi fa che cosa). Una volta chiariti al gruppo di progetto le descrizioni delle attività elementari ed il concetto di valore nella lean, si è chiesto al gruppo stesso di compilare un questionario successivamente rivolto alla loro attenzione.

Il suddetto questionario è stato concepito con un duplice obiettivo: da un lato ottenere risultati che consentano di classificare le singole attività (VA, NVAn ed NVA) e dall'altro individuare i cosiddetti effetti indesiderabili, ovvero le criticità, i problemi ed i vincoli che fanno inevitabilmente parte dell'iter di commessa attuale. Per fare questo il questionario è stato suddiviso in due parti. Nella prima si chiede all'intervistato di fornire il proprio giudizio su quanto ogni attività crei valore per il cliente finale e sia necessaria per l'azienda. Nella seconda parte, invece, si è chiesto all'intervistato di indicare l'area funzionale di appartenenza ed indicare le 3 attività elementari ritenute più critiche per la propria area, nonché le 3 attività elementari ritenute più critiche per l'intera azienda.

Si è quindi proceduto con l'**analisi dei dati**. A partire dai 4 questionari compilati, e per ognuna delle 146 attività elementari individuate, si è proceduto a calcolare il giudizio medio (da 1 a 5) fornito dagli intervistati su quanto ciascun'attività crei valore per il cliente finale ed il numero di sì ottenuti, ovvero il numero di intervistati (su 4) che ritengono ciascun'attività necessaria per l'azienda.

Si è quindi riportata in un istogramma tridimensionale la frequenza delle risposte, come riportato in Figura 22, in essa, il giudizio medio indica il dato medio di valore associato ad una attività, mentre il numero di sì indica il giudizio espresso sulla sua condizione di necessaria per l'azienda. Come si evince da Figura 22, si sono individuate 4 aree del diagramma con i valori percentuali di frequenza:

- **5%** - zona gialla: attività NVA (giudizio medio ≤ 2 e numero di sì ≤ 2);
- **48%** - zona azzurra: outliers, ovvero attività che creano valore ma non necessarie;
- **3%** - zona verde: attività NVAn (giudizio medio ≤ 2 e numero di sì > 2);
- **44%** - zona rossa: attività a valore o VA.

Le percentuali verificate sono molto distanti da quelle indicate dal LERC (*Lean Enterprise Research Centre*): Chronos BTH appare avere un totale di 92% di attività VA ed NVAn, con un solo 5% di NVA: ci si è quindi interrogati su quale possa essere la causa di questi risultati.

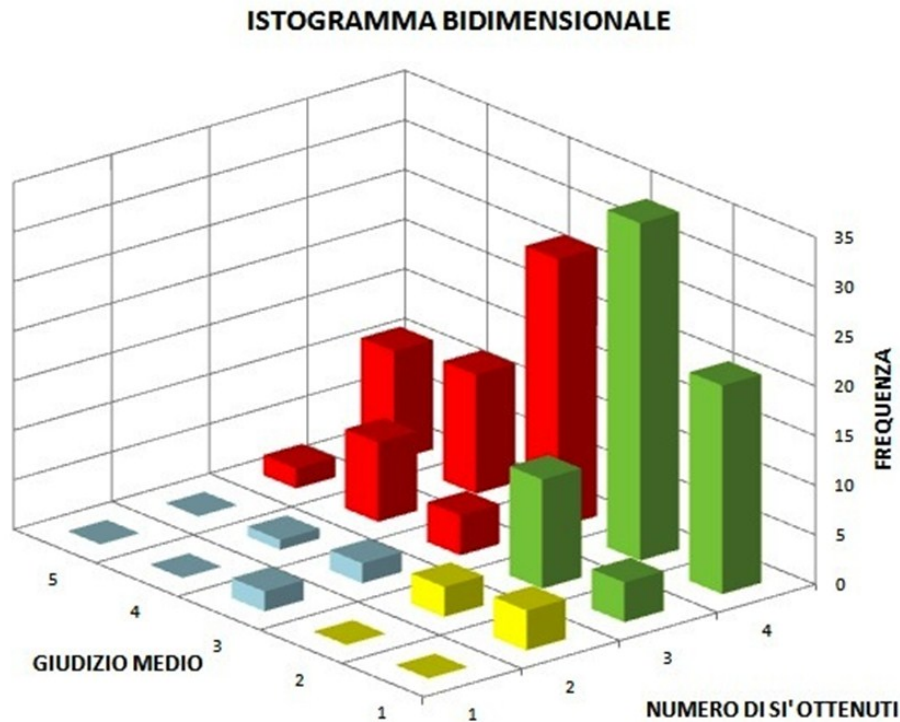


Figura 22: istogramma che riporta la frequenza di ciascuna coppia di risposte.

Un'attenta analisi dei dati ottenuti ha portato ad individuare che il parere degli intervistati appare anomalo quando si chiede di considerare la condizione di un'attività di essere necessaria: la quasi totalità delle attività svolte dall'azienda sono ritenute necessarie (il 92% delle attività sono necessarie per almeno il 50% degli intervistati). In altre parole, gli intervistati hanno giudicato indistintamente tutte le attività elementari dell'iter di commessa come indispensabili (paradossalmente anche attività di correzione di difetti e di rilavorazione).

Questo risultato sembra imputabile al fatto che gli intervistati siano immersi a tal punto nella cristallizzata attività aziendale da non riuscire a distinguere le attività necessarie da quelle potenzialmente eliminabili.

Infine, analizzando la seconda parte dei questionari è stato possibile rilevare i cosiddetti effetti indesiderabili. È opportuno premettere che vari responsabili, nonostante impegnati in ruoli diversi, hanno segnalato le medesime criticità, segno tangibile che l'interno dell'iter di commessa presenta criticità sentite a livello aziendale. Le singole criticità evidenziate non sono riportate poiché esulano dall'obiettivo di questo lavoro; si procede invece qui di seguito a riportare la proposta di reingegnerizzazione dell'iter di commessa strutturata. Nella stesura, si è cercato di snellire i processi attraverso l'eliminazione degli sprechi, la riduzione delle attività NVAn e l'eliminazione delle criticità emerse, mantenendo invece ed amplificando il più possibile le attività VA.

Le linee guida a cui ci si è attenuti per la ridefinizione dell'intero iter di commessa sono le seguenti:

1. il cambiamento proposto non deve essere radicale, ma deve essere sostenibile per l'azienda sull'orizzonte dei 2÷3 anni;
2. si sono tenuti ben presenti gli obiettivi della lean, come illustrati nel paragrafo 0;
3. si è altresì progettato il cambiamento sulla base dei principi e delle logiche di project management;
4. si è proposto un nuovo organigramma aziendale ipotizzato per l'azienda;

5. si sono inseriti punti di misurazione delle performance aziendali ed indicatori chiave di prestazione al fine di monitorare l'andamento dei processi aziendali ritenuti più critici; questo consentirà all'azienda di tenere sotto controllo tali processi ed identificare possibili miglioramenti nell'ottica del miglioramento continuo;
6. il cambiamento deve necessariamente coinvolgere il team interfunzionale di persone protagonista degli step precedenti. A tal proposito, l'iter di commessa ridisegnato e il nuovo organigramma ipotizzato sono stati illustrati e condivisi approfonditamente coi membri del team.

5.3.4 Conclusioni

Il progetto descritto consiste nella formulazione di una proposta di reingegnerizzazione in ottica lean dell'intero iter di commessa per l'azienda Chronos BTH. Dopo aver raccolto i dati necessari e mappati i processi, si è richiesta al team di progetto la compilazione di un questionario che indicasse la creazione di valore e la necessità per l'azienda di tutte le attività che costituiscono una commessa tipo. In una seconda parte dello stesso questionario, inoltre, si è chiesto agli intervistati di indicare le criticità a loro avviso individuabili nell'azienda.

L'anomalia dei risultati della prima parte del questionario non ha consentito di arrivare ad una corretta classificazione delle attività elementari nelle categorie VA, NVAn ed NVA. Pertanto, nella ridefinizione dell'iter di commessa, si è tenuto conto principalmente dell'eliminazione delle criticità riscontrate. Si è così ottenuta in uscita la descrizione e la mappatura dell'iter di commessa ridisegnato. Quest'ultimo, in particolare:

- mantiene gli stessi processi e sottoprocessi dello stato attuale, differenziandosi solamente a livello di attività elementari;
- propone l'introduzione nella struttura organizzativa aziendale dei 2 figure con l'obiettivo di coordinare i progetti, il proposal manager ed il project manager;
- propone l'introduzione in azienda di una nuova figura di collaudatore specializzato, con lo scopo principale di ridurre il carico di lavoro dei progettisti dell'ufficio tecnico elettrico, risorsa sovraccaricata;
- presenta numerosi punti di misurazione delle performances aziendali, per consentire all'azienda di monitorare i processi ed identificare possibili miglioramenti nell'ottica del miglioramento continuo;
- ridisegna il mansionario della direzione commerciale, riducendo il suo impegno nella fase di offerta ed il suo ruolo di interlocutore privilegiato tra azienda e cliente (incarico affidato al futuro proposal o project manager) a vantaggio di un maggior coinvolgimento in attività di analisi e controllo del mercato, marketing e promozione dell'azienda presso i potenziali clienti.

Infine, pur non seguendo l'implementazione dei nuovi flussi reingegnerizzati, il progetto fornisce direttive su come ridisegnare organigramma e mansionario.

Si può quindi concludere che il presente progetto ha permesso di estendere l'applicazione della lean ad un'azienda che opera per project management ed a livello di servizi; il progetto svolto in Chronos BTH, infatti, si è occupato di un contesto produttivo, pur occupandosi direttamente dei processi transazionali (ovvero dei *servizi*) che portano dal contatto con il potenziale cliente alla firma del verbale di collaudo positivo. In quest'ambito, infatti, l'effettiva definizione di valore per il cliente finale e la valutazione della necessità di ciascuna attività non è così facilmente visibile ed identificabile

come in ambito manifatturiero. Per superare questo ostacolo si è chiesto al team di progetto di valutare la creazione di valore e la condizione di necessità di ciascuna delle 146 attività individuate. Dati i risultati anomali ottenuti, infatti, si è scelto di operare un primo ciclo di reingegnerizzazione dei processi con l'obiettivo di affrontare le criticità individuate, e non tanto per eliminare gli sprechi. Inoltre, ulteriore risultato della fase di reingegnerizzazione è stato l'inserimento di punti di controllo nei luoghi ove si prevede di monitorare le performances di determinate attività aziendali.

Questo progetto, quindi, si dimostra differente da quelli svolti nei paragrafi 5.1 e 5.2, occupandosi principalmente di processi transazionali (e non manifatturieri) e ad un minor livello di dettaglio. Ciononostante, alla conclusione del progetto si ritiene di aver sperimentato i limiti ed i vantaggi di un'applicazione pratica della lean a livello di processi transazionali ed in un'azienda che opera per progetti.

6 Conclusioni e possibili sviluppi futuri

Il presente lavoro di tesi si concentra sulla lean manufacturing e su come indirizzare un ampliamento di questo concetto e del suo principale strumento (la VSM) per estendere le applicazioni lean a nuovi contesti. Dopo una definizione dei termini utilizzati, si è proceduto a descrivere la storia che ha portato il TPS alla notorietà internazionale di cui oggi gode. Partendo dalla Toyoda Automatic Loom e dai primi anni del '900, si sono introdotte le figure e riportati i momenti storici che hanno portato a "*The machine that changed the world - The story of lean production*". Successivamente, si è descritto il paradigma lean ed il suo significato, sia dal punto di vista filosofico che pratico. I vantaggi e limiti della lean sono quindi stati presentati attraverso il confronto con il TPM/6 σ , per poi introdurre la VSM, il suo funzionamento ed i suoi limiti.

In particolare, si è evidenziato come la VSM, strumento principe nella implementazione della lean in nuove aziende, proponga solamente il passaggio a due nuovi sistemi di pianificazione e controllo della produzione: il kanban e, secondariamente, il CONWIP. Tuttavia, la letteratura scientifica ha proposto negli ultimi decenni numerosi sistemi che consentono di pianificare e controllare la produzione, e che possono o meno adattarsi a diverse logiche di produzione. L'obiettivo principale della tesi, quindi, è stato coniugato in due direzioni: da una parte, come "*allargare*" lo strumento VSM per consentire l'implementazione di sistemi PPC ibridi; dall'altra, come affrontare praticamente implementazioni della lean in contesti diversi rispetto al sistema produttivo Toyota.

La prima direzione è stata percorsa principalmente dal punto di vista della ricerca scientifica; essa ha dato origine a 3 articoli, sottoposti per una eventuale pubblicazione su giornali internazionali (Allegato 2 ed Allegato 3) e nazionali (Allegato 4); un altro lavoro, infine, è in via di completamento, e si propone di svolgere una analisi della letteratura sul CONWIP nel decennio 2003-2012.

Dopo aver illustrato diverse definizioni dei concetti push, pull e hybrid, si sono infatti descritti dettagliatamente 3 sistemi PPC, ovvero il CONWIP, il synchro-MRP ed il WLC. A questi sono rispettivamente collegati gli articoli di Allegato 2, 3 e 4.

La seconda direzione, invece, è stata percorsa tramite collaborazioni e progetti di ricerca industriale che si propongono di relazionare i passi compiuti e le difficoltà incontrate nell'implementazione della lean in aziende differenti. Questo materiale, riportato nel capitolo 5, si pone l'obiettivo di fare il punto sulla situazione italiana in cui si prospetta di introdurre il concetto di lean, riportando i casi studio di 3 aziende specifiche: Righi S.r.l., OTO S.p.A. e Chronos BTH S.r.l.

La prima è una PMI alimentare situata a Reggio Emilia, che realizza prodotti surgelati legati alla tradizione emiliana. La seconda è una grande azienda metalmeccanica che progetta ed assembla linee

per tubi e profili saldati dai 4 ai 220 mm di diametro, avente sede a Boretto (RE). L'ultima, infine, progetta e realizza linee e macchinari per la pesatura, insacco, pallettizzazione e assicurazione del carico di materiali sfusi. Essa ha sede a Lemignano di Collecchio (PR), pur essendo parte di un gruppo internazionale.

In particolare, Righi costituisce un perfetto esempio di PMI alimentare italiana. Nonostante la sua posizione di mercato, l'azienda si trovava ad operare con macchinari obsoleti e scarsa automazione, ma soprattutto con una generica carenza di dati produttivi. Anche OTO, realtà ben più grande, proviene da una recente gestione "padronale" e, nonostante il contenuto tecnologico dei propri prodotti, disponeva di scarsi dati relativi al montaggio dei prodotti: si conoscevano i dati aggregati ma non il dettaglio delle singole operazioni ed i cicli di premontaggio e montaggio. Queste condizioni illustrate comportano una serie di svantaggi. La parziale conoscenza dei propri sistemi produttivi mette l'azienda nell'impossibilità di individuare e rimuovere gli sprechi presenti, siccome manca la mappa con cui orientarsi verso il miglioramento continuo. Inoltre, la mancata formalizzazione dei cicli di montaggio complica fortemente la formazione di nuovo personale, non documenta chiaramente le responsabilità ed i compiti dei singoli ruoli e non permette all'azienda di acquisire il know how dei singoli operatori.

In questo contesto, parlare di lean production appare utopistico! Nonostante le aziende continuino a proporsi nel bel mezzo della "lean journey", questo è da imputare più a motivi di immagine che a strategiche scelte aziendali: in contesti ove mancano l'ingegneria, la pianificazione ed il controllo di produzione, parlare di lean production è come cercare di correre prima di imparare a camminare.

Una eccezione rispetto a quanto affermato è costituita dalla collaborazione con Chronos BTH: in quel contesto, si è provato ad estendere l'applicazione della lean a processi transazionali di un'azienda che opera per progetti. In quest'ambito, la definizione di valore e la valutazione di necessità delle attività non è facile; si è quindi scelto di operare in primo luogo la reingegnerizzazione delle criticità ed inserendo punti di controllo per monitorare determinate performances.

Ultima conclusione che si può trarre dalle collaborazioni è la necessità di una maggior collaborazione tra ricerca e industria, che porti ad un maggiore utilizzo dei concetti di base dell'ingegneria industriale e ad una formalizzazione del know how degli operatori a livello aziendale.

Infine, i futuri sviluppi prevedibili per questo lavoro si possono anch'essi suddividere in due direzioni principali: dal punto di vista della ricerca, la letteratura scientifica che tratta di estensioni della lean per ampliarne l'ambito d'uso e gli strumenti utilizzabili è già molto fiorente. Si può quindi immaginare, in un medio orizzonte temporale (5 anni?), la possibile soluzione di quasi tutte le criticità della lean e della VSM illustrate.

Dal punto di vista delle applicazioni industriali, invece, è fondamentale stimolare ed incentivare una maggiore e più incisiva collaborazione tra il mondo della ricerca e quello dell'industria, che non può solamente essere conseguenza di una volontà politica (peraltro carente) ma deve necessariamente passare dalla esigenza condivisa di una collaborazione proficua per entrambi i partner.

Bibliografia

- [1] Hopp, W.J. and Spearman, M.L. 2008. *Factory physics*, 3rd Edition. McGraw-Hill/Irwin, London, UK.
- [2] Stevenson, M., Hendry, L.C. and Kingsman, B.G. 2005. A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order companies. *International Journal of Production Research*, 43 (5), 869-898.
- [3] Vollmann, T.E., Berry, W.L. and Whybarck, D.C. 1997. *Manufacturing planning and control systems*, 4th Edition. McGraw-Hill, New York (NY), USA.
- [4] Hines, P., Holweg, M. and Rich, N. 2004. Learning to evolve - A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24 (10), 994-1011.
- [5] Melton, T., 2005. The benefits of lean manufacturing - What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical engineering research and design*, 83 (6), 662-673.
- [6] Shah, R. and Ward, P.T., 2007. Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25 (4), 785-805.
- [7] Womack, J. P. and Jones, D.T. 2003. *Lean thinking - Banish waste and create wealth in your corporation*. 2nd Edition. Free Press, London, UK.
- [8] Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D. 1990. *The machine that changed the world - The story of lean production*. Harper Perennial, New York (NY), USA.
- [9] Monden, Y. 1983. *The Toyota production system*. Productivity Press, Portland (OR), USA.
- [10] Hall, R.W. 1983. *Zero inventories*. McGraw Hill, New York (NY), USA.
- [11] Corriere della Sera. 21 gennaio 2009. *Auto, sorpasso della Toyota su GM - La giapponese prima per vendite globali*.
- [12] Holweg, M. 2007. The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25 (2), 420-437.
- [13] Cusumano, M.A., 1985. *The Japanese automobile industry: Technology and management at Nissan and Toyota*. (Harvard East Asian Monographs, No. 122). Harvard University Press, Boston (MA), USA.
- [14] Ohno, T. 1988. *The Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press, Portland (OR), USA.
- [15] Shingo, S. 1983. *A revolution in manufacturing: The SMED system*. Productivity Press, Stamford (CA), USA.
- [16] Altshuler, A., Anderson, M., Jones, D.T., Roos, D. and Womack, J. 1984. *The future of the automobile*. The MIT Press, Cambridge (MA), USA.
- [17] Abernathy, W.J., Clark, K.B. and Kantrow, A.M. 1981. The new industrial competition. *Harvard Business Review*, (September-October), 68-81.
- [18] Pettersen, J. 2009. Defining lean production: some conceptual and practical issues. *The TQM Journal*, 21 (2), 127-142.
- [19] Liker, J.K. 2004. *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill, New York (NY), USA.
- [20] Hines, P. and Rich, N. 1997. The seven value stream mapping tool. *International Journal of Operations & Production Management*, 17 (1), 46-64.
- [21] Rother, M. and Shook, J. 1999. *Learning to see - value stream mapping to create value and eliminate muda*. Lean Enterprise Institute, Brookline (MA), USA.

- [22] Womack, J.P. and Jones, D.T. 2002. *Seeing the whole - Mapping the extended value stream*. Lean Enterprise Institute, Cambridge (MA), USA.
- [23] Hackman, J.R. and Wageman, R. 1995. Total quality management: empirical, conceptual, and practical issues. *Administrative Science Quarterly*, 40 (2), 309-342.
- [24] Emiliani, M. 2000. Cracking the code of business. *Management Decisions*, 38 (2), 60-79.
- [25] Hines, P. and Taylor, D. 2000. *Going lean*. Lean Enterprise Research Centre, Cardiff, UK.
- [26] Braglia, M., Frosolini, M. and Zammori, F. 2009. Uncertainty in value stream mapping analysis. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 12 (6), 435-453.
- [27] Singh, B., Garg, S.K. and Sharma, S.K. 2011. Value stream mapping: literature review and implications for Indian industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53 (5-8), 799-809.
- [28] Nash, M.A. and Poling, S.R. 2008. *Mapping the total value stream – A comprehensive guide for production and transactional processes*. Productivity Press, New York (NY), USA.
- [29] Bonaccorsi, A., Carmignani, G. and Zammori, F. 2011. Service value stream management (SVSM): Developing lean thinking in the service industry. *Journal of Service Science and Management*, 4 (4), 428-439.
- [30] Nahavandi, N. 2009. CWIPL II, a mechanism for improving throughput and lead time in unbalanced flow line. *International Journal of Production Research*, 47 (11), 2921-2941.
- [31] Hopp, W.J. and Spearman, M.L.: 2004. To Pull or Not to Pull: What Is the Question? *Manufacturing & Service Operations Management*, 6 (2), 133-148.
- [32] Grosfeld-Nir, A., Magazine, M. and Vanberkel, A. 2000. Push and pull strategies for controlling multistage production systems. *International Journal of Production Research*, 38 (11), 2361-2375.
- [33] Koulouriotis, D.E., Xanthopoulos, A.S. and Tourassis, V.D. 2010. Simulation optimisation of pull control policies for serial manufacturing lines and assembly manufacturing systems using genetic algorithms. *International Journal of Production Research*, 48 (10), 2887-2912.
- [34] Agrawal, N. 2010. Review on just in time techniques in manufacturing systems. *Advances in Production Engineering & Management*, 5 (2), 101-110.
- [35] Claudio, D., Zhang, J. and Zhang, Y. (2010). A simulation study for a hybrid inventory control strategy with advance demand information. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 5 (1), 1-19.
- [36] Salum, L. and Araz, O.U. 2009. Using the when/where rules in dual resource constrained systems for a hybrid push-pull control. *International Journal of Production Research*, 47 (6), 1661–1677.
- [37] Ghayeb, O., Phojanamongkolkij, N. and Tan, B.A. 2009. A hybrid push/pull system in assemble-to-order manufacturing environment. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20 (4), 379-387.
- [38] Cochran, J.K. and Kaylani, H.A. 2008. Optimal design of a hybrid push/pull serial manufacturing system with multiple part types. *International Journal of Production Research*, 46 (4), 949-965.
- [39] Sendil Kumar, C. and Panneerselvam, R. 2007. Literature review of JIT-kanban system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (3-4), 393-408.
- [40] Geraghty, J., Heavey, C., 2004. A comparison of Hybrid Push/Pull and CONWIP/Pull production inventory control policies. *International Journal of Production Economics*, 91(1), 75-90.
- [41] Spearman, M.L., Woodruff, D.L. and Hopp, W.J., 1990. CONWIP: a pull alternative to kanban. *International Journal of Production Research*, 28 (5), 879-894.
- [42] Cochran JK, Kim S-S (1998) Optimum junction point location and inventory levels in serial hybrid push/pull production systems. *International Journal of Production Research*, 36(4), 1141-1155.

- [43] Little, J.D.C. 1992. Tautologies, models and theories: can we find 'laws' of manufacturing? *IIE transactions*, 24 (3), 7-13.
- [44] Mather, H. and Plossl, G. 1978. Priority fixation versus throughput planning. *Production and Inventory Management Journal*, 19, 27-51.
- [45] Kingsman, B.G. and Hendry, L.C. 2002. The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in make-to-order companies. *Production Planning and Control*, 13 (7), 579-590.
- [46] Thürer, M., Stevenson, M. and Silva, C. 2011. Three decades of workload control research: a systematic review of the literature. *International Journal of Production Research*, 49 (23), 6905-6935.
- [47] Melnyk, S.A. and Ragatz, G.L. 1989. Order review/release: research issues and perspective. *International Journal of Production Research*, 27 (7), 1081-1096.
- [48] Hendry, L.C. and Kingsman, B.G. 1991. A decision support system for job release in make-to-order companies. *International Journal of Operations & Production Management*, 11 (6), 6-16.
- [49] Bechte, W. 1988. Theory and practice of load-oriented manufacturing control. *International Journal of Production Research*, 26 (3), 375-395.
- [50] Land, M.J. and Gaalman, G.J.C. 1996. Workload concepts in job shop: a critical assessment. *International Journal of Production Economics*, 46-47, 535-548.
- [51] Moreira, M.R.A. and Alves, R.A.F.S. 2009. A methodology for planning and controlling workload in a job-shop: a four way decision making problem. *International Journal of Production Research*, 47 (10), 2805-2821.
- [52] Bertrand, J.W.M. 1983. The effect of workload dependent due-dates on job shop performance. *Management Science*, 29 (7), 799-816.
- [53] Özbayrak, M., Papadopoulou, T.C. and Samaras E. 2006. A flexible and adaptable planning and control system for an MTO supply chain system. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22 (5-6), 557-565.
- [54] Ebben, M.J.R., Hans, E.W. and Olde Weghuis, F.M. 2005. Workload based order acceptance in job shop environments. *OR Spectrum*, 27 (1), 107-122.
- [55] Natarajan, K., Mohanasundaram, K.M., Shoban Babu, B., Suresh, S., Antony Arokia Durai Raj, K. and Rajendran, C. 2007. Performance evaluation of priority dispatching rules in multi-level assembly job shops with jobs having weights for flowtime and tardiness. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31 (7-8), 751-761.
- [56] Bergamaschi, D., Cigolini, R., Perona, M. and Portioli, A. 1997. Order review and release strategies in a job shop environment: a review and a classification. *International Journal of Production Research*, 35 (2), 399-420.
- [57] Land, M.J. and Gaalman, G.J.C. 1998. The performance of workload control concepts in job shops: improving the release method. *International Journal of Production Economics*, 56-57, 347-364.
- [58] Land, M.J. 2006. Parameters and sensitivity in workload control. *International Journal of Production Economics*, 104 (2), 625-638.
- [59] Wein, L.M. 1988. Scheduling semiconductor wafer fabrication. *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, 1 (3), 115-130.
- [60] Wiendahl, H. P. 1995. *Load Oriented Production Control*. Hanser, Munich, Germany.
- [61] Wiendahl, H. P. 1996. Manufacturing monitoring and control: a model-based concept and its application in high variant shop enterprises. *Proceedings of the Workshop on Production Planning and Control*, 9-11 September 1996, Mons, Belgium.

- [62] Stevenson, M. 2006. Refining a workload control (WLC) concept: a case study. *International Journal of Production Research*, 44 (4), 767-790.