



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E AEROSPAZIALE

Tesi di Laurea Magistrale in
INGEGNERIA MECCANICA

**Analisi di flussi e processi produttivi per lo
studio di re-layout: la Demand Flow
Technology**

Relatore
Prof. Luca Iuliano

Candidato
Giovanni Fioroni

Anno Accademico 2017/2018

Indice

Introduzione	v
1 Lean Manufacturing	1
1.1 Produzione di massa tra USA e Giappone	1
1.2 I principi della Lean Manufacturing	3
1.2.1 Il pilastro Jidoka	5
1.2.2 Il pilastro Just in Time	6
1.3 La logica pull	8
1.4 Gestione delle risorse umane in un mondo lean	12
1.5 Value Stream Map	13
2 Demand Flow® Technology	17
2.1 Product Synchronization	18
2.2 Sequence of Events	20
2.3 Demand at Capacity e Operational Cycle Time	22
2.4 Tipologie di layout	23
2.4.1 Layout orientati al prodotto	24
2.4.2 Layout orientati al processo	25
2.4.3 Cellular Manufacturing	27
2.4.4 La Metodologia DFT	29
3 Luxottica	31
3.1 La Storia	31
3.2 Il mondo produttivo Luxottica	34
3.2.1 Metallo	35
3.2.2 Acetato e Plastica	37
3.2.3 Materiali speciali	37
3.2.4 Le lenti	38
3.2.5 Il ruolo dell'automazione	38
4 Applicazione della Metodologia DFT	40
4.1 Struttura Database	42
4.2 Analisi di Pareto	44
4.3 Analisi Lavorazioni	46
4.4 Gestione attuale reparto	49
4.5 Mixed Model Product Synchronization	52

4.6	Definizione delle Product Synchronization	56
4.7	Il fuori flusso	64
4.8	Demand at Capacity	65
4.9	Simulazione performance layout	72
4.10	Implementazione area pilota	75
4.11	Applicazione di vincoli operativi	75
	Conclusioni	78
	Bibliografia	80

Elenco delle figure

1.1	Dalla produzione di massa ai Reconfigurable Manufacturing System [4]	3
1.2	I pilastri del Toyota Production System	5
1.3	Schematizzazione delle attività della metodologia SMED	8
1.4	Differenze tra sistemi Push e Pull, macroaree	9
1.5	Differenze tra produzione push e pull	9
1.6	Differenza da tempi ciclo, takt time e lead time in una VSM [6]	15
1.7	Esempio di <i>Value Stream Map</i>	16
2.1	I pilastri della DFT	19
2.2	Esempio di Product Sync	20
2.3	Esempio di SOE	21
2.4	Matrice prodotto-processo	24
2.5	Esempio di layout per prodotto, o a flusso	25
2.6	Esempio di layout per processo, o job-shop	26
2.7	Confronto tra layout per processo e per prodotto	27
2.8	Caratteristiche di flessibilità e produttività dei sistemi produttivi	28
2.9	Esempio di layout per tecnologia di gruppo, o celle di produzione	28
2.10	Esempio di layout matriciale ottenuto tramite metodologia DFT	30
3.1	I brand eyewear di proprietà del gruppo Luxottica	31
3.2	Le tecnologie per lenti EssilorLuxottica	34
3.3	Composizione del fatturato Luxottica per area geografica nel 2017	35
3.4	La distribuzione degli stabilimenti Luxottica e degli hub logistici	36
4.1	Esempio di flussi tra reparti nello stabilimento di Cencenighe	41
4.2	Struttura del database adottato	43
4.3	Andamento nel tempo di versato e previsione	44
4.4	Analisi di Pareto, risultato Excell, la x nella colonna 80/20 identifica i P/N in Pareto	45
4.5	Analisi di Pareto, Plot del 50% dei volumi	46
4.6	Classificazione lavorazioni in cluster	48
4.7	Legenda cluster lavorazioni	48
4.8	Ciclo di lavorazione dell'asta 2AMxxxxxx	50
4.9	Ciclo di lavorazione del frontale (o barra) 2BMxxxxxx	50
4.10	Gestione dei flussi all'interno dell'isola H6	51
4.11	Distribuzione dei lead time per la famiglia L265 (aste in metallo)	52
4.12	Esempio di alcuni codici in Pareto da inserire nella MMPS	54

4.13	Creazione della <i>MMPS</i> , iterazione 1, legenda in figura 4.16	54
4.14	Creazione della <i>MMPS</i> , iterazione 2, legenda in figura 4.16	55
4.15	Creazione della <i>MMPS</i> , iterazione 3, legenda in figura 4.16	55
4.16	Risultato della <i>MMPS</i> e macroaree relative	56
4.17	Esempio di <i>PS</i> per tre cicli di lavoro differenti	57
4.18	Sync dell'asta 2AMxxxxxx attraverso le quattro macroaree, ciclo di lavoro in figura 4.12, legenda in figura 4.16	58
4.19	Parte del database contenente le <i>sync</i> e cicli di lavoro associati a ciascun P/N, legenda in figura 4.16	59
4.20	<i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 1	60
4.21	Analisi delle <i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 1	60
4.22	<i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 2	61
4.23	Analisi delle <i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 2	61
4.24	<i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 3	62
4.25	Analisi delle <i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 3	62
4.26	<i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 4	63
4.27	Analisi delle <i>Product Synchronization</i> all'interno del mondo 4	63
4.28	Composizione del fuori flusso	65
4.29	Demand at Capacity mondo 1	66
4.30	Demand at Capacity mondo 2	67
4.31	Demand at Capacity mondo 3	67
4.32	Demand at Capacity mondo 4	68
4.33	Esempio dell'andamento versato/previsione per la sync 2.5	68
4.34	Calcolo del tempo ciclo (<i>TC</i>) medio pesato sui volumi, legenda in figura 4.16	69
4.35	Esempio del calcolo dei macchinari necessari nel mondo 1, legenda in figura 4.16	69
4.36	Risultato numero di macchinari necessari, legenda in figura 4.16	69
4.37	Macchinari disponibili e saturazione, legenda in figura 4.16	70
4.38	Produttività macroaree	71
4.39	Database livello di WIP in data 19/10/2018 adottato per una prima simulazione	73
4.40	Simulazione saturazione macchinari mondo 1 in data 19/10/2018	73
4.41	Simulazione saturazione macchinari mondo 3 in data 19/10/2018	74
4.42	Simulazione saturazione macchinari mondo 3 in data 19/10/2018	74
4.43	Simulazione saturazione macchinari mondo 4 in data 19/10/2018	75
4.44	Area Pilota	76
4.45	Dettaglio aree layout stamperia 2	77

Introduzione

Con la crescita di mercati sempre più dinamici e competitivi, è oggi un fattore critico per grandi multinazionali sviluppare un sistema produttivo in grado di garantire flessibilità e customer responsiveness. I continui cambiamenti di esigenze, interessi e desideri dei clienti sta portando infatti a una costante e incessante contrazione del product life cycle, perciò raggiungere il cliente con tempestività rappresenta ormai la principale discriminante del successo di un'azienda.

Questa è la sfida dei mercati odierni che Luxottica, per mantenere la sua leadership nel settore dell'occhialeria, si trova ad affrontare quotidianamente. Il prodotto che Luxottica propone ha infatti subito negli anni un radicale cambiamento. L'occhiale, inizialmente nato come mera protesi correttiva e protettiva, oggi ha acquisito un ruolo di status symbol e si colloca a pieno nel mercato della moda; mercato caratterizzato da una continua evoluzione e innovazione, che impone una struttura aziendale flessibile e in grado di reagire velocemente alle nuove tendenze.

Questa trattazione si propone di analizzare le attuali tecniche di gestione e pianificazione delle risorse aziendali adottate da Luxottica all'interno dello stabilimento di Cencenighe Agordino, individuarne i limiti e offrire, come alternativa, una più moderna strategia per il coordinamento delle risorse produttive, in linea con le nuove esigenze di mercato, utilizzando gli strumenti tipici della *Demand Flow*[®] *Technology*.

La Demand Flow[®] Technology (DFT), creata dal John R. Costanza nei primi anni '90, è una strategia di business che si propone di aiutare le aziende manifatturiere a sviluppare un sistema capace di collegare i flussi produttivi direttamente alla domanda di mercato, piuttosto che pianificare su base forecast [1]. Essa coinvolge tutte le funzioni aziendali e la sua applicazione richiede un radicale cambiamento della gestione delle risorse aziendali, con l'obiettivo di accelerare il processo di design, prototipazione e produzione, per anticipare così la concorrenza nel lancio di nuovi prodotti e soddisfare le nuove esigenze dei clienti. Queste caratteristiche rendono la DFT particolarmente adatta al business model Luxottica dove il mix produttivo è complesso e periodico, la domanda altamente variabile ed è richiesta un'elevata velocità di risposta al mercato.

In questo progetto verranno utilizzati gli strumenti matematici proposti da John R.

Costanza in *The Quantum Lead in Speed to Market*, per individuare un layout ottimale per il reparto Stamperia 2 all'interno dello stabilimento di Cencenighe Agordino. Questa scelta nasce dalla necessità di trasformare tale reparto, attualmente organizzato in celle di produzione, in una serie di flussi lineari al fine di migliorarne l'efficienza produttiva e soddisfare i lead time sempre più stringenti richiesti dai clienti.

Nella prima parte di questa trattazione verranno passati in rassegna gli strumenti tipici della DFT e i vantaggi che essi introducono. Dopo una breve overview del reparto in analisi, dei prodotti e del sistema gestionale Luxottica, verrà condotta una dettagliata analisi del layout AS-IS, in modo da identificarne i punti di forza, le maggiori criticità e le opportunità di miglioramento. In questa fase verrà effettuata una raccolta di informazione circa i P/N che attraversano il reparto, i relativi flussi, volumi e cicli di lavoro, con l'obiettivo di creare un solido database. A questo punto si procederà con l'applicazione degli strumenti DFT per l'identificazione di un layout ottimale e teorico, dal quale, dopo l'applicazione di opportuni vincoli operativi, verrà generato il layout TO-BE.

Infine verranno condotte delle opportune simulazioni per valutare la bontà di tale layout e analizzare l'impatto che questo avrà su i principali KPI, in particolare sui tempi di attraversamento.

Note sulla riservatezza

Le pagine contenute in questo documento sono frutto di un progetto svolto tra Marzo e Novembre 2018 presso lo stabilimento di Cencenighe Agordino dell'azienda *Luxottica s.r.l.*. Il risultato principale è stato lo sviluppo di un layout produttivo e il dimensionamento del numero di macchinari, attrezzature e personale necessario a soddisfare una determinata domanda di mercato. Per evitare di violare le norme vigenti circa la riservatezza e segreto industriale è stato quindi necessario omettere, modificare o alterare alcuni dati, numeri e informazioni circa lavorazioni, codici di produzione e volumi.

Capitolo 1

Lean Manufacturing

Con il termine Lean Manufacturing si indicano l'insieme di strumenti e tecniche volte all'individuazione ed eliminazione di sprechi e al conseguente miglioramento di qualità, tempi e costi di produzione. [2]. Questo sistema si propone quindi di guidare le aziende verso una direzione di semplificazione della gestione della produzione con l'obiettivo di renderle più flessibili e rapide nel rispondere alla domanda di mercato.

I termini Lean Manufacturing o Lean Production vengono spesso accompagnati al Toyota Production System (TPS) in quanto esso rappresenta un'applicazione esemplare di questi strumenti e ad oggi risulta essere l'applicazione più documentata e longeva. L'obiettivo di questi strumenti è in generale quello di ottenere un processo che vada a ridurre al minimo queste voci di costo:

- materiale utilizzato
- investimenti necessari
- magazzino richiesto
- spazio utilizzato
- manodopera

Per comprendere a pieno la forza e l'impatto che la Lean Manufacturing ha portato negli ultimi decenni è necessario ripercorrere brevemente la storia della mass-production Americana e di come Toyota si è inserita in questa complessa realtà.

1.1 Produzione di massa tra USA e Giappone

Il ventesimo secolo fu un periodo di grande cambiamento per gli USA: dal 1860 al 1920 la popolazione americana triplicò, grazie anche alle migrazioni di massa dall'Europa, e molti avevano bisogno di un veicolo low cost. Henry Ford rispose a questa esigenza facendo propri gli strumenti dell'economia di scala e creando la Ford Model T: un

veicolo per le masse. La grande innovazione risiedeva nelle linee di assemblaggio che, combinate con componenti intercambiabili e i primi studi su tempi e metodi, portò ad un enorme aumento di produttività e ad una rivoluzione della manifattura. Il costo della Model T passò dai \$850 nel 1908 ai \$290 nel 1925 con 15 milioni di pezzi venduti.

Nel frattempo in Giappone nasceva la famiglia Toyoda Automatic Loom Works dal suo fondatore, Kiichiro Toyoda, azienda del settore tessile specializzata in telai automatici fondata su una fitta rete di brevetti. Nel 1930, la passione per l'industria manifatturiera e per le automobili portò il fondatore a vendere i brevetti Toyoda all'azienda inglese Platt Brothers per 100'000 \$, e a fondare con quel capitale la Toyota Motor Company. Nei primi anni trenta Kiichiro Toyoda visitò le linee di assemblaggio di Ford e GM, lesse attentamente le pubblicazioni di Henry Ford e testò l'economia di scala e gli strumenti adottati nel River Rouge plant di Dearborn, senza però trarne alcun beneficio. Il mercato Giapponese era infatti troppo frammentato per supportare i grandi volumi e il modello americano; Toyota allora capì che avrebbe dovuto sviluppare un nuovo approccio più adatto al mercato giapponese.

Per tutta la seconda guerra mondiale e durante il dopoguerra gli stabilimenti Ford producevano a regime e l'idea di produzione di massa era ormai consolidata come vincente da tutto il panorama manifatturiero americano. Ma nel 1947 Henry Ford lasciò l'azienda al figlio Henry Ford II che, a differenza del padre, enfatizzava il lato finanziario e contabile dell'azienda, trascurando il mondo produttivo. Dopo pochi anni il mercato automobilistico e manifatturiero cambiò radicalmente: i prodotti erano sempre più complessi e diversificati ed era sempre più difficile coordinare i flussi produttivi.

Le aziende americane continuavano a seguire la filosofia del *continuously flowing material* proposta da Henry Ford per il grande successo riscosso negli anni precedenti, cercando di adattarlo alle nuove esigenze di mercato, ma senza metterne mai in discussione le fondamenta. Si passò alla produzione su grandi lotti e all'adozione di automazioni più veloci nel tentativo di mantenere il modello che aveva portato all'apice tante aziende manifatturiere, ma il risultato furono pianificazioni complesse e magazzini sempre più dispendiosi.

Toyota aveva obiettivi ben diversi: l'economia di scala li aveva portati sull'orlo del fallimento e avevano bisogno di trovare un metodo per produrre in qualità, a basso costo e con brevi lead time. Taiichi Ohno, manufacturing manager incaricato di portare Toyota a confrontarsi con l'America, visitò gli stabilimenti Ford per un periodo di 12 settimane e tornò fortemente deluso dal poco progresso che era stato fatto in quegli anni e capì che era la loro occasione per competere con il mondo americano.

Tra il 1952 e il 1962 nacque quindi il Toyota Production System (TPS) per soddisfare le necessità citate, che adottava in parte strumenti tipici del modello americano, rove-

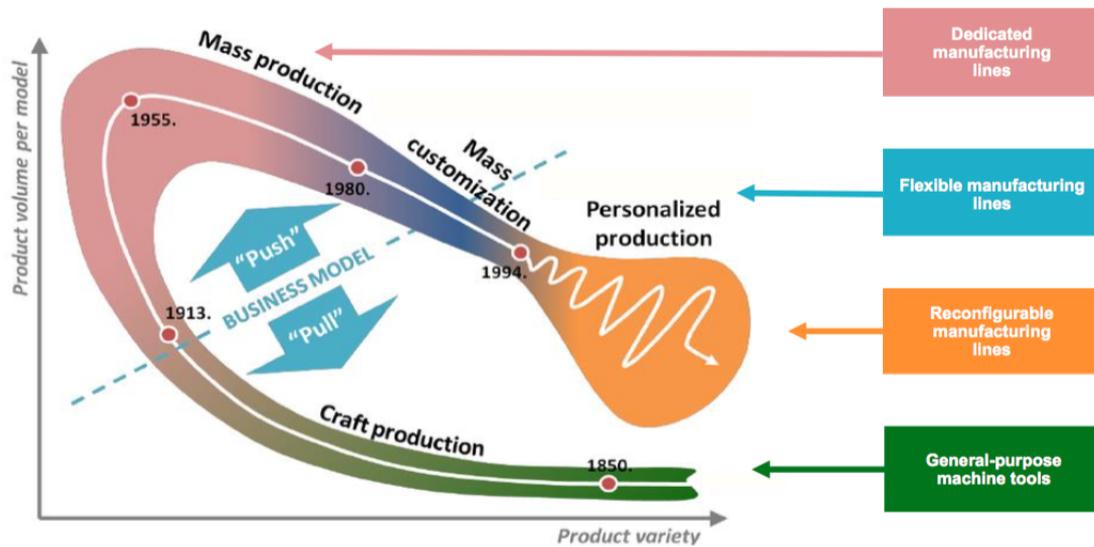


Figura 1.1: Dalla produzione di massa ai Reconfigurable Manufacturing System [4]

sciandone completamente la filosofia. Nel decennio 1962-1972 il TPS venne adottato dai principali fornitori di Toyota e fu allora che la Lean Manufacturing diventò un sistema esteso ed integrato. Negli anni settanta vennero pubblicati i primi manuali contenenti i punti chiave dell'approccio TPS che raggiungeranno però gli USA solo nei primi anni ottanta [3]. Una delle idee più rivoluzionarie create da Ohno fu quella della logica pull: per evitare di produrre in eccesso, nel mondo lean ciascuna lavorazione verrà iniziata solamente quando è il cliente a richiederla. Definendo parallelamente un modello di *replenishment*, un prodotto verrà lavorato solamente nel momento in cui avviene il consumo dello stesso riducendo così la quantità di WIP e i tempi di attraversamento.

Oggi, dopo l'esperienza di produzione di massa degli anni del dopoguerra, si è raggiunto un livello di customizzazione richiesta dal cliente tale che è ormai indispensabile adottare sistemi snelli e flessibili, oggi anche indicati con il nome di Reconfigurable Manufacturing System (RMS). In figura 1.1 è riportata una rappresentazione di questa tendenza come suggerito da Yoram Korena in *Design of reconfigurable manufacturing systems*.

1.2 I principi della Lean Manufacturing

"Wherever there is a product for a customer, there is a value stream. The challenge lies in seeing it" [6]. Nella sua definizione più semplice, la Lean Manufacturing è proprio l'eliminazione di sprechi in ogni processo, o value stream[5], dove per spreco si intende ogni attività che non aggiunge valore al prodotto o servizio che viene consegnato al

cliente. Il primo passo per implementare una strategia lean è quindi proprio identificare i sette tipi di spreco e le loro fonti:

1. **Eccesso di produzione:** è la fonte di spreco principale e più dannosa. Questo spreco oltre a generare prodotti invenduti o con largo anticipo può generare altri costi e sprechi legati a lunghe giacenze in magazzino. La causa di questo spreco è riconducibile a logiche di magazzino poco efficaci che prediligono la overproduction per ovviare a mancanze in termini di qualità
2. **Attese o ritardi:** rappresentano le fasi in cui la produzione non procede a causa di operatori in attesa di materiale, informazioni, tool, set up di macchinari. La causa principale può essere individuata in scarso bilanciamento delle linee, inefficienza del sistema magazzino o mancanza di manutenzione dei macchinari
3. **Movimentazione e Trasporto:** comprende tutti gli sprechi riconducibili alle attività di handling e gestione fisica del prodotto o degli operatori tra processi, che non aggiunge alcun valore al prodotto finale. Da ricondurre sia alla logistica interna, all'interno di reparti o stabilimenti, che nel processo di consegna al cliente. Nel primo caso può essere dovuto ad un cattivo lay-out degli ambienti di produzione
4. **Eccesso di lavorazioni:** tale spreco è dovuto alla necessità di movimentare parti, strumenti, e informazioni più di una volta o comunque più di quanto sia necessario al fine di soddisfare le richieste del cliente. Può essere riconducibile al fatto che l'ingegneria di processo non riesce a tramutare le richieste del cliente in un ciclo di lavoro che contenga le lavorazioni effettivamente necessarie, e solo quelle
5. **Movimento persone:** nel momento in cui, all'interno di un processo, gli operatori o i macchinari hanno bisogno di muoversi per svolgere un'attività che non aggiunge valore al prodotto, si verifica uno spreco. Per ovviare a questo problema è necessario progettare accuratamente le stazioni di lavoro e programmare la produzione in maniera efficace
6. **Scorte:** le scorte rappresentano uno spreco in ogni momento in cui non vengono lavorate. A questo spreco appartiene ogni tipo di scorta: WIP, prodotti finiti, materie prime, materiale indiretto. L'adozione di una logica pull e di kanban può ridurre questi sprechi
7. **Scarti:** ogni difettosità rappresenta per definizione uno spreco in qualità di mancato ricavo. Nell'accezione lean lo scarto rappresenta uno spreco ancora più critico poichè genera anche una perdita in termini di risorse impiegate nella lavorazione e nell'handling di quel prodotto.

Ohno descrive quindi la TPS come un insieme di strumenti volti a ridurre i costi della produzione eliminando ogni forma di scarto. Il sistema che permette di eliminare tali scarti è fondato su due pilastri: *Just in Time* e *Jidoka*. Alla base della solida struttura TPS troviamo i termini *Heijunka* e *Kaizen*, dove il primo si riferisce ad un livellamento e standardizzazione della produzione volto ad equilibrare il carico di lavoro in una cella produttiva e a limitare le fluttuazioni dell'output, il secondo ad una filosofia di continuo miglioramento che parte da una serie di attività di analisi di processo e determinazione di difetti per individuare possibilità di miglioramento ed efficientamento dei fattori produttivi.



Figura 1.2: I pilastri del Toyota Production System

1.2.1 Il pilastro Jidoka

Il pilastro *jidoka* prevede di adottare una serie di accorgimenti, tecnici e culturali, per migliorare il sistema di ispezione e controllo. Esso si basa sulla collaborazione uomo-macchina dove ai macchinari è lasciato il compito di svolgere ispezioni di qualità in cui è richiesta un'elevata ripetibilità, mentre all'uomo vengono lasciate attività a più valore aggiunto. Nel momento in cui la macchina ha individuato il difetto sarà compito dell'operatore attivare una procedura di analisi volta a ricercare le cause che possono aver generato quel difetto. Gli strumenti operativi che compongono il pilastro *jidoka* sono i seguenti:

1. *poka-yoke*: una serie di scelte progettuali e apparecchiature che, ponendo dei limiti al modo in cui un'operazione può essere compiuta, forzano l'utilizzatore ad una corretta esecuzione della stessa

2. *adons*: si riferisce all'adozione di segnali acustici, luci o display per indicare lo stato di un processo o di un macchinario ed evidenziarne eventuali anomalie
3. *5 why*: identificare la radice di un problema o spreco ponendosi semplici domande

1.2.2 Il pilastro Just in Time

Il *Just in Time* (JIT) è forse ciò che ha reso più celebre la filosofia lean. Esso si propone di portare al massimo livello di precisione l'attività produttiva, realizzando il giusto prodotto, esattamente quando esso è richiesto dal cliente e riducendo così al minimo i lead time e tutte le forme di spreco legate a gestione, movimentazione e stoccaggio di scorte. Spesso concepito come un semplice sistema di gestione delle scorte, esso rappresenta in realtà un approccio trasversale che parte dal cuore del controllo qualità e porta ad un profondo controllo della variabilità di volumi e mix produttivo. Il primo tool del JIT è rappresentato dalla *takt analysis*, ossia un metodo di progettazione del tempo ciclo di un prodotto basato sull'effettiva domanda di mercato, che permette di sincronizzare la filiera produttiva alle necessità dei clienti. Il *takt time* è quindi definito come il rapporto tra il tempo di produzione disponibile (T_a in ore per periodo) e la domanda relativa a quel determinato prodotto (D in unità per periodo) e rappresenta il ritmo della produzione ottimale per soddisfare la domanda del cliente e ridurre le inefficienze.

$$Takt = \frac{T_a}{D} \quad (1.1)$$

Solitamente, introducendo vincoli operativi e tecnologici, esso viene imposto dalla lavorazione più lenta all'interno della filiera produttiva, l'obiettivo sarà quindi fare in modo che il tempo ciclo della lavorazione più lenta coincida con il *takt time*. Se il ritmo effettivo della produzione risultasse maggiore del *takt time* calcolato dalla formula 1.1, allora non sarà possibile rispettare la domanda di mercato, se invece sarà minore si cadrà nella over-production, la prima e più impattante fonte di spreco.

Potenzialmente l'applicazione di questo strumento può essere ampliata a tutte le funzioni aziendali andando a definire, ad esempio, il ritmo di risposta a richieste del cliente da parte del customer service, o definendo il ritmo di approvvigionamento necessario a sostenere la supply chain. Nel mondo della produzione i benefici che esso può portare sono di diversa natura: nel caso in cui un prodotto si muove lungo una linea di produzione, l'adozione di questo strumento permette infatti di identificare facilmente la presenza di bottleneck e le stazioni che soffrono più frequentemente di fermi macchina. Analogamente, l'implementazione di questo tool spinge all'efficientamento di tutte le attività di handling e alla riduzione di tutte le attività a non valore aggiunto.

Un altro valido strumento che completa la *takt analysis* è l'adozione della logica di *Group Technology*, ossia la realizzazione di celle di produzione contenenti tutte le attrezzature, impianti e risorse umane necessarie alla realizzazione di prodotti simili tra loro. Questa logica è decisamente vincente nel caso in cui si producano prodotti simili in grandi volumi, ma limitata qualora il mix produttivo risulti variabile e frammentato. Nei prossimi capitoli vedremo come la *Cellular Manufacturing* è stata ribaltata dalla Demand Flow[®] Technology a favore di una struttura più flessibile ed efficiente.

Altra questione di grande impatto nella lean manufacturing è rappresentata dalla gestione dei tempi di set-up. Quest'ultima non rappresentava un problema nella produzione di massa di Henry Ford poiché produrre prodotti a bassa variabilità non richiedeva frequenti *changeover*, cosa invece cruciale ora che il mercato richiede prodotti sempre più differenziati. In assenza di una gestione lean dei tempi di set-up le possibili soluzioni a consistenti fermi macchina sono le seguenti: un sovradimensionamento dell'intera filiera, che genera inevitabilmente un aumento del costo di investimento iniziale e la presenza di risorse inutilizzate, o l'inserimento di buffer a valle delle attività con i più lunghi tempi di set-up, a cui consegue un aumento del WIP e dei costi di magazzino. Una credenza fortemente diffusa nel mondo della mass production è che lunghi tempi di set-up possano essere giustificati e ammortizzati con grandi volumi, poiché distribuendo la perdita che ne deriva su tali volumi si ottiene una perdita per unità di prodotto trascurabile. Ciò non è ammesso nella filosofia lean poiché ogni tempo di set-up rappresenta un'attività a non valore aggiunto, essa stessa una voce di spreco, che genera altre perdite in termini di risorse non utilizzate e livelli di magazzino. La letteratura propone quindi due metodologie in merito: lo *SMED*, *Single Minute Exchange of Die* e l'*OTS*, *One Touch Setup*.

Lo *SMED* è una metodologia integrata che si propone di ridurre drasticamente i fermi macchina causati da attrezzaggio o changover. I primi passi per implementare questa metodologia sono i seguenti:

- descrizione delle operazioni svolte e della loro sequenza
- determinazione del tempo impiegato per svolgere ogni operazione
- identificazione degli utensili utilizzati per svolgere le varie operazioni e della loro ubicazione iniziale
- registrazione del numero di operatori impiegati sul processo

Dopo aver quindi identificato le fasi di setup si procede con la classificazione di queste in fasi di set-up esterno, ossia tutte quelle fasi realizzabili con il macchinario ancora in ciclo, e fasi set-up interno, quelle che richiedono l'interruzione della macchina e introducono quindi un downtime. Fatto questo il cuore della metodologia *SMED* risiede

nel ricercare alternative volte a convertire tutte le fasi di set-up interno in set-up esterno o a ridurre la durata delle fasi di set-up interno imprescindibili.

L'OTS è un'ulteriore evoluzione della metodologia SMED e rappresenta i casi particolari in cui il set-up del macchinario può essere realizzato con un solo click da bordo macchina. Questo risultato può essere raggiunto adottando meccanismi automatici o software opportuni.

Before SMED	Changeover			
Separate Activities	Internal	External		
Convert Internal into External Eliminate unwanted steps	Internal	Eliminated	External	
Streamline Activities	Internal	External		Eliminated

Figura 1.3: Schematizzazione delle attività della metodologia SMED

1.3 La logica pull

Per una migliore gestione delle scorte e dei flussi produttivi la logica JIT propone l'adozione di un modello *pull*, il cui obiettivo è quello di ridurre sprechi impostando un livello massimo di magazzino e iniziando la produzione a fronte di un consumo del cliente. Questa logica permette quindi di evitare ogni tipo di produzione eccessiva in quanto è proprio il cliente che, tramite il consumo di un prodotto, emette un segnale che risale la filiera fino a monte innescando il processo produttivo. Per implementare questa metodologia a partire da un sistema *push* è necessario quindi un cruciale cambiamento di mentalità, volto a rispondere proprio a ciò che il cliente fa piuttosto che a ciò che esso vuole. Il concetto alla base è quello di *replenishment* o *take one, make one* che comporta significative riduzioni di WIP, lead time, e miglioramenti sui temi qualità e logistica, sia interna che esterna. Nella teoria *pull*, componenti e semilavorati non devono mai fermarsi all'interno dello stabilimento, se non per lavorazioni a valore aggiunto. Questo risulta spesso difficile da realizzare, si pensi, ad esempio, alla necessità di scorte generata da possibili fermi macchina o da tempi di set-up. Per ovviare a questo problema la JIT prevede la generazione di disaccoppiamenti, detti *supermarket* o *buffer*, in corrispondenza di alcuni punti critici del flusso. Queste scorte possono essere classificate come segue:

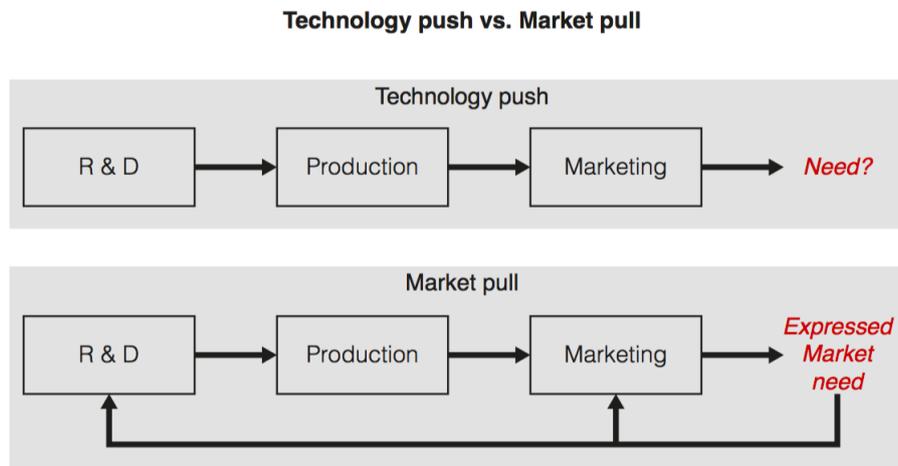


Figura 1.4: Differenze tra sistemi Push e Pull, macroaree

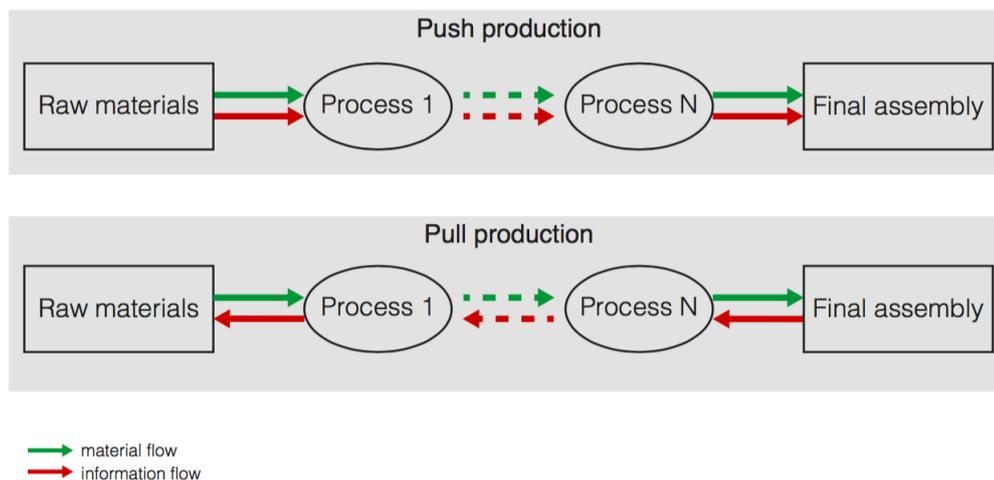


Figura 1.5: Differenze tra produzione push e pull

1. *cycle stock*: è la scorta legata al ciclo di produzione, necessaria per la realizzazione dei lotti
2. *safety stock*: la scorta necessaria a proteggersi dalle fonti di variabilità interne allo stabilimento, come fermi linea o problemi qualitativi
3. *buffer stock*: la scorta volta a rispondere a variabili esterne al sistema produttivo, come ad esempio a picchi o valli di domanda o variabilità del sistema logistico.

Dopo aver identificato le quantità massime di tali scorte necessarie a far funzionare il sistema produttivo, è necessario rimanere costantemente sotto tale livello, ogni scorta che sale al di sopra del massimo imposto verrà considerata uno spreco di cui sbarazzarsi.

Il sistema pull che negli anni ha riscosso più successo è senza dubbio il *kanban*. Con questo termine (dal giapponese "segnale") si identifica la pratica di utilizzare segnali visivi, solitamente cartellini, in altri casi carrelli o aree di lavoro delimitate, per regolare il flusso e le attività di handling e per limitare il livello di magazzino, è uno degli strumenti principali per combattere la *overproduction*. Adottare un sistema *kanban* significa non solo cambiare il modo di traghettare informazioni, ma anche intraprendere un percorso di *continuous improvement*. I *kanban* forniscono due tipi di informazioni principali, in base alle quali possono essere classificati in:

- *kanban* di produzione (*P-kanban*): è un vero e proprio ordine di produzione, esso autorizza la stazione di lavoro a monte a procedere alla produzione e ne specifica le quantità da produrre.
- *kanban* di trasporto (*T-kanban*): autorizza la movimentazione di un lotto o di un prodotto alla stazione a valle.

Le sei regole fondamentali per la gestione della produzione in ottica *kanban* sono le seguenti:

1. Il processo a valle preleva dal processo a monte il quantitativo di materiale indicato dal *kanban*. Questo permette di creare un sistema *pull* e di generare un *replenishment*
2. il processo a valle produce nella quantità e sequenza indicata nel *kanban*. Così facendo il *kanban* fornisce informazioni circa metodi e volumi di produzione.
3. nessun prodotto può essere trasportato senza un *kanban* ad esso associato, prevenendo così eccessiva movimentazione di lotti e *overproduction*
4. tutte le risorse produttive materiali devono essere associate ad un *kanban* che rappresenta un vero e proprio ordine di produzione
5. i prodotti difettosi non vengono avanzati alle stazioni successive. Il *kanban* diventa così uno strumento per migliorare il sistema qualità e identificare le stazioni critiche in termini di qualità
6. ridurre il numero di *kanban* in circolazione aumenta la sensibilità del sistema produttivo alla richiesta del cliente.

Da queste sei regole è possibile ricreare il ciclo di vita di un *kanban* per meglio capirne il ruolo. Quando il cliente, o l'utilizzatore ultimo della catena di produzione, preleva un prodotto, il *kanban* che ha seguito quel lotto/prodotto viene rimosso e posizionato

su di un a *kanban board*, da lì il *kanban* viene prelevato solitamente da chi è responsabile della movimentazione di lotti e materiali e trasportato in ufficio pianificazione, o ad una figura incaricata di schedare la produzione. Responsabilità della pianificazione è quella di identificare i *kanban* da emettere, definendo quindi il livello di WIP. Dalla pianificazione il *kanban* passa a degli opportuni contenitori a valle della linea di produzione, detti *heijunka box* proprio perché responsabili del livellamento della produzione. Quindi l'operatore preleva il *kanban* e procede con la produzione nel modo e nelle quantità descritte in esso, il *kanban* è così servito ad innescare il ciclo di lavoro di un componente in un modo ben più intuitivo ed efficace di ogni altro tipo di sistema di pianificazione (si pensi al classico MRP). Nel momento in cui l'operatore preleva il lotto a monte, esso rilascia un *kanban* di produzione, un consenso alla produzione che risale via via la filiera produttiva. Il *kanban* si è così mosso attraverso la filiera per un tempo così composto:

1. tempo legato al trasporto e alla giacenza in pianificazione
2. tempo legato al trasporto lungo la linea produttiva e in buffer o supermarket
3. tempo trascorso nelle stazioni di lavoro
4. tempo necessario per la consegna del prodotto finito

La somma di questi quattro contributi è il *replenishment time*.

A questo punto non rimane che identificare il numero di *kanban* da rilasciare al fine di controllare il WIP, garantire i volumi richiesti dal cliente e rispondere ad eventuali imprevisti interni o esterni all'azienda. Per fare ciò è innanzitutto necessario definire il punto di riordino o *ROP*, ossia la quantità minima di materiale disponibile nel supermarket affinché sia possibile procedere con la produzione, esso è dato dalla somma della scorta di sicurezza (*SS*) e del consumo medio in un intervallo pari al tempo di approvvigionamento, dato dal prodotto del consumo medio (C_m) e *lead time* (*LT*):

$$ROP = SS + C_m \times LT \quad (1.2)$$

il numero di *kanban* necessario per un determinato prodotto che viene movimentato all'interno di contenitori standardizzati di capacità *CC* sarà quindi pari a:

$$N_{kanban} = \frac{ROP}{CC} + 1 \quad (1.3)$$

Dove è necessario sommare uno quando la richiesta di *replenishment* parte nell'istante in cui il contenitore è esaurito, ossia quando il cartellino viene spostato a termine dell'operazione o quando è il contenitore stesso a fungere da *kanban*. Nel caso in cui si

scelga di adottare una modalità in cui il *kanban* lascia il lotto appena viene inizializzata la lavorazione, allora la formula appena presentata diventerà:

$$N_{kanban} = \frac{ROP}{CC} \quad (1.4)$$

Sarà quindi necessario un *kanban* in meno proprio perché la richiesta di *replenishment* parte appena inizia il consumo di scorte disponibili.

1.4 Gestione delle risorse umane in un mondo lean

Molte aziende che intraprendono un percorso di implementazione della *lean manufacturing* si accorgono presto che adottare una logica *lean* non significa solo servirsi di strumenti tecnici, ma anche guidare le persone nella direzione di un forte cambiamento culturale. Per questo, le persone e la loro gestione rappresentano il cuore della cultura *lean* e del *TPS*; forse l'unico vero punto in cui scendere a compromessi comporta degli irreparabili danni. Si pensi che nella letteratura si trova spesso citare il talento inutilizzato come principale fonte di spreco aziendale. Gli elementi principali per lo sviluppo e lo sfruttamento di talenti sono senza dubbio i seguenti: *training*, *commitment* e definizione di percorsi di carriera; a cui si affiancano altri punti come:

1. *multiskilled workers*: Ohno fa spesso riferimento alla necessità di avere operatori flessibili all'interno degli stabilimenti produttivi al fine di garantire stabilità della produzione e per raggiungere miglioramenti dei processi produttivi. Si pensi ad esempio alla logica di *cellular manufacturing*, in cui pochi operatori gestiscono un flusso di macchinari, senza *multiskilled workers* non sarebbe possibile implementare una metodologia di questo tipo
2. *problem solving*: la logica *lean*, nell'ottica di miglioramento di processi, flussi ed eliminazione di sprechi, si propone di coinvolgere operatori e impiegati a tutti i livelli nella risoluzione di problemi operativi e produttivi. Questo rappresenta un punto cardine per creare *commitment* all'interno dello stabilimento produttivo
3. *team autonomi*: lo sviluppo di team con un'alta autonomia, trasversali all'organizzazione e composti in maniera eterogenea, rappresenta un solido supporto ai progetti *lean*
4. *celebrazione dei successi*: in un mondo *lean* vengono riconosciuti meriti e celebrati successi in modo da migliorare il *commitment* e guidare il personale verso

una presa di coscienza della loro posizione. Questo può essere fatto anche sotto forma di benefit piuttosto che in forma monetaria.

1.5 Value Stream Map

Si definisce *value stream* l'insieme di azioni, sia a valore aggiunto che non, richieste per processare un prodotto all'interno dei due principali flussi necessari per ogni prodotto: il flusso produttivo dalla materia prima al cliente finale e il *design flow* dalla progettazione al lancio di un nuovo prodotto [6]. Andando ad analizzare il flusso produttivo *door-to-door*, cioè quello all'interno del plant, includendo le forniture di materie prime e la consegna del prodotto al cliente, o al *customer plant*, la *value stream map* è uno strumento visivo all'interno del quale si va a tracciare il ciclo di vita di un prodotto o di una famiglia di prodotti, comprendendo tutte le lavorazioni e le movimentazioni che esso subisce dal fornitore al cliente. In questo modo si metteranno in evidenza le fasi che non aggiungono valore al prodotto e si potranno intraprendere delle azioni correttive a riguardo. La *value stream map* si compone di tre blocchi principali:

1. *information flow*: è il blocco in cui viene rappresentato il flusso di informazioni che permettono la gestione e la pianificazione della domanda. Questo comprende dettagli relativi a pianificazione, previsione, richieste del cliente e programmazione della produzione
2. *material flow*: è il *value stream* dei materiali, semilavorati o prodotti finiti all'interno dello stabilimento, è necessario qui distinguere attività di handling e movimentazione (in generale a non valore aggiunto) dalle lavorazioni a valore aggiunto
3. *lead time ladder*: è un dettaglio tramite il quale evidenziare *lead time (LT)* e *value added time (VAT)* e calcolare il *value stream (VS)* come:

$$VS = \frac{LT}{VAT} \quad (1.5)$$

obiettivo di questi blocchi è quello di evidenziare le attività a non valore aggiunto (NVAT) e il loro rapporto con le VAT e intraprendere azioni correttive volte a diminuire questo rapporto. In generale si presenta come nella figura 1.7 e i tempi necessari al calcolo del *value stream* possono essere ottenuti come da figura 1.6.

I benefici che l'adozione di una *value stream map* comporta sono i seguenti:

1. oltre che mostrare i processi e i loro tempi ciclo, permette di visualizzare l'intero ciclo di vita di un prodotto o famiglia
2. permette di evidenziare gli sprechi e le loro fonti
3. fornisce un linguaggio standardizzato e comune che permette la collaborazione di operatori (solitamente i responsabili della movimentazione di lotti o materiali) e impiegati ad ogni livello
4. permette di intraprendere decisioni sulla base di informazioni chiare. In molti casi decisioni in termini di movimentazione e handling nei reparti produttivi vengono lasciate al caso, generando sprechi e aumentando lead time
5. mostra il collegamento tra il flusso di informazioni e il processo produttivo
6. crea ordine in termini di tempi e metodi, migliorando le attività di handling e limitando *overproduction* e sprechi di materiale indiretto
7. è uno strumento qualitativo che può essere utilizzato a supporto di altri strumenti numerici/quantitativi per intraprendere scelte e implementare strumenti *lean*

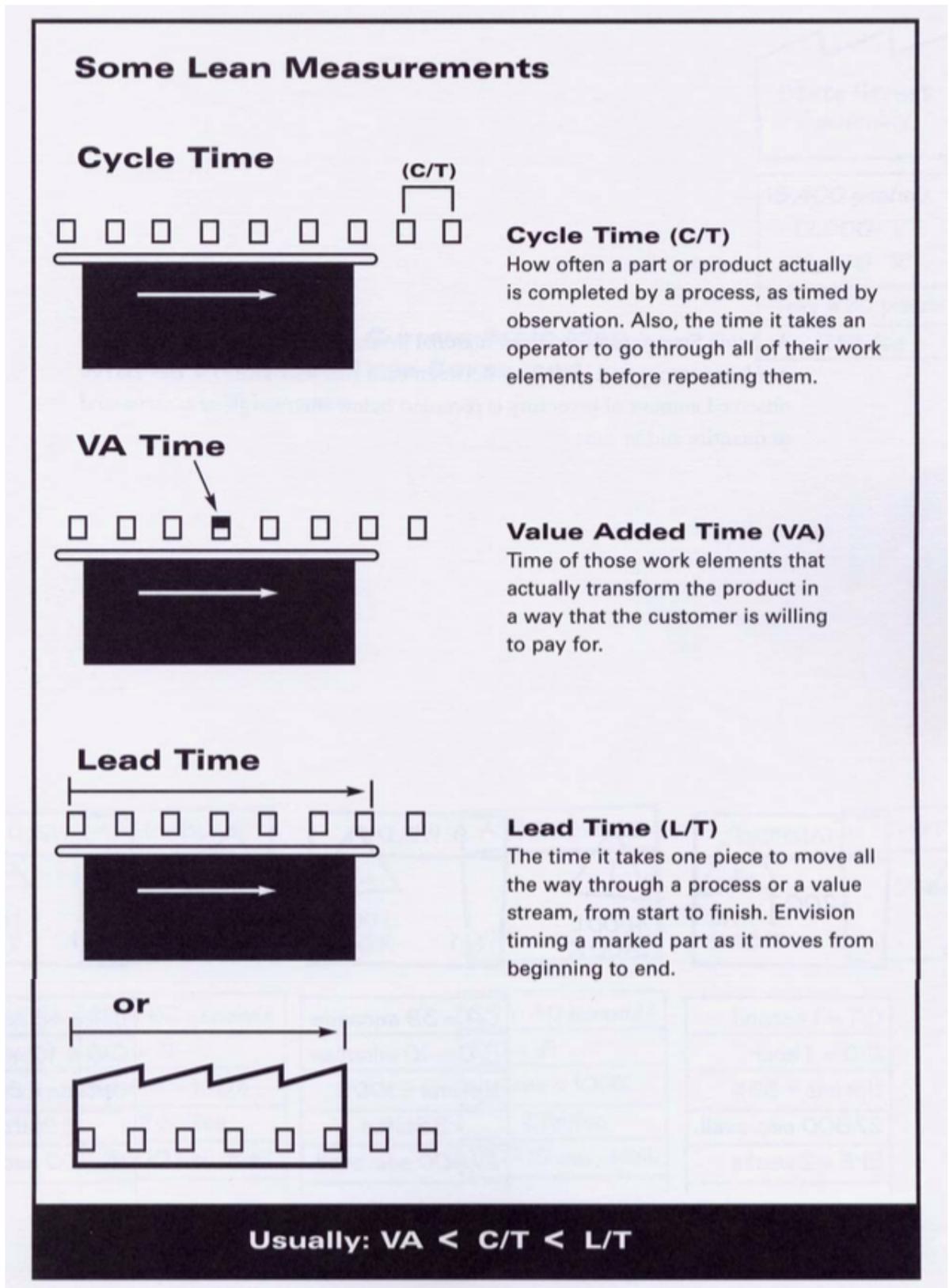


Figura 1.6: Differenza da tempi ciclo, takt time e lead time in una VSM [6]

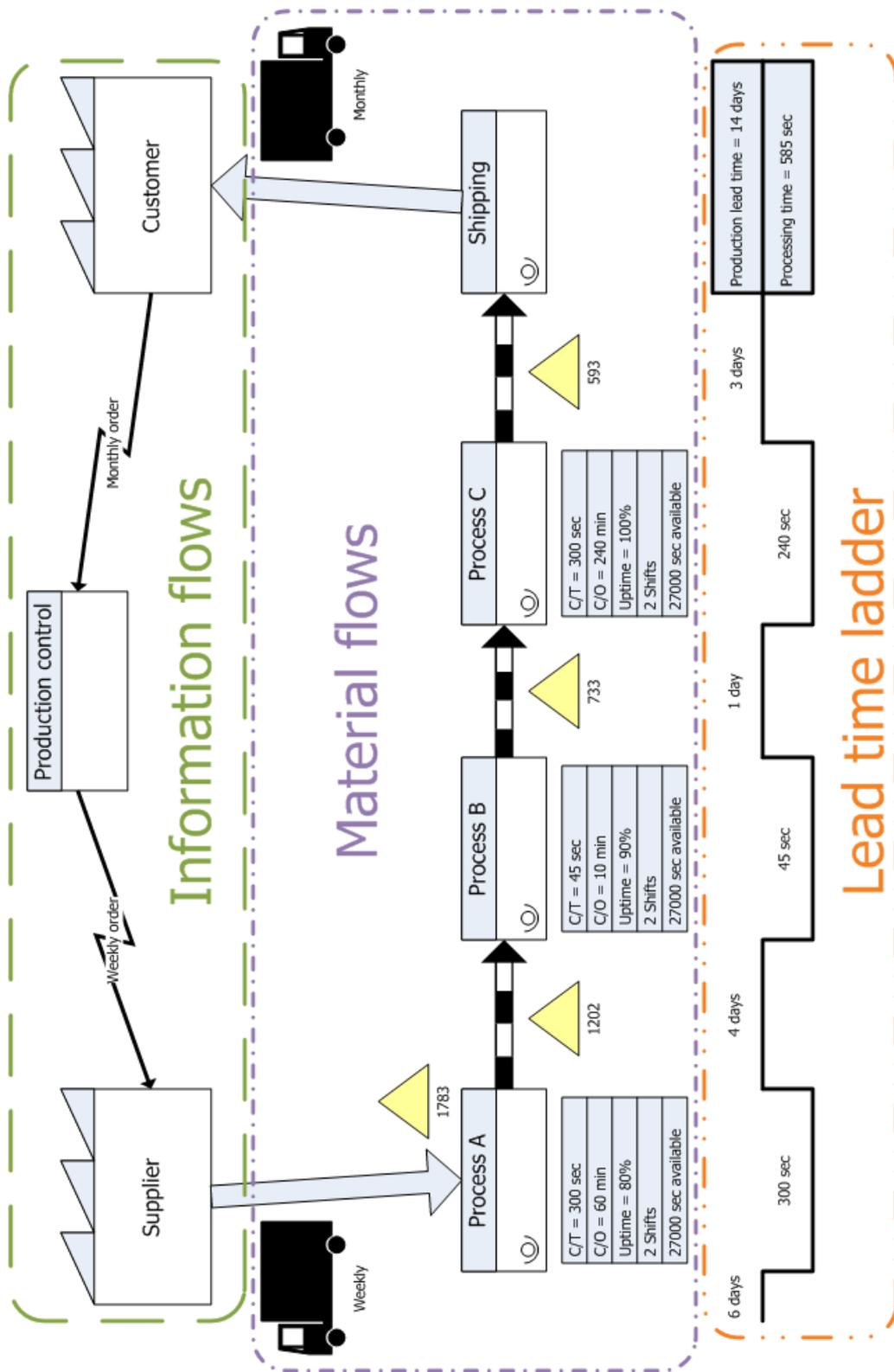


Figura 1.7: Esempio di Value Stream Map

Capitolo 2

Demand Flow[®] Technology

A partire dagli ultimi anni del '900 fino ad oggi, lo scenario produttivo ha subito dei profondi cambiamenti, dettati soprattutto dalle mutate esigenze dei consumatori. A fronte di una forte globalizzazione dei mercati, della libera circolazione di informazioni e di un miglioramento della qualità della vita, i consumatori richiedono prodotti sempre più differenziati e customizzati, esigendo allo stesso tempo lead time sempre più ridotti. Questo ha generato per tante realtà industriali la necessità di sviluppare linee di produzioni flessibili e capaci di ridurre al minimo i lead time per il cliente. A tutto questo si affianca una continua e diffusa riduzione del ciclo di vita dei prodotti, dettata proprio dalle mutevoli esigenze del mercato, che porta molti prodotti all'obsolescenza prematura. Diventa perciò fondamentale per ogni azienda o sistema produttivo la capacità di inserire il prodotto nel mercato al momento più opportuno.

La Demand Flow[®] Technology (DFT) è una strategia che abbraccia molti dei principi della filosofia *lean* con l'obiettivo di collegare il flusso produttivo direttamente alla domanda di mercato, permettendo quindi di lanciare velocemente nuovi prodotti sul mercato e sviluppare una straordinaria reattività alla domanda del cliente. Questa metodologia venne creata da John R. Costanza nei primi anni '80 per rispondere ad una richiesta di rinnovamento del sistema produttivo di Hewlett Packard (Hp). Oggi il John Costanza Institute of Technology, fondato nel 1984 ad Englewood (CA), propone consulenze specifiche per adattare tale metodologia alle esigenze di ogni azienda e guidarne l'implementazione.

La DFT si propone quindi di superare la *Material Requirement Planning*, o MRP, andando a focalizzarsi sulla progettazione del processo e sulla gestione delle scorte al fine di minimizzare i costi di gestione. La principale differenza tra un sistema MRP e la tecnologia DFT sta nel fatto che il primo ha come obiettivo quello di minimizzare i magazzini e ridurre il tempo di attraversamento, ma, pur essendo uno strumento che viene costantemente aggiornato all'arrivo di nuove richieste dal cliente, non è in grado

di rispondere a sostanziali fluttuazioni della domanda. La causa di tutto ciò è la mancanza di un sistema di feedback, che impone quindi la presenza di magazzini corposi per rispondere a variabilità interne ed esterne. La DFT punta invece a strutturare la produzione in base alla domanda di mercato e raggiungere un'elevata capacità di adattarsi ad essa, comportando notevoli benefici in termini di output, qualità, riduzione di WIP e lead time e aumento di efficienza.

Il termine Demand Flow[®] Technology (DFT) ha in se le caratteristiche peculiari della metodologia:

1. *Demand*: indica la quantità e il costo di beni o servizi richiesti dal cliente finale, nonché la data, o periodo temporale, in cui essi devono essere consegnati
2. *Flow*: il cuore di questa metodologia, ossia la definizione di un unico flusso continuo che limiti i tempi di attraversamento e sia in grado di adattarsi alla domanda di mercato
3. *Technology*: la DFT si serve di strumenti di matematica applicata che ne semplificano e rafforzano l'implementazione.

Come già introdotto nel primo capitolo, la DFT è una strategia di business trasversale che intende coinvolgere tutte le funzioni aziendali, a partire da design e prototipazione, passando per lo studio della domanda, la pianificazione operation e il controllo di gestione, fino ad arrivare alla produzione, dove si trova il cuore di questa metodologia. Sul piano prettamente produttivo si parla di Demand Flow[®] Manufacturing, ossia l'insieme di strumenti e tecniche *lean* volte a identificare un layout ottimale e a convertire la produzione in un insieme di flussi efficienti gestiti in *pull*. L'implementazione della Demand Flow[®] Technology nel mondo produttivo si basa quindi sui due pilastri riportati in figura 2.1, i quali si servono di alcuni strumenti *lean* tradizionali e di altri specificatamente creati da John R. Costanza.

2.1 Product Synchronization

Il primo strumento della metodologia DFT è la *Product Synchronization*, essa viene definita da Costanza come *a relationship of manufacturing processes, in a flow, to build a product* [1], ossia la sequenza di operazioni a valore aggiunto necessarie a generare un prodotto finito a partire dalle materie prime. Una *Product Synchronization*, o *Sync*, rappresenta quindi un raggruppamento logico di attività a valore aggiunto per insiemi comuni di prodotti. Questo strumento, è il punto di partenza per lo studio delle attività

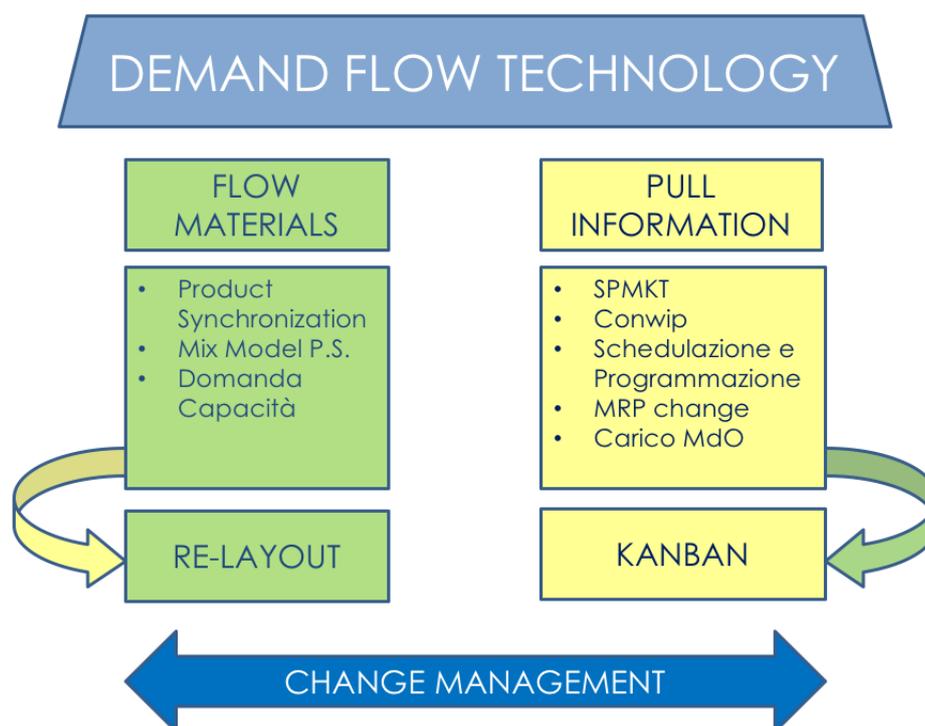


Figura 2.1: I pilastri della DFT

a valore aggiunto e per comprendere come i processi interagiscono tra di loro nell'ambiente produttivo e rappresenta il primo step per l'implementazione di tale metodologia e per l'identificazione di un layout di fabbrica capace di gestire con semplicità e rapidità mix produttivi complessi.

Nella loro definizione più generale le *Product Sync* possono essere composte da:

1. *Main Line Path*: è il flusso principale che percorrono la maggior parte dei prodotti a partire dalle materie prime fino alla *shipping area*; la serie di processi verso i quali convergono tutti i componenti o semilavorati
2. *Feeder Paths*: questi percorsi vengono definiti per mettere in evidenza dove nascono componenti di primo livello e dove essi entrano a far parte del flusso principale. Un *main line path* sarà quindi alimentato da uno o più *feeder path*
3. *Rework Paths*: in alcuni processi critici sarà necessario introdurre linee di rilavorazione per considerare quei componenti che necessitano un *rework*, solitamente vengono realizzati in corrispondenza di un controllo qualità o di un'area di test e in flussi complessi sono fondamentali per evitare che il componente ripercorra la filiera produttiva verso monte.

4. *Option Paths*: questi percorsi vengono definiti in corrispondenza di quei punti in cui un prodotto può differenziarsi in due o più varianti, ad esempio quando un prodotto finito prevede due varianti con diverse colorazioni o uno stesso componente grezzo diverse lavorazioni meccaniche

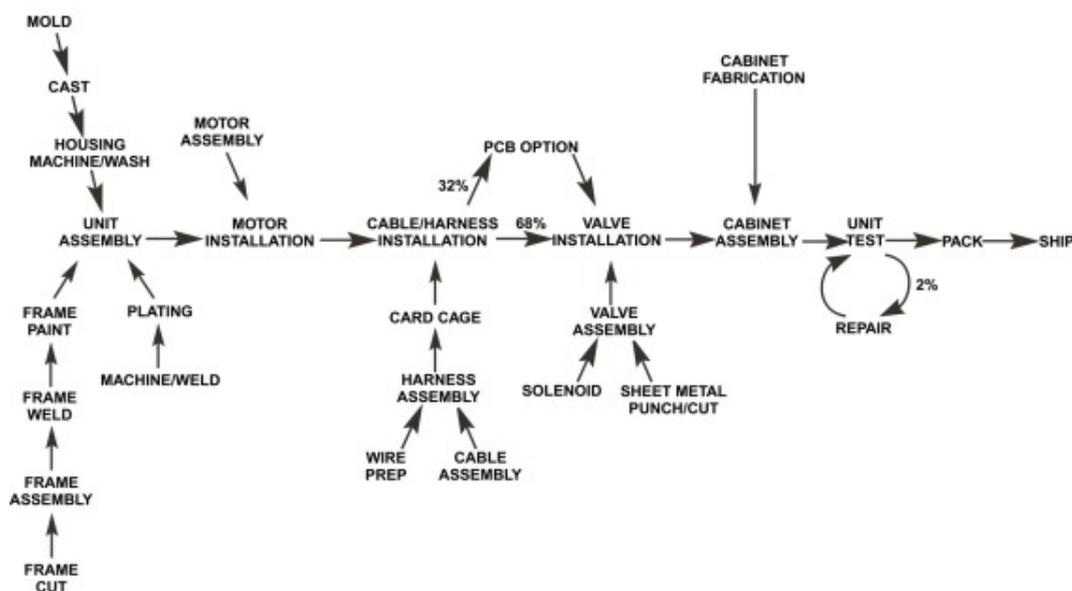


Figura 2.2: Esempio di Product Sync

La presenza di scarti e rilavorazioni impone quindi, già in questa fase, l'analisi del sistema qualità e la definizione di un metodo rigoroso capace di ridurre al minimo questi sprechi ed eventualmente gestirli, evitando reflussi lungo la filiera produttiva. È altresì importante ricordare che una *Product Sync* è una rappresentazione di una serie di flussi che si alimentano l'un l'altro verso il prodotto finito, ma non contiene alcuna informazione di carattere decisionale, gestionale o gerarchico, non contiene indicazioni circa distinte basi, giacenze in magazzino o movimentazione di lotti, ma solo la sequenza di attività a valore aggiunto.

Già con l'identificazione delle principali *Product Sync* è possibile generare la *Mixed-Model Product Synchronization*, ossia una combinazione di *Product Sync* in un singolo flusso capace di elaborare una vasta gamma di famiglie di prodotti, questo rappresenta una prima indicazione di un layout di fabbrica.

2.2 Sequence of Events

Una volta identificate le traiettorie più comuni, sarà necessario caratterizzare le operazioni necessarie a garantire ciascun processo produttivo. Per fare questo, la metodologia

DFT propone di adottare la *Sequence of Events* o *SOE*: uno strumento volto ad identificare e classificare le fasi necessarie alla realizzazione di un prodotto e al rispetto del livello qualitativo richiesto dal cliente. La *SOE* prevede di determinare per ogni componente e prodotto finito le singole operazioni necessarie per realizzarlo, classificandole in:

- lavoro manuale
- lavoro automatizzato (macchina)
- set-up
- movimentazione

Non tutte queste operazioni genereranno valore aggiunto, sarà perciò importante distinguere quali di queste lavorazioni siano a valore aggiunto e quali no. In generale si definisce operazione a valore aggiunto ciascun lavoro, manuale o automatizzato, che generi un plusvalore agli occhi del consumatore. Una lavorazione meccanica sarà perciò un'operazione a valore aggiunto perchè trasforma un grezzo in un componente con determinate specifiche tecniche, in termini dimensionali, strutturali etc. Non saranno invece operazioni a valore aggiunto tutte le attività di set-up, controllo qualitativo e movimentazione, in quanto, seppur necessarie per il corretto procedere della produzione e per rispettare gli standard di qualità richiesti, non contribuiscono alla trasformazione del prodotto. L'utilità della *SOE*, analogamente alla *Value Stream Map*, è proprio quella di mettere in evidenza le attività a non valore aggiunto e stimolare la ricerca di soluzioni volte a ridurle. Nella realizzazione di una *SOE*, in particolare, emergeranno tutte le attività di movimentazione, i tempi che esse richiedono rappresentano un indice di bontà del layout di fabbrica attuale.

SEQUENCE OF EVENTS										
PRODUCT: MODEL ABD123			PROCESS NAME: Shell Assembly							
TASK NUMB	TASK DESCRIPTION	VA	SETUP		REQUIRED		MOVE		TQC	QUALITY CRITERIA
			MACH	LAB	MACH	LAB	MACH	LAB		
10	Pull plate piece 1							1.50		
20	Remove protective plastic					2.20			X	Check metal for scratches
30	Pull Plate piece 2							1.50		
40	Remove protective plastic					2.20			X	Check metal for scratches
50	Setup pieces in weld mach		1.25							
60	Pull Plate piece 3							1.50		
70	Remove protective plastic					2.20			X	Check metal for scratches
80	Align piece 3					1.05				
90	Rivet piece 3 to new welded assy					0.25			X	40lb of air pressure +/- 3
100	Repeat Sequence 90 (8 times)					2.00				
110	Move shell to kanban							1.00		

Figura 2.3: Esempio di SOE

2.3 Demand at Capacity e Operational Cycle Time

Dopo aver individuato i flussi più ricorrenti e mappato i tempi di attraversamento tramite la *SOE*, la metodologia *DFT* propone di determinare la domanda di mercato di ciascun prodotto e quindi il quantitativo giornaliero di componenti, semilavorati e prodotti finiti da produrre: la *Demand at Capacity*. Il risultato di tale analisi potrà essere utilizzato per individuare i volumi attesi per ciascuna *sync* e progettare la linea di produzione. In questa fase è cruciale creare un solido database su cui condurre questa analisi e per verificarne l'attendibilità potrà risultare utile incrociare dati provenienti sia dalla pianificazione che dall'ufficio vendite e marketing. È importante sottolineare che in questa fase è necessario tener conto di stagionalità, variabilità di mix produttivo ed eventuali trend di crescita, per individuare la massima domanda relativa a ciascuna *sync*, poiché è su questa che va dimensionata la capacità di ciascun flusso. In generale la *Demand at Capacity (DC)* è data dal rapporto tra il target di produzione mensile o settimanale (P_v) e il numero di giorni lavorativi corrispondenti (W_d):

$$DC = \frac{P_v}{W_d} \quad (2.1)$$

In questo modo verranno calcolati i pezzi da produrre giornalmente da cui ricavare, considerando la capacità di ciascun macchinario e il tempo ciclo delle lavorazioni coinvolte, il numero di macchinari e di operatori necessari a garantire quei volumi produttivi.

Per tener conto di tutto ciò la *DFT* suggerisce l'adozione di un ulteriore parametro di supporto: l'*Operational Cycle Time (OP c/t)*, ossia il tempo necessario alla lavorazione di un singolo prodotto per ciascun macchinario lungo tutte le fasi del processo. Esso è definito come il rapporto tra le ore di lavoro disponibili nell'arco della giornata, ($H(s)$), funzione del numero di turni di apertura del reparto/stabilimento (s), e il valore corrispondente di *Demand at Capacity*:

$$OPc/t = \frac{H(s)}{DC} \quad (2.2)$$

Viene così definito il ritmo di produzione ideale capace di garantire i volumi richiesti. In accordo con la filosofia *lean* ogni deviazione da questo valore comporterà degli sprechi in termini di mancata produzione, attese o overproduction.

Questi sono quindi gli strumenti principali della metodologia *DFT*, a cui si affiancano, sul fronte della gestione dei flussi, gli strumenti *pull* tipici della *Lean Manufacturing*, come l'adozione di *Kanban*, la definizione di *Supermarket* per la riduzione del livello di magazzino, e l'utilizzo, per particolari famiglie di prodotti, di celle di produzione.

L'applicazione di queste tecniche, provenienti dalla matematica applicata, fornisce come risultato un sistema estremamente semplice e capace di adattarsi a mix complessi e domanda di mercato fortemente variabile.

Nel capitolo 4 vedremo come l'insieme di tutto questo è stato adottato in Luxottica per determinare un layout ottimale in un reparto caratterizzato da un'elevata complessità di gestione dei flussi, ma prima è necessario passare in rassegna le tipologie di layout più utilizzate nel mondo produttivo e come queste sono state assorbite dall'esperienza Luxottica.

2.4 Tipologie di layout

Si è soliti utilizzare il termine layout per indicare la disposizione delle attività produttive di un'azienda all'interno del fabbricato o nelle zone immediatamente adiacenti. L'Organizzazione Internazionale del Lavoro (ILO) definisce il layout di fabbrica come "la dislocazione dei reparti o delle officine nell'ambito della fabbrica, delle macchine, dei posti di lavoro e dei depositi nelle aree lavorative, inclusi, ove sia il caso, gli uffici ed i servizi aziendali relativi".

La disposizione planimetrica di uno stabilimento industriale può essere organizzata in base a diversi criteri che danno luogo a tre differenti sistemi:

1. sistemi a punto fisso
2. sistemi orientati al prodotto (layout a flusso)
3. sistemi orientati al processo (layout per reparto).

L'utilizzo di tali criteri dipende dal mix produttivo e dai volumi di produzione come mostrato nella matrice prodotto-processo di figura 2.4. Raramente si troveranno queste forme pure all'interno di stabilimenti produttivi, ma spesso vengono usate delle combinazioni di questi tipi. Ogni layout può però essere scomposto e analizzato in termini di layout elementari anche se, per valutarne le prestazioni, è importante che esso risponda alle esigenze dell'impresa indipendentemente dalla categoria a cui appartiene.

Un sistema a postazioni fisse si realizza in casi specifici di prodotti che a causa della loro elevata dimensione rendono impraticabile (spesso impossibile come nel caso di un edificio) lo spostamento del prodotto tra le operazioni da processare. A differenza delle altre tipologie di sistemi produttivi, nei sistemi a postazioni fisse tutti i processi produttivi ruotano attorno al prodotto.

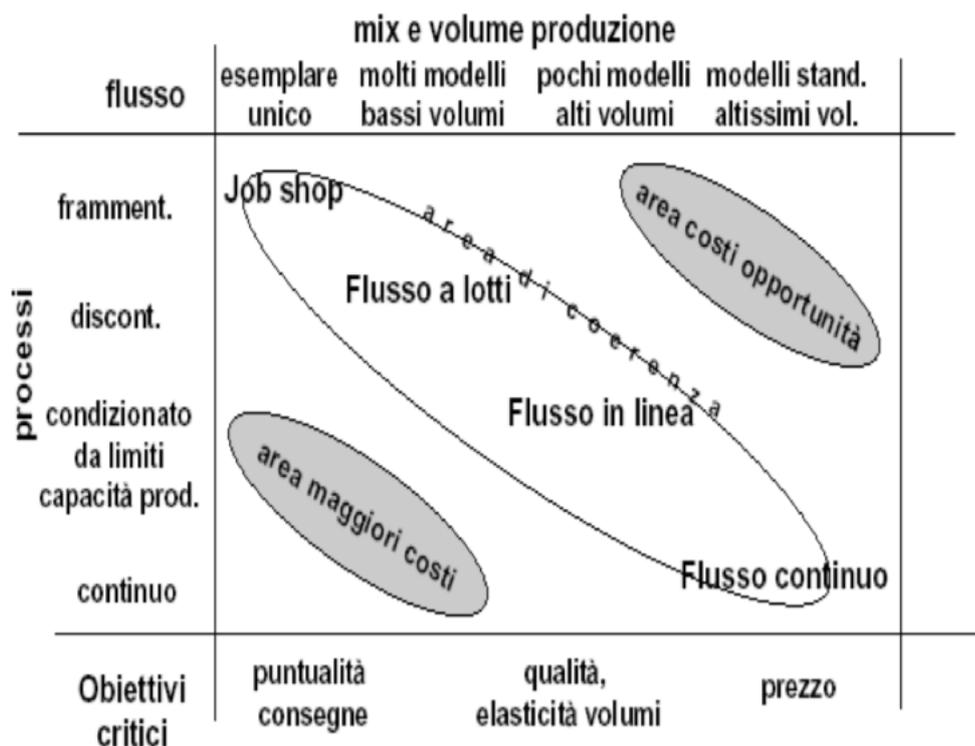


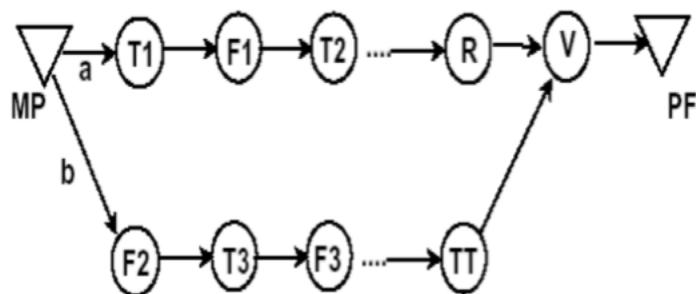
Figura 2.4: Matrice prodotto-processo

2.4.1 Layout orientati al prodotto

I sistemi di questo tipo sono progettati attorno al prodotto e al suo specifico ciclo di lavoro. Essi sono noti anche come linee di produzione dato che il prodotto, una volta entrato nel processo, subisce le operazioni in modo sequenziale, senza mai tornare su macchine o risorse che hanno già effettuato lavorazioni sul prodotto stesso. Quindi i materiali entrano nella linea e procedono nella stessa direzione fino all'uscita del sistema. Indubbiamente, le linee di produzione sono più efficienti ed efficaci quando si ha a che fare con elevati volumi produttivi. Tale tipo di layout risulta, quindi, scarsamente flessibile in quanto strettamente legato al prodotto che si intende fabbricare, ma molto più efficace in termini di produttività. Esso è giustificato pertanto nel caso di impianti caratterizzati da una produzione specifica, come ad esempio quella del mondo dell'automotive, o di acciaierie o cementifici, in cui si ha la fabbricazione di un numero relativamente limitato di prodotti in elevati volumi.

I vantaggi principali correlati all'adozione di tale tipologia di layout sono:

- elevata efficienza dovuta alla semplicità del flusso produttivo
- riduzione dei costi di trasporto dei materiali (dovuta alla minore movimentazione)
- riduzione del livello di WIP conferito da un flusso continuo di materiale



a,b prodotti (componenti, assiemi) standardizzati
 N.B. la *linea transfer* è un impianto che mette a disposizione una "capacità produttiva", mentre il *job shop* mette a disposizione una "capacità tecnologica"

Figura 2.5: Esempio di layout per prodotto, o a flusso

- semplificazione dei processi di controllo e gestione della produzione
- minore superficie di stabilimento richiesta
- semplice formazione degli operatori.

I principali svantaggi correlati all'adozione di tale tipologia di layout sono invece:

- scarsa flessibilità
- produttività legata alla macchina più lenta, che impone il takt time all'intera linea
- il guasto o set-up di una macchina può bloccare l'intera linea
- investimento elevato, sistemi di questo tipo sono solitamente capital-intensive
- alienazione dell'operatore che esegue ripetutamente la stessa operazione.

2.4.2 Layout orientati al processo

Spesso molti prodotti non hanno una domanda sufficiente a giustificare una linea di produzione dedicata, si pensi ad esempio al caso Luxottica, caratterizzato da un mix fortemente variabile e frammentato in cui l'adozione di linee di produzione sarebbe fortemente svantaggioso e comporterebbe una forte sensibilità al mix produttivo, una bassa saturazione dei macchinari, nonché uno sfruttamento non ottimale del suolo. La soluzione ad un mix complesso caratterizzato da una domanda variabile e stagionale è data dall'adozione di job shop o dei sistemi produttivi orientati al processo. In questo tipo di layout i reparti o centri di lavoro sono composti da macchine omogenee in grado di poter eseguire lo stesso tipo di lavorazione. In un sistema produttivo di questo tipo, ad

esempio, un reparto può essere formato da saldatrici, un altro da presse ed un altro ancora da macchinari per controllo qualità. Parti di un prodotto assegnate ad uno stesso centro di lavoro possono richiedere lo stesso tipo di lavorazione con attrezzaggi diversi e tempi di set-up diversi. In tal caso, non essendo possibile individuare un flusso univoco dei materiali, questi ultimi devono essere movimentati con apparecchiature e operatori dedicati.

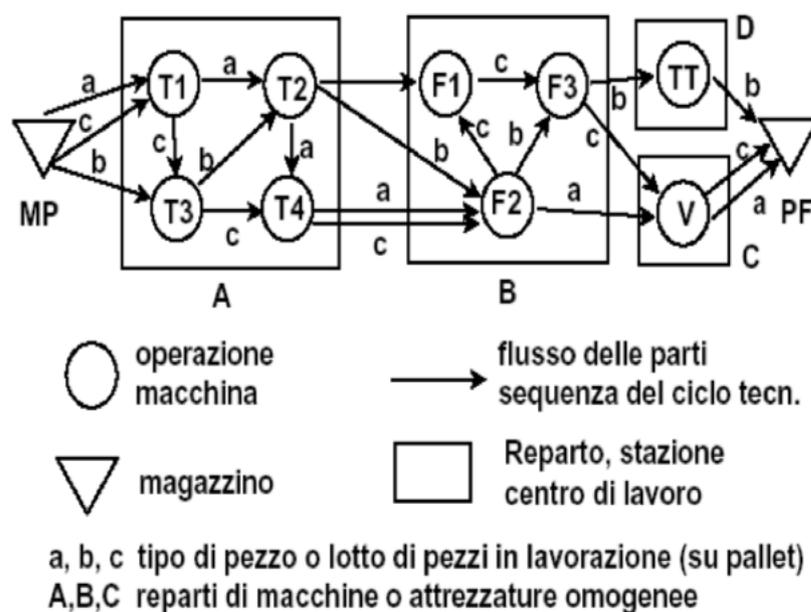


Figura 2.6: Esempio di layout per processo, o job-shop

I vantaggi principali consistono in:

- elevata flessibilità di produzione
- i macchinari e le risorse necessarie vengono dimensionate a capacità (minori sprechi in termini di investimenti in attrezzature fisse)
- controllo e supervisione più efficaci
- l'operatore esegue compiti diversi anche se limitati ad una piccola parte del ciclo di lavorazione di un pezzo
- miglior controllo di processi ad alta precisione o particolarmente complessi
- semplicità di gestione delle avarie dei macchinari.

Gli svantaggi consistono in:

- spostamenti da un reparto all'altro dei prodotti in lavorazione sulla base delle indicazioni fornite dal ciclo di lavoro, problema che genera elevati WIP e lead time

- maggiori costi di movimentazione
- necessità di magazzini intermedi a causa degli elevati WIP
- difficoltà nel gestire la produzione.

	vantaggi	svantaggi
job shop	Investimento ridotto Alta flessibilità Elevata elasticità Scarsa obsolescenza Rapido avvio di nuove produzioni	Alti tempi di attraversamento Elevato WIP Scarsa saturazione Alti costi di manodopera Qualità non omogenea Scarsa prevedibilità dei tempi di consegna Difficile reperibilità manodopera specializzata
linea	Ridotti tempi di attraversamento Ridotto WIP Elevata saturazione Ridotto fabbisogno di manodopera Qualità uniforme	Notevole rigidità Investimenti elevati Rapida obsolescenza Vulnerabilità ai guasti Elevato tempo di avvio di nuove produzioni

Figura 2.7: Confronto tra layout per processo e per prodotto

Questo sistema è stato per anni adottato in molti stabilimenti Luxottica, generando però una grande complessità di gestione e, a fronte di un mix fortemente complesso e di una domanda estremamente variabile, una forte variabilità di WIP e lead time, cosa inconciliabile con le esigenze del mercato. Per far fronte a questo problema sono state implementate negli anni due diverse soluzioni che rappresentano un compromesso tra i due sistemi produttivi appena presentati, esse sono:

- *cellular manufacturing*, o *group technology*
- definizione di *Product Synchronization* tramite metodologia *DFT*

2.4.3 Cellular Manufacturing

Sistemi produttivi di tipo *group technology*, o *cellular manufacturing* consistono nel raggruppare prodotti simili tra loro, che richiedono quindi lavorazioni simili, in famiglie tali da giustificare l'adozione di macchinari dedicati. Si viene così a creare una *cella* ossia un raggruppamento di macchinari capace di assorbire l'intero ciclo di lavoro di una determinata famiglia di prodotti.

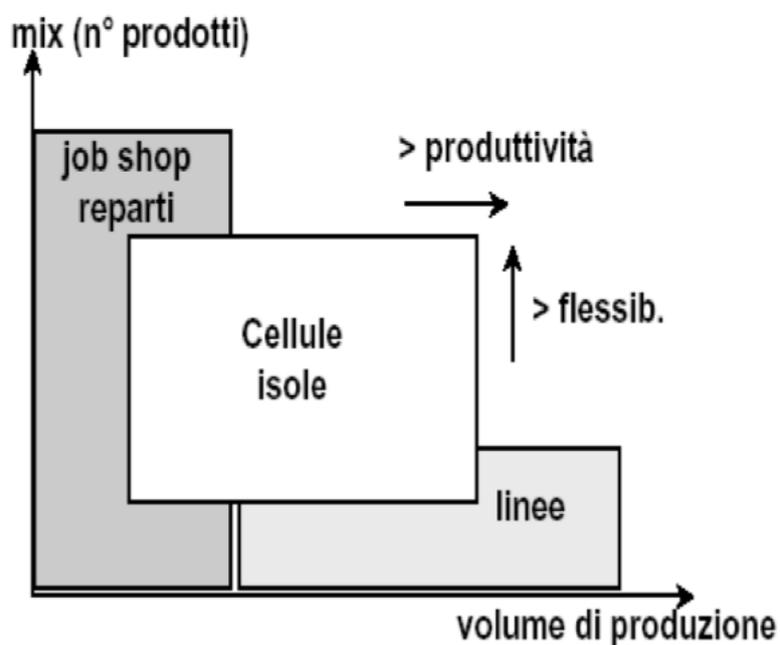


Figura 2.8: Caratteristiche di flessibilità e produttività dei sistemi produttivi

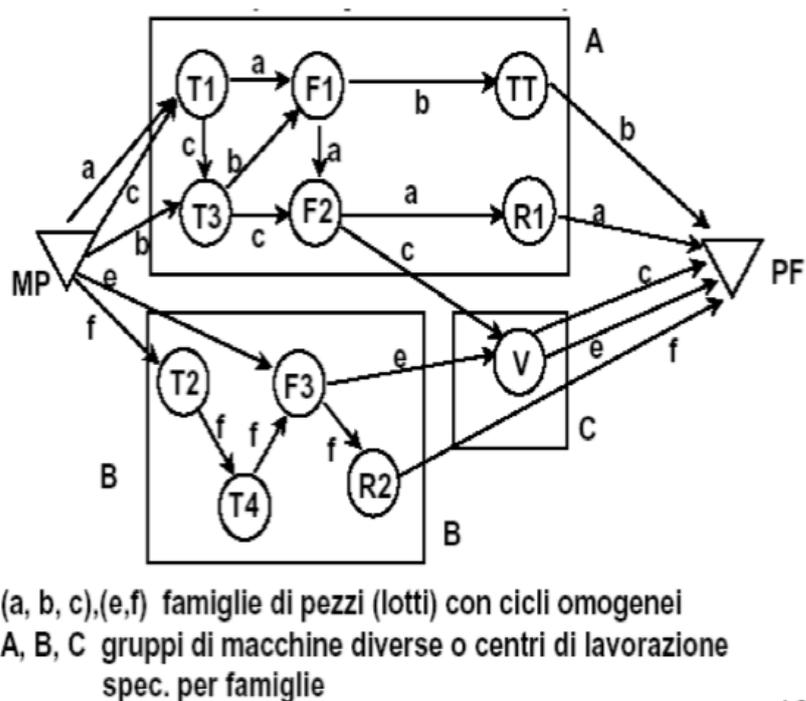


Figura 2.9: Esempio di layout per tecnologia di gruppo, o celle di produzione

La *cellular manufacturing* rappresenta un compromesso tra la produzione su processo e su prodotto e introduce i seguenti vantaggi:

- maggiore flessibilità rispetto ai sistemi orientati al processo
- maggiore produttività e semplificazione della gestione della produzione rispetto a sistemi job-shop
- riduzione dei tempi e dei costi di attrezzaggio rispetto al layout per processo
- possibilità di raggiungere uno scheduling ottimale dei lotti cosa spesso impossibile nel layout per processo
- riduzione dei costi di trasporto
- maggiore gratificazione degli operatori che eseguono varie lavorazioni

Gli svantaggi rispetto ad un sistema orientato al processo sono:

- diminuzione della flessibilità
- necessità di personale più qualificato e flessibile
- duplicazione di alcune lavorazioni e dei relativi macchinari.

2.4.4 La Metodologia DFT

Un'ulteriore soluzione di compromesso che concilia le caratteristiche tipiche dell'organizzazione flow e job-shop è rappresentata dall'adozione di un layout matriciale in cui la produzione viene gestita tramite *Product Synchronization* in linea con la teoria suggerita dalla *Demand Flow Technology*.

Questo approccio prevede di individuare, tramite gli strumenti DFT precedentemente introdotti, un unico flusso di macchinari organizzati in una matrice attraverso la quale i lotti scorrono lungo una direzione comune, senza mai tornare indietro e, se necessario, saltando quelle lavorazioni che non sono richieste. A fronte della presenza di molte sincronizzazioni di prodotto, i macchinari possono essere raggruppati in opportune macroaree separate da buffer di disaccoppiamento, in maniera da semplificare ancora la gestione della produzione.

Un esempio è rappresentato in figura 2.10. I benefici introdotti sono quelli già elencati per la *Cellular Manufacturing*, a cui si aggiungono :

- maggiore flessibilità a fronte di mix frammentato e domanda variabile
- riduzione e controllo del livello di WIP
- maggior prevedibilità e riduzione dei lead-time
- miglioramento delle attività di handling dei materiali
- efficientamento dei costi di struttura
- semplificazione della programmazione della produzione.

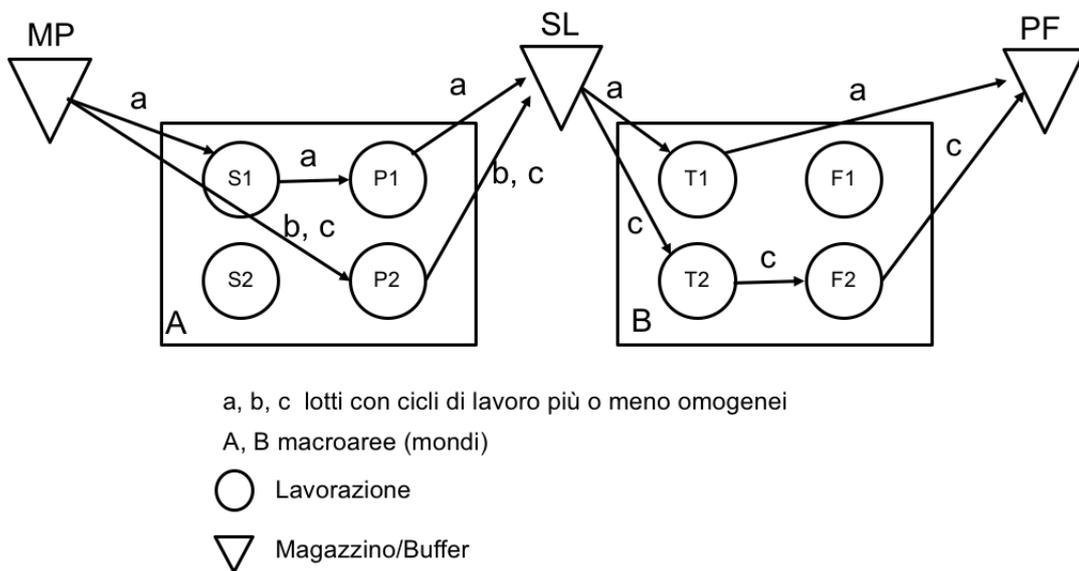


Figura 2.10: Esempio di layout matriciale ottenuto tramite metodologia DFT

Capitolo 3

Luxottica

Luxottica è oggi leader mondiale nel design, produzione e distribuzione di occhiali da sole e da vista, fondata su un forte portafoglio marchi. Alcuni di proprietà, tra cui Ray-Ban, Oakley, Vogue Eyewear, Persol, Oliver Peoples, Alain Mikli e Arnette, e altri in licenza, come Giorgio Armani, Burberry, Bulgari, Chanel, Coach, Dolce&Gabbana, DKNY, Michael Kors, Miu Miu, Paul Smith, Prada, Ralph Lauren, Starck Eyes, Tiffany, Versace e Valentino. Il grande punto di forza dell'azienda è certamente il modello di business verticalmente integrato, associato ad una forte presenza internazionale, che permettono a Luxottica di gestire autonomamente le fasi di design, sviluppo prodotto, produzione, logistica e distribuzione in più di 150 paesi nel mondo.



Figura 3.1: I brand eyewear di proprietà del gruppo Luxottica

3.1 La Storia

L'azienda nasce ad Agordo (BL) da Leonardo del Vecchio, giovane incisore milanese che nel 1958 si trasferisce ad Agordo per aprire una piccola bottega che nel 1961 diventerà Luxottica s.a.s.: quattordici dipendenti specializzati nella produzione di minuteria metallica per l'occhialeria. Nel 1967, pur continuando la produzione di semilavorati

conto terzi, l'azienda passa all'assemblaggio e alla produzione della prima collezione a marchio Luxottica, che riscuoterà un enorme successo alla Mostra Internazionale di Ottica Optometria e Oftalmologia (MIDO) di Milano.

Nel 1974, dopo cinque anni d'intenso sviluppo dell'attività produttiva, Del Vecchio intuisce l'importanza di poter controllare direttamente la distribuzione, e avvia una strategia di integrazione verticale con l'obiettivo di distribuire direttamente i propri prodotti sul mercato. Con l'acquisto della società torinese Scarrone S.p.A., già ben consolidata nel settore, l'azienda acquisisce un importante know-how sulle dinamiche di mercato.

L'espansione oltrepassa i confini italiani negli anni '80 con l'acquisizione di distributori indipendenti, l'apertura di filiali e, in alcuni casi, la creazione di joint-venture nei principali mercati esteri. Lo sviluppo sul fronte wholesale internazionale esplode con l'acquisizione di Avant Garde Optics Inc., colosso della distribuzione all'ingrosso sul mercato statunitense. Sono questi gli anni in cui l'occhiale firmato diventa uno *status symbol*, non più un fastidioso dispositivo medico. Luxottica coglie questa opportunità e chiude un cruciale accordo di licenza con Giorgio Armani nel 1988, è l'inizio di una rivoluzione nell'industria dell'occhialeria. Solo due anni dopo, nel 1990 Luxottica si apre al mercato finanziario internazionale quotandosi in borsa a Wall Street negli USA.

La Società espande progressivamente la propria attività nel segmento sole con l'acquisizione del marchio Vogue (1990) e del celebre Persol (1995), marchio dalla grande tradizione, sinonimo di classe e qualità *made in Italy*, adatto ad una clientela di fascia medio-alta. Nel corso degli anni '90, Luxottica amplia ulteriormente la propria rete distributiva con la costituzione di nuove filiali commerciali, tra cui spicca la consociata giapponese Mirari. Il 1995 rappresenta un anno decisivo per lo sviluppo della Società con l'acquisizione di US Shoe Corporation, proprietaria di LensCrafters, la più grande catena di servizi di ottica al dettaglio in Nord America. Luxottica è il primo produttore di occhiali ad entrare direttamente nel mercato retail, per poter sfruttare le sinergie esistenti con produzione e wholesale ed aumentare la penetrazione dei propri prodotti negli 870 negozi posseduti all'epoca da LensCrafters.

Nel 1999 Luxottica si afferma come leader indiscusso del settore occhialeria grazie all'acquisizione di Ray-Ban, il marchio di occhiali da sole più famoso al mondo, l'anno successivo arriva il debutto in Piazza Affari. Ray-Ban, marchio rinomato dalle grandi potenzialità inesprese, attraversava un periodo molto delicato in cui la sua immagine si stava lentamente appannando; venne rilanciato con enorme successo grazie ad una vigorosa campagna di comunicazione e alla prima collezione di occhiali di vista, conferendoli nuovamente il prestigio di un tempo.

Nel frattempo, sul fronte manufacturing, dal 1998 Luxottica gestisce la Tristar Optical Company Ltd. di Dongguan, nella provincia cinese del Guangdong, tramite una

joint-venture al 50% insieme ad un partner giapponese. Nel 2001 acquisisce il controllo totale della società.

Luxottica raggiunge in pochi anni la leadership a livello globale nel segmento retail a seguito delle acquisizioni di catene in tutto il mondo, tra cui particolare importanza assume Sunglass Hut (2002), maggior operatore mondiale nella distribuzione di occhiali da sole di fascia alta, OPSM Group (2003), la più grande catena di negozi specializzati nella vendita di occhiali in Asia-Pacifico e proprietaria delle insegne OPSM, Laubman & Pank e Budget Eyewear ed infine Cole National (2004), che porta in dote il secondo operatore nordamericano, Pearle Vision, e il business dei negozi gestiti in licenza.

Il 2004 è un anno di grande cambiamento per Luxottica: dopo aver portato l'azienda all'apice, Leonardo Del Vecchio intuisce il problema che porta molte aziende familiari al declino: il cambio generazionale della gestione aziendale. È il momento di dare l'azienda in mano a manager esterni per garantire un futuro all'azienda: Leonardo Del Vecchio, pur rimanendo presidente del gruppo, passa il testimone ad Andrea Guerra, che dopo aver reso grande la Indesit della famiglia Merloni, porta il titolo Luxottica da 13 a 40 euro e il fatturato oltre i sette miliardi.[12]

Nel corso del 2005 Luxottica si impone nel mercato cinese, dove grazie ad alcune acquisizioni e alla successiva ridenominazione dei negozi, LensCrafters diventa immediatamente leader nel retail di alta gamma. Allo stesso tempo vengono definite nuove strategie per essere attivi anche in nuovi mercati ad elevato potenziale, quali il Medio Oriente, il Sudafrica, la Thailandia e l'India, è il momento di rafforzare la produzione in Cina: la produzione media annuale dello stabilimento di Dongguan cresce dell'80% tra il 2005 e il 2006 e si integra verso la produzione di lenti da sole in plastica.

Nel 2007 Luxottica acquista per 2,1 miliardi di dollari il leader mondiale dell'ottica per lo sport, la californiana Oakley. Il potenziale dell'operazione è eccezionale in quanto Oakley non è solo un marchio conosciuto e apprezzato in tutto il mondo, ma porta in dote un ricco portafoglio comprendente Oliver Peoples e la licenza Paul Smith, nonché un network retail di oltre 400 negozi. L'integrazione viene realizzata in tempi record e conferma la leadership mondiale di Luxottica, gettando così le basi per un importante e duraturo processo di crescita.

Luxottica conquista poi il Sud America acquisendo il brasiliano Grupo Tecnol nel 2011 e la società Multiópticas Internacional proprietaria di catene di negozi Ópticas GMO, Econópticas e Sun Planet.

Nel 2013 è la volta di un nuovo brand del mondo del lusso: Alain Mikli International e nel 2014 di glasses.com, una piattaforma digitale accessibile a tutti gli ottici del Nord America che ha sviluppato la tecnologia try-on.

Oggi il network Luxottica è radicato in tutto il mondo, alimentato da un sistema pro-

duttivo articolato tra Italia, Cina, USA, Brasile, India e Giappone. In Italia il mondo operation si snoda tra Agordo, Cencenighe Agordino, Sedico, Pederobba, Rovereto e Lauriano, alcuni dei quali specializzati su prodotti in plastica, altre su componenti in metallo, altre ancora su lenti. Tutto questo richiede la gestione di una logistica interna decisamente articolata. Lo stabilimento di Foothill Ranch, in California, fabbrica montature e lenti sportive Oakley, caratterizzate da una forte ricerca su materiali e tecnologie indossabili. La fabbrica di Capinas in Brasile produce montature in plastica e metallo per il mercato locale con collezioni esclusive Ray-Ban, Vogue e Arnette per il mercato brasiliano lanciate tra il 2012 e il 2013. Lo stabilimento Indiano serve il mercato locale, mentre il giapponese, una piccola realtà artigianale, produce occhiali in metalli preziosi (oro e titanio) *made in Japan*.

Lo scorso primo Ottobre è infine avvenuta la fusione con la francese Essilor, leader mondiale nella produzione di lenti ottiche, ed è nato il gruppo EssilorLuxottica, colosso internazionale con alle spalle 150 anni di innovazione ed eccellenza, con ricavi pro forma di oltre 16 miliardi di Euro nel 2017 e circa 150.000 dipendenti. EssilorLuxottica è un unico grande player del settore dell'occhialeria che propone soluzioni per la cura della vista che soddisfano stili di vita in continua evoluzione, con l'obiettivo di raggiungere i 2,5 miliardi di persone che non hanno accesso a una correzione visiva e i 6 miliardi di persone che non proteggono i loro occhi dai raggi nocivi.

Figura 3.2: Le tecnologie per lenti EssilorLuxottica

3.2 Il mondo produttivo Luxottica

Nonostante la completa integrazione verticale e l'espansione verso il mondo retail, la fase produttiva rimane il cuore della realtà Luxottica, nonché la più valorizzata dalla politica aziendale. Questa attività di tesi si concentra principalmente sul mondo delle componenti in metallo, che oltre ad essere richieste per montature in lega, vengono ampiamente adottate come elementi strutturali su telai in acetato o plastica.



Figura 3.3: La distribuzione degli stabilimenti Luxottica e degli hub logistici

3.2.1 Metallo

Gli occhiali e le componenti in metallo sono senza alcun dubbio i più interessanti dal punto di vista produttivo. La realizzazione di un occhiale o di una componente in metallo richiede numerosi passaggi, macchinari estremamente sofisticati, una profonda conoscenza delle tecnologie meccaniche e dei materiali e una grande manualità degli operatori.

Le leghe più diffuse sono leghe di rame, in particolare Alpacca (Rame, Nichel e Zinco) o Niclafor (Rame Nichel e Stagno), leghe di rame berillio o leghe nichel-rame, come Monel. Queste leghe sono caratterizzate da un'elevata lavorabilità per deformazione allo stato freddo (duttilità) e saldabilità, dopo i trattamenti galvanici, acquisiscono un'eccellente resistenza all'ossidazione e una resa estetica stabile nel tempo. Un altro metallo

fortemente diffuso nel mondo dell'occhialeria è l'acciaio inossidabile, decisamente più performante dal punto di vista meccanico, perciò di più difficile lavorazione.

Il materiale grezzo raggiunge la stamperia metallo sotto forma di lamiera, tornito o filo: lamiera e torniti vengono tagliati e sottoposti a deformazioni a freddo (stampaggio o martellatura) e tranciatura, dando vita al componente grezzo, mentre il filo viene tagliato e sagomato opportunamente (cerchiatura), in alcuni casi viene adottato il taglio laser, lavorazione con precisione dell'ordine del micron, molto utile per piccoli componenti. Cerniere, frontali e aste con forme particolari vengono poi riprese tramite macchine a controllo numerico per ottenere precisioni dell'ordine del centesimo di millimetro in grado di garantire accoppiamenti dimensionali di altissima precisione. I componenti così ottenuti lasciano la stamperia e vengono levigati nei buratti per rimuovere bave e asperità. Nel reparto saldatura, i vari componenti vengono saldati e i cerchi sagomati per l'esatta calzata della lente. La saldatura è senza dubbio la lavorazione più delicata della filiera e richiede grande abilità e precisione. La montatura semilavorata è quindi pronta per pulitura, galvanica e verniciatura. Dopo una pulitura tramite macchine automatiche, sabbiatrici o satinatura manuale, i semilavorati vengono caricati su dei telai e immersi in soluzioni contenenti sali di metalli preziosi come oro, nichel, palladio che, tramite un processo elettrolitico, si depositano sulle superfici dei componenti migliorandone le caratteristiche superficiali e la resistenza a corrosione.

Oltre alle leghe sopra elencate, per alcune collezioni Luxottica adotta anche leghe in titanio: anallergiche, dalle grandi performance meccaniche, elevata resistenza a corrosione e peso ridotto. Risultano però difficilmente lavorabili e difficili da saldare se non in ambiente controllato.

3.2.2 Acetato e Plastica

L'acetato è un materiale particolarmente diffuso nel mondo dell'occhialeria, ottenuto trattando cellulosa con anidride acetica, plastificanti e tinte, mantiene le proprietà anallergiche della cellulosa ed effetti cromatici unici. La produzione di montature in acetato parte da tavole che vengono opportunamente lavorate con frese e pantografi per ottenere aste e frontali. Dopodiché viene inserita l'anima metallica all'interno dell'asta per migliorarne rigidità e resistenza a flessione, l'asta viene sagomata, intestata per garantire precisioni dimensionali dell'ordine del centesimo e, dopo la burattatura, viene accoppiata con il frontale.

La burattatura è un trattamento superficiale che trasforma aste e frontali grezzi in componenti pronti per l'assemblaggio, si compone di quattro step: sgrossatura, levigatura, lucidatura e brillantatura, in ognuna delle quali vengono adottati materiali abrasivi

e paste lucidanti diverse, il risultato finale è una superficie lucida e brillante che mette in evidenza i pattern caratteristici dell'acetato.

Per altre plastiche, la prima fase di produzione della montatura inizia nella stamperia iniettata. Qui il polimero, solitamente fibra di nylon, inizialmente sotto forma di granuli di colori diversi, viene fuso a circa 270 °C e iniettato negli stampi dalle presse per ottenere montature semilavorate e pronte per passare alla burattatura. Eventuali anime e cerniere metalliche possono essere inserite all'interno dello stampo per integrarsi immediatamente con la componente in plastica. La produzione di montature in plastica è relativamente semplice, ma richiede degli stampi in acciaio inossidabile di elevata precisione e performance meccaniche.

3.2.3 Materiali speciali

Oltre a metalli e miscele polimeriche, per particolari collezioni vengono adottati materiali speciali provenienti da altri settori industriali, come aerospace, biomedicale o tessile, per portare soluzioni innovative e performance elevate, calzate ottime e lunga durata delle montature. Uno di questi è il liteforce, un polimero innovativo proveniente dall'industria aerospaziale e protesica che offre elevata durabilità e peso ridotto, altri sono la fibra di carbonio, resistente e leggero, l'alluminio, anch'esso estremamente leggero, resistente alla corrosione e facilmente lavorabile, o il basalto, utilizzato per componenti virtualmente indistruttibili. Altri materiali provenienti dall'industria della moda come il velluto, il denim, la pelle o il tweed conferiscono all'occhiale dei design innovativi e dei pattern unici.

3.2.4 Le lenti

In parallelo alla montatura viene prodotta la lente, questa può essere realizzata in vetro o plastica, tipicamente policarbonato.

La produzione di una lente in plastica inizia dallo stampaggio: il policarbonato o la poliammide in granuli vengono miscelati a pigmenti colorati, fusi e iniettati negli stampi dove si trasforma in lente finita. Con la successiva laccatura, una pellicola antigraffio e antiabrasiva di pochi micron viene stesa in modo omogeneo sulle lenti. Dallo stampaggio si passa al coating in camera bianca: qui una serie di trattamenti permettono di colorare, realizzare sfumature ed effetti anti-riflesso.

La produzione delle lenti in vetro inizia dal trattamento di sbizzo in cui la lente grezza è sottoposta a tre operazioni. La sgrossatura elimina le parti superflue del vetro grezzo. La lappatura leviga la superficie della lente e la lucidatura la rende lucida e brillante. Si passa poi al lavaggio e al collaudo per verificare spessore e poteri ottici. La

successiva sagomatura modella con estrema precisione la lente per l'inserimento nella montatura. Infine le lenti vengono temprate per garantire robustezza e resistenza agli impatti.

3.2.5 Il ruolo dell'automazione

Come è stato già introdotto nei capitoli precedenti, oggi il mercato impone mix produttivi di enorme complessità e *lead time* sempre più ridotti, per far fronte a questo e all'aumento del costo del lavoro, Luxottica ha intrapreso una strada di integrazione delle automazioni per dar vita ad un sistema di produzione flessibile (*FMS - Flexible Manufacturing System*). In generale, le principali esigenze che richiedono l'introduzione di metodi di produzione flessibile sono:

- rapidità di introduzione di nuovi prodotti
- fabbricazione di piccoli lotti a costi competitivi
- efficienza del controllo qualità
- capacità di produrre un'elevata varietà di prodotti per soddisfare le necessità del mercato
- capacità di customizzare i prodotti su richiesta del cliente.

Per rispondere a tali specifiche, le fabbriche moderne tendono ad assumere queste caratteristiche:

- automazione delle attività di produzione e della movimentazione dei materiali
- monitoraggio automatico dell'intero processo produttivo
- gestione computerizzata delle attività aziendali, siano esse produttive o di servizio.

Questi risultati sembravano estremamente difficili da raggiungere pochi anni fa: automazioni e robot industriali venivano infatti associati ad una elevata ripetibilità, ma ad una scarsa flessibilità. Oggi, con lo sviluppo di sistemi sempre più intelligenti, i robot industriali introducono un elevato grado di flessibilità nella fabbrica.

Luxottica, in particolare, ha intrapreso una strada di implementazione massiva di soluzioni collaborative dotate di sistemi di visione. La collaboratività dei robot industriali permette infatti una facile integrazione di questi con il sistema fabbrica e la possibilità di avvicinare in sicurezza il sistema robotizzato all'operatore. Lo spazio viene così condiviso in maniera più efficiente: le barriere possono essere ridotte e si può lavorare in sicurezza occupando meno spazio, inoltre gli operatori, in molte applicazioni, possono asservire la cella robotizzata senza interromperla o comprometterne il funzionamento.

L'utilizzo di soluzioni collaborative apre la possibilità di realizzare celle robotizzate adattabili a macchinari già esistenti, permettendo quindi di trasformare processi manuali in automatici con investimenti e *pay-back* ridotti. Il sistema di visione 2D riprogrammabile (o *image processing*), infine, conferisce alla cella un grado di flessibilità elevato, permettendo di industrializzare con semplicità nuovi componenti su diverse celle robotizzate ed elaborare quindi un mix produttivo estremamente vario. In alcuni casi i sistemi di visione possono essere utilizzati anche per ispezioni di qualità in seguito a lavorazione meccaniche, si pensi ad esempio alla possibilità di controllare l'angolo di taglio con un sistema di visione dopo operazioni di intestatura. Le principali soluzioni che Luxottica ha oggi implementato riguardano:

- verniciatura componenti
- asservimento CNC
- operazioni di Pick&Place con SCARA
- assemblaggio aste e frontali
- trasporto e movimentazione componenti

Questo percorso di automazione dei processi è stato intrapreso non solo per far fronte all'aumento del costo del lavoro, ma anche per migliorare la qualità del lavoro e rispettare vincoli di sicurezza. L'adozione di robot antropomorfi in verniciatura o nell'asservimento di CNC evita infatti che gli operatori entrino a contatto con ambienti insalubri o pericolosi. Inoltre l'adozione di queste soluzioni comporta un innalzamento del livello tecnico degli operatori, che andranno a specializzarsi su macchine sempre più sofisticate e complesse, e un aumento della responsabilità degli stessi sui temi di qualità: affinché un'automazione sia efficace è infatti necessario che tutte le fasi a monte, comprese le fasi manuali, siano svolte nel rispetto degli standard di qualità.

Capitolo 4

Applicazione della Metodologia DFT

L'attività di tesi qui riportata è stata integralmente condotta all'interno dello stabilimento produttivo di Cencenighe Agordino: realtà che conta circa 400 operatori in cui vengono prodotti componenti in metallo, come ponti, frontali, aste etc. Lo stabilimento si articola su 5 reparti principali:

1. *stamperia 1*: qui, a partire da fogli di lamiera o fili in leghe di rame, vengono realizzati, per deformazione plastica e asportazione di materiale, componenti di primo livello
2. *stamperia 2*: in questo reparto i componenti prodotti nella stamperia 1 o provenienti dalla stamperia di Agordo o da fornitori esterni, vengono lavorati (ad esempio con fresatura di diamantatura o intestatura), saldati e assemblati in componenti di secondo livello
3. *burattatura*: qui convergono componenti e parti provenienti da tutti i reparti dello stabilimento. I componenti di primo livello provenienti dalla stamperia 1 vengono sottoposti a burattatura di sgrossatura per rimuovere imperfezioni e bave derivanti dalle lavorazioni di stampaggio e tranciatura. I componenti di secondo livello (ossia saldati o assemblati) provenienti dalla stamperia 2 vengono sottoposti a burattatura di levigatura e quelli provenienti da laser e pulitura vengono posizionati su degli opportuni telai e sottoposti a lucidatura o brillantatura nei buratti giapponesi.
4. *pulitura*: in questo reparto vengono realizzate operazioni di pulitura, satinatura e lucidatura con macchinari automatici o manuali
5. *laser*: qui avviene l'incisione laser di loghi su aste e ponti, le componenti vengono poi preparate su telai per i buratti giapponesi o per i trattamenti galvanici ad Agordo

Nell'immagine 4.1 viene riportato un esempio di flussi tra reparti.

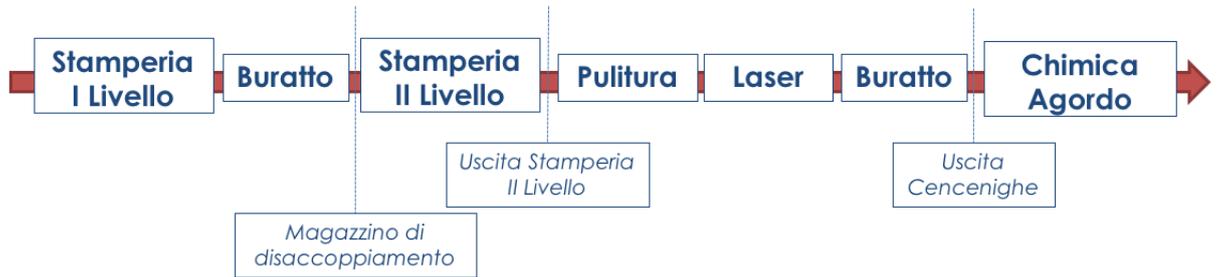


Figura 4.1: Esempio di flussi tra reparti nello stabilimento di Cencenighe

Il principale focus di questo studio sarà quindi l'analisi dei processi e flussi che avvengono all'interno del reparto stamperia 2: esso è caratterizzato da una grande varietà di processi, articolati su circa trenta diverse lavorazioni, e un mix produttivo complesso e variabile che attualmente viene gestito in celle di produzione. Il mix che il reparto si trova a dover elaborare può essere schematizzato in due raggruppamenti logici:

1. gli *alto rotanti* sono quei componenti e codici che vengono impiegati in una grande varietà di occhiali, solitamente in modelli la cui domanda è elevata, e per questo motivo generano gran parte dei volumi, risentono poco della stagionalità e tendono ad avere lunghi cicli di vita
2. i *basso rotanti* sono invece componenti che vengono prodotti in volumi minori e che risentono della stagionalità del prodotto finito, solitamente legati a collezioni di nicchia o a edizioni limitate.

Il layout a celle, come suggerito nella teoria *lean* è estremamente utile per ridurre i tempi di attraversamento dei lotti, per questo è particolarmente efficace nell'elaborazione di alcune famiglie di codici *alto rotanti* che presentano forti analogie nei cicli di lavoro. Tale layout risulta però poco efficiente nel momento in cui il mix risulta frammentato e i cicli di lavoro dei codici fortemente differenziati, come del resto accade nel reparto in analisi.

La scelta di implementare una metodologia DFT deriva dalla necessità di eseguire un'analisi strutturata della situazione attuale del reparto Stamperia 2 e valutare la possibilità di realizzare una serie di flussi lineari ed efficienti in cui le informazioni vengono gestite in *pull*. Per raggiungere questo risultato sarà quindi necessario analizzare i flussi più ricorrenti nel reparto, la domanda relativa a ciascun P/N e il numero di macchinari necessari, con l'obiettivo di identificare un nuovo layout ottimale.

Lo studio condotto è perciò articolato su tre step principali:

1. analisi *AS-IS*: consiste nell'analizzare la gestione attuale del reparto, per evidenziarne i punti di forza, le mancanze e i possibili miglioramenti. In questa fase verranno presi in esame alcuni indicatori industriali, in particolare efficienza e *lead time*, verrà strutturato un database su cui applicare gli strumenti forniti dalla DFT e passate in rassegna tutte le lavorazioni con l'obiettivo di classificarle in famiglie di lavorazioni quanto più simili tra loro
2. applicazione degli strumenti DFT per identificare una prima bozza di layout ottimale: in questa seconda fase, partendo dal database precedentemente definito e dalla conoscenza delle lavorazioni e delle loro caratteristiche, verranno implementati gli strumenti DFT passati in rassegna nel capitolo 2, per ottenere un layout ottimale teorico
3. un terzo step consiste nell'applicare al layout ottimale teorico dei vincoli operativi legati a impianti, sicurezza, gestione del personale e altri ancora volti a limitare l'impatto che la realizzazione di questo layout possa avere sulla gestione del reparto, si ottiene così il layout *TO-BE*.

4.1 Struttura Database

In questa prima parte viene strutturato il database necessario a individuare gli output del reparto, i codici che hanno un maggior effetto su di essi e il loro andamento nel tempo. Il database in oggetto, estratto nell'Aprile 2018, sarà composto dai volumi versati nei sei mesi precedenti e dalle previsioni relative ai sei mesi successivi, in modo da comprendere in esso mix passato e futuro ed eventuali stagionalità. Per estrarre queste informazioni è stato necessario avvalersi di strumenti aziendali consolidati e attendibili, come reportistica istituzionale e varianti SAP. Il risultato è un database strutturato come in figura 4.2.

È importante sottolineare come in questa fase sia importante individuare una giusta granularità dell'informazione, poiché questi stessi dati verranno poi utilizzati in fase di *Demand at Capacity* per dimensionare il numero di macchinari necessari. La *Demand at Capacity* va infatti calcolata sul picco massimo di produttività richiesta ed acquisire dati con granularità giornaliera sarebbe decisamente conservativo e porterebbe ad un sovradimensionamento dei macchinari. Al contrario utilizzare un'informazione mensile porterebbe a mediare i dati e perdere preziosi picchi settimanali. Per questo motivo sono state acquisite informazioni con dettaglio settimanale, in linea con il sistema di reportistica, pianificazione e controllo adottato in azienda.

ITEM	WEEK	Quantity	Vers/Prv
200-4045-AC1	201808	24	Versato
200-0000000	201746	1.398	Versato
200-0000000	201815	800	Versato
200-0000000	201816	1.399	Versato
200-0000000	201817	599	Versato
200-0000000	201818	900	Previsione
200-0000000	201829	2243	Previsione
200-0000000	201831	500	Previsione
200-0000000	201836	250	Previsione
200-0000000	201837	250	Previsione
200-0000000	201744	666	Versato
200-0000000	201745	2.955	Versato
200-0000000	201746	102	Versato
200-0000000	201747	224	Versato
200-0000000	201815	32	Versato
200-0000000	201816	55	Versato
200-0000000	201818	125	Previsione
200-0000000	201819	100	Previsione
200-0000000	201820	104	Previsione
200-0000000	201823	100	Previsione
200-0000000	201830	200	Previsione
200-0000000	201831	100	Previsione
200-0000000	201744	54	Versato
200-0000000	201745	40	Versato

Figura 4.2: Struttura del database adottato

È stato inoltre molto importante filtrare le informazioni ottenute dalla reportistica per estrarre solamente i codici che effettivamente attraversano il reparto stamperia 2. Molti codici infatti possono passare direttamente dalla stamperia 1 alla stamperia di Agordo ed è perciò importante depurare il database di quella quota parte. Per fare questo è stato necessario incrociare il database con i cicli di lavoro di ciascun codice e con le lavorazioni presenti nel reparto stamperia 2. Volendo verificare l'attendibilità del database, sono stati confrontati i risultati ottenuti da diversi canali ed è stato graficato l'andamento della domanda nel tempo. L'andamento ottenuto è quello atteso in quanto è possibile apprezzare un picco prima della stagione estiva in corrispondenza della week 201818 e una lenta discesa man mano che ci si allontana dalla settimana in cui è stata effettuata

l'acquisizione delle informazioni, poiché il sistema di pianificazione componenti non lavora su una finestra temporale sufficientemente estesa.

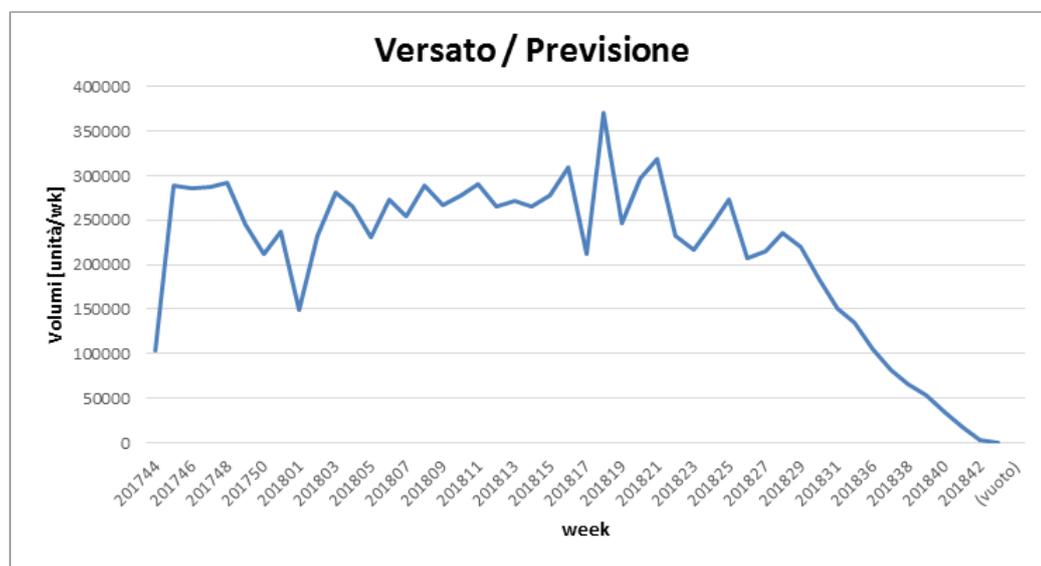


Figura 4.3: Andamento nel tempo di versato e previsione

4.2 Analisi di Pareto

Il database ottenuto contiene circa 800 P/N a cui corrispondono diversi volumi e cicli di lavoro, implementare quindi gli strumenti DFT su questo ampio campione risulterebbe estremamente oneroso e decisamente poco produttivo. Per semplificare lo studio delle lavorazioni e l'implementazione degli strumenti DFT è stata condotta quindi un'analisi di Pareto volta ad individuare i codici che hanno maggior impatto sui volumi prodotti dal reparto. Il principio di Pareto è un risultato di natura statistico-empirica che si riscontra in molti sistemi complessi dotati di una struttura di causa-effetto. Esso afferma che circa il 20% delle cause provoca l'80% degli effetti. Seppur esso sia un principio di natura puramente empirica e fornisca risultati qualitativi, trova grandi applicazioni nel complesso mondo della gestione della produzione. Nel nostro caso applicare questo principio significa andare alla ricerca del 20% dei codici che generano l'80% dei volumi. Proprio su quella quota parte verrà condotto il resto dello studio.

Per fare questo sono stati ordinati i codici in base a volumi versati e forecast, è stato valutato il loro impatto sui volumi totali annuali e sono stati considerati solo quei codici il cui peso sui volumi cumulato sia pari all'80%. Dal grafico in figura 4.5 si nota infatti che muovendosi verso destra l'impatto dei P/N sui volumi diminuisce sensibilmente. Perciò sarà lecito, una volta individuati i codici che generano l'80% dei volumi, trascurare i

rimanenti. È necessario ricordare che, in fase di *Demand at Capacity*, sarà necessario reintegrare la quota parte che è stata trascurata utilizzando questo strumento per evitare di sottodimensionare il numero di macchinari necessari. Sarà inoltre importante ricordare che quei codici esclusi dal Pareto, che saranno probabilmente *basso rotanti*, possono presentare cicli di lavoro anomali o comunque diversi da i codici in Pareto, per questo motivo sarà necessario tenerne conto nel momento in cui si va a definire il *fuori flusso*, ossia un gruppo ristretto di macchinari volti ad elaborare quei cicli di lavoro che non risulta opportuno comprendere nel layout DFT.

Il risultato è quello ottenuto in figura 4.4, di cui si riporta un plot relativo ai soli codici che generano il 50% dei volumi, per permetterne la lettura. Si può notare come, con l'adozione di questo semplice principio, è possibile implementare la metodologia DFT su 223 P/N piuttosto che su 800, compiendo un minimo errore che sarà possibile compensare con un opportuno *fuori flusso*.

Modello	Totale complessivo	Peso Percentuale	Peso CUM	80-20	Ranking
30LMB00000	240756	2,34%	2%	x	1
30N5500000	240297	2,34%	5%	x	2
30M7700000	230701	2,25%	7%	x	3
30M5000000	227913	2,22%	9%	x	4
30M8000000	182562	1,78%	11%	x	5
30M3000000	169807	1,65%	13%	x	6
30N5400000	145061	1,41%	14%	x	7
30M5000000	140834	1,37%	15%	x	8
30L3000000	140329	1,37%	17%	x	9
30N0000000	132184	1,29%	18%	x	10
30L2000000	125439	1,22%	19%	x	11
30M5000000	119880	1,17%	20%	x	12
30M0000000	114247	1,11%	22%	x	13
30L0000000	95015	0,93%	22%	x	14
30L2000000	88889	0,87%	23%	x	15
30M2500000	13090	0,13%	79%	x	215
30M7000000	13087	0,13%	79%	x	216
30M0000000	13036	0,13%	79%	x	217
30M7000000	12829	0,12%	79%	x	218
30M5000000	12829	0,12%	79%	x	219
30M7000000	12623	0,12%	80%	x	220
30M0000000	12598	0,12%	80%	x	221
30M7000000	12529	0,12%	80%	x	222
30M0000000	12403	0,12%	80%	x	223
30M0000000	12296	0,12%	80%		
30M0000000	12245	0,12%	80%		

Figura 4.4: Analisi di Pareto, risultato Excell, la x nella colonna 80/20 identifica i P/N in Pareto

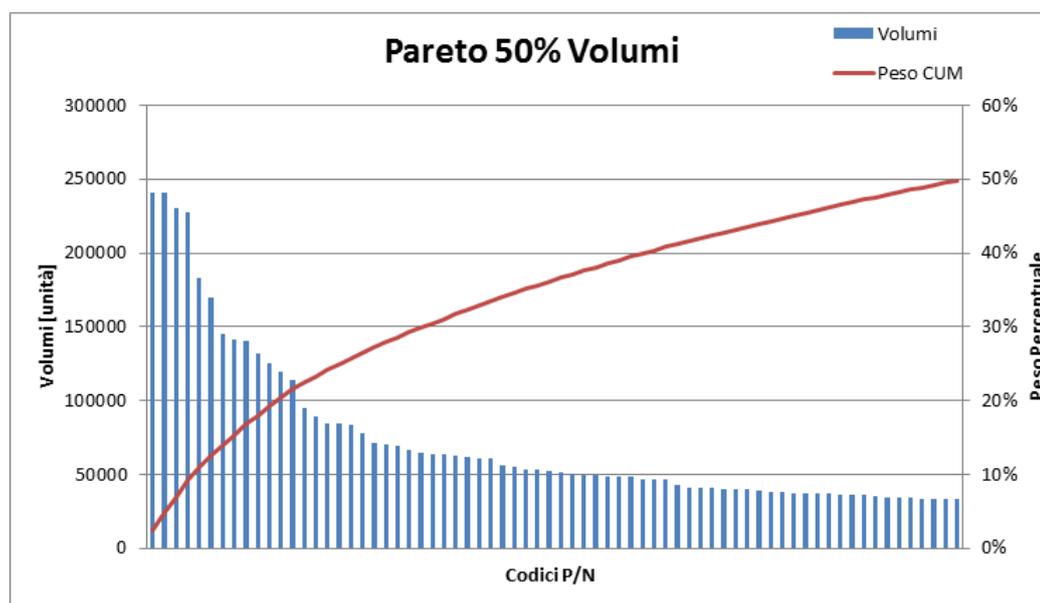


Figura 4.5: Analisi di Pareto, Plot del 50% dei volumi

	Totale	In Pareto	Risultato
Volumi analizzati	10,27 mln pz	8,2 mln pz	80%
P/N	823	223	27%

Tabella 4.1: Risultati Analisi di Pareto

4.3 Analisi Lavorazioni

Dopo aver individuato i codici che hanno maggior impatto sui volumi complessivi di reparto, ne sono stati passati in rassegna i cicli di lavoro, al fine di analizzarne le lavorazioni e raggrupparli in cluster, o famiglie. Un *cluster lavorazione* sarà quindi un gruppo di lavorazioni che possono essere realizzate sulla stessa postazione. Questa fase risulta essere cruciale per la definizione del layout ottimale di reparto, ed è necessario condurla manualmente poiché, i cicli di lavoro che vengono estratti da SAP o da reportistica istituzionale possono spesso risultare fuorvianti. Questo perché spesso alcune lavorazioni con nomenclature differenti possono essere realizzate su postazioni analoghe, o viceversa, alcuni processi apparentemente identici, possono essere condotti su macchinari diversi a seconda della tipologia di componente.

La fase di analisi delle lavorazioni è stata inoltre un'ottima occasione per raccogliere dettagli tecnici e gestionali su lavorazioni, processi e value stream e in alcuni casi, anche un'opportunità per individuare possibili miglioramenti.

All'atto pratico questa fase consiste nell'analizzare ogni P/N e il relativo ciclo di lavoro muovendosi all'interno del reparto e chiedendo supporto ad operatori, attrezzisti

capi reparto e movimentatori di lotti in maniera da comprendere al meglio la gestione dei flussi e il funzionamento delle lavorazioni e dei macchinari ad esse associate. Il risultato di questa attività è quindi stata una classificazione come nella figura 4.6 dove è possibile notare che nella prima colonna è indicata la denominazione della lavorazione come da cartellino di produzione, nella seconda colonna il cluster o postazione di riferimento e nella terza la sigla con cui ciascun cluster verrà indicato di seguito. Si ottengono perciò i Cluster Lavorazioni riportati in Figura 4.7, dove merita un particolare approfondimento il cluster *Banco Libero (BL)*. Durante questa fase di classificazione delle lavorazioni è infatti emerso che molte lavorazioni, per cui sono necessari piccoli macchinari dal semplice set up, possono essere condotti su qualsiasi banco libero predisposto con aria compressa e corrente elettrica. È stato quindi adottato questo cluster che comprende in esso tutte queste lavorazioni e che contribuisce a fornire un elevato grado di flessibilità del sistema.

Lavorazioni	Cluster Lavorazioni	Legenda
PUNTATURA PERNI X 2 AUTOMATICO	Puntatura Automatica	PA
PASSAGGIO IN FLUXAN	Fluxan	Flux
RICOTTURA CON SPIRALE	Saldatura	Sald
INTEST.ASTE/FRONTALIN(NORMALI)	Intestatura	Int
MENISCAT.2 BARRE-D.P.-ASTE(MA)	Banco Libero	BL
PIEGA/MENISCA HYDROPOWER	Piega Hydropower	P_HP
PUNT.PERNI X4 AUTOM.PICCOLE	Puntatura Automatica	PA
VITI SU GL X 1 TELAI CHIM CENCENIGHE	Banco Libero	BL
CARICO FM/GL/AM SU TELAIO	Carico/Scarico Telaio	CT
LAVAGGIO	Lavaggio	Lav
SGABBIATURA	Banco Libero	BL
SCARICO FM/GL/AM DA TELAIO	Carico/Scarico Telaio	CT
SATINATURA MANUALE	Satinatura Manuale	SM
PIEGA/MENISCA MANUALE	Banco Libero	BL
PUNTATURA BUSS.X 2 CREDE'	Puntatura Manuale	PM
SCARICO ASTE DA TELAIO (CENCE)	Carico/Scarico Telaio	CT
MENISC BARRE-D.P.ASTE(MA)CENCENIGHE	Banco Libero	BL
APPLICAZIONE CERA CENCENIGHE	Banco Libero	BL
PUNTATURA BUS. X 1 CREDE'	Puntatura Manuale	PM
PUNTATURA CR.SU MATER.FILO	Puntatura Manuale	PM
FILETTATURA FORI X 2	Banco Libero	BL
FILETTATURA FORI X 4	Banco Libero	BL
PUNTATURA SCAT.FLEX TIPO MICRA	Puntatura Manuale	PM
SALD CERNIERE A INDUZIONE	Saldatura	Sald
SAL.PORTA ALETTE SU PONTE	Saldatura	Sald
PUNTATURA PLACCHETTE O LOGO	Puntatura Manuale	PM
RIPRESA-SAL.BUSSOLE	Saldatura	Sald
RIPRESA SALDATURA CERNIERA	Saldatura	Sald
MONTAGGIO CAPSULE IN MANUALE	Banco Libero	BL
ASSEMBLAGGIO ASTA+FRONT CENCENIGHE	Assemblaggio AM+FM	BL
PUNTATURA PERNI X 2 CREDE'	Puntatura Manuale	PM

VITI SU GL X 2 TELAI CHIM	Banco Libero	BL
SATINATURA MANUALE FUORI ISOLA	Satinatura Manuale	SM
FARE PUNTA TERMINALE X 2 (STAMPERIA)	Banco Libero	BL
TRANCIATURA FORI	Tranciatura	TR
PUNTATURA PERNI X 4 CREDE'	Puntatura Manuale	PM
DIAMANTATURA FRONTALINI/ASTE	Fresatura	Fres
SVASATURA	Banco Libero	BL
PIEGA/MENISCA PNEUMATICA	Piega Pneumatica	PP
FORATURA SEDE IN ISO	Banco Libero	BL
FRESATURA PONTI(ACCOPIAMENTO)	Fresatura	Fres
REGISTRAZIONE VITE	Assemblaggio AM+FM Manuale	BL
CAR.F/GL/A TEL IN ISO	Carico/Scarico Telaio	CT
ASSEMBL. AUTOM. SCAT.FLEX+CR	Assemblaggio AM+FM automatico	Ass_Aut
SATINATUR CON ROTELLA GOMMA CENCENIGHE	Satinatura Manuale	SM
SALD PARTIC SU ASTE-GUARN	Saldatura	Sald

Figura 4.6: Classificazione lavorazioni in cluster

Legenda	Cluster
Ass_Aut	Assemblaggio AM+FM automatico
BL	Banco Libero
CT	Carico/Scarico Telaio
Flux	Fluxan
Fres	Fresatura
Int	Intestatura
Lav	Lavaggio
P_HP	Piega Hydropower
PA	Puntatura Automatica
PM	Puntatura Manuale
PP	Piega Pneumatica
Sald	Saldatura
SM	Satinatura Manuale
TR	Tranciatura

Figura 4.7: Legenda cluster lavorazioni

Si noti che l'adozione del cluster *Banco Libero* comporterà particolari accortezze in fase di *Demand at Capacity*: si andrà a dimensionare infatti il numero di banchi liberi necessari, considerando valido il numero di macchinari specifici attualmente disponibili. Volendo dimensionare il numero di macchinari specifici sarà necessario entrare nel dettaglio di capacità per ciascuno di essi. Le lavorazioni che il cluster *Banco Libero* comprende sono: foratura/svasatura, meniscatura manuale, ribattitura, avvitatura, punta terminale, applicazione cera e tranciatura specifica.

Meritano una nota i cluster *Fresatura* e *Intestatura*: il primo si riferisce alla fresatura di diamantatura volta a ricavare sedi su ponti per l'accoppiamento di questi con frontali e cerchi, mentre la seconda si riferisce all'operazione di intestatura di finitura delle aste, volta ad asportare la parte terminale dell'asta che va ad accoppiarsi con il frontale, per permettere il rispetto delle tolleranze geometriche e dimensionali. Queste due lavorazioni potrebbero teoricamente essere realizzate su uno stesso macchinario a controllo numerico, ma vengono attualmente condotte su diversi macchinari ed è perciò necessario distinguerle. Inoltre il cluster *Carico/Scarico Telaio* si riferisce alla predisposizione dei componenti su opportuni telai per le operazioni di lavaggio o per le linee di galvanica, queste due operazioni possono essere condotte in un'unica postazione apposita e vengono perciò raggruppate. I cluster *Puntatura Automatica* e *Puntatura Manuale* comprendono tutte le operazioni di saldatura per scarica capacitiva, ma mentre le lavorazioni in automatico vengono adottate per saldare perni e bussole su piccole componenti (solitamente alto rotanti), la puntatura manuale viene adottata per componenti che richiedono maggior flessibilità e spesso per saldare, oltre che perni o bussole, degli abbellitori o delle decorazioni. La saldatura a induzione infine è una lavorazione che vede una gran varietà di componenti; spesso viene realizzata in automatico con degli appositi dispositivi che avvicinano il materiale di apporto alla fonte di calore, in altri casi in manuale con l'operatore che fornisce il materiale di apporto in opportuna misura. In entrambi i casi è richiesto il caricamento manuale dei pezzi su posaggi sagomati. Il macchinario è il medesimo e richiede un set-up semplice e rapido, perciò tutte le operazioni di saldatura in automatico e in manuale sono state raggruppate sotto lo stesso cluster.

4.4 Gestione attuale reparto

Note quindi le lavorazioni e i loro raggruppamenti logici, è stato possibile procedere con un'analisi strutturata della gestione AS-IS del reparto in analisi: esso, come già è stato anticipato, è organizzato in celle di produzione, dette *isole*, realizzate in maniera che in ciascuna di esse sia possibile elaborare l'intero ciclo di lavoro di un P/N. Ogni cella contiene circa 14 postazioni manuali, che possono essere attrezzate in base al mix produttivo che quella cella si trova ad elaborare. Durante il ciclo di lavoro che si sviluppa all'interno della cella è possibile che il lotto sia costretto ad uscire dal flusso per recarsi a lavaggi, pulitura o fluxan (antiossidante che viene applicato prima della saldatura a induzione); la movimentazione dei lotti è affidata ad un gruppo di operatori (detti *capi isola*), ognuno dei quali gestisce un totale di 3 isole e del personale al loro interno.

Non sarà possibile riportare qui di seguito tutte le considerazioni fatte per tutte le famiglie di codici analizzate, ma si procede con il riportare un esempio di come viene

gestita la cella di produzione H6 in cui vengono elaborati due codici alto rotanti i cui cicli e i relativi cluster lavorazioni sono riportati qui di seguito.

Operazione	Cluster Lavorazione	Tempo Ciclo	Unità
PASSAGGIO IN FLUXAN	Fluxan	0,000	
RICOTTURA CON SPIRALE	Saldatura	0,250	MIN
SALD CERNIERE A INDUZIONE	Saldatura	0,540	MIN
LAVAGGIO	Lavaggio	0,010	MIN
INTEST.ASTE/FONTALIN(NORMALI)	Intestatura	0,240	MIN
CARICO FM/GL/AM SU TELAIO	Carico/Scarico Telaio	0,100	MIN
LAVAGGIO	Lavaggio	0,010	MIN
SGABBIATURA	Carico/Scarico Telaio	0,030	MIN
MENISCAT.2 BARRE-D.P.-ASTE(MA)	Banco Libero	0,170	MIN

Figura 4.8: Ciclo di lavorazione dell'asta 2AMxxxxxx

Operazione	Cluster Lavorazione	Tempo Ciclo	Unità
PASSAGGIO IN FLUXAN	Fluxan	0,000	
SALD CERNIERE A INDUZIONE	Saldatura	0,630	MIN
CARICO FM/GL/AM SU TELAIO	Carico/Scarico Telaio	0,100	MIN
LAVAGGIO	Lavaggio	0,010	MIN
SCARICO FM/GL/AM DA TELAI	Carico/Scarico Telaio	0,030	MIN
FRESATURA X INTEST.FRONT.BARRA	Intestatura	0,250	MIN
CARICO FM/GL/AM SU TELAIO	Carico/Scarico Telaio	0,100	MIN
LAVAGGIO	Lavaggio	0,010	MIN
SCARICO FM/GL/AM DA TELAI	Carico/Scarico Telaio	0,030	MIN
PIEGA/MENISCA HYDROPOWER	Piega Hydropower	0,210	MIN
PIEGA/MENISCA HYDROPOWER	Piega Hydropower	0,180	MIN
PIEGA/MENISCA MANUALE	Banco Libero	0,140	MIN

Figura 4.9: Ciclo di lavorazione del frontale (o barra) 2BMxxxxxx

Trascurando quindi le lavorazioni che vengono effettuate nel reparto di pulitura adiacente alla stamperia 2, come passaggi in fluxan, carico e scarico telai e lavaggi, si ottengono i flussi riportati in figura 4.10 in cui si può notare come il ciclo di lavoro viene completamente esaurito all'interno della cella, senza dover richiedere macchinari di altre celle adiacenti. Questo rappresenta quindi un ottimo esempio di gestione dei lotti all'interno di una cella, e i risultati si possono apprezzare nella tabella 4.2.

Nella tabella 4.2 la produttività è stata ricavata andando ad analizzare il tempo ciclo efficientato dell'operazione di saldatura, che risulta essere la più lenta all'interno del ciclo di lavoro e perciò impone il takt time al flusso complessivo. Inoltre è interessante notare come la produttività del frontale sia maggiore rispetto a quella dell'asta nonostante quest'ultima abbia un tempo ciclo più ridotto. Questo può essere ricondotto al

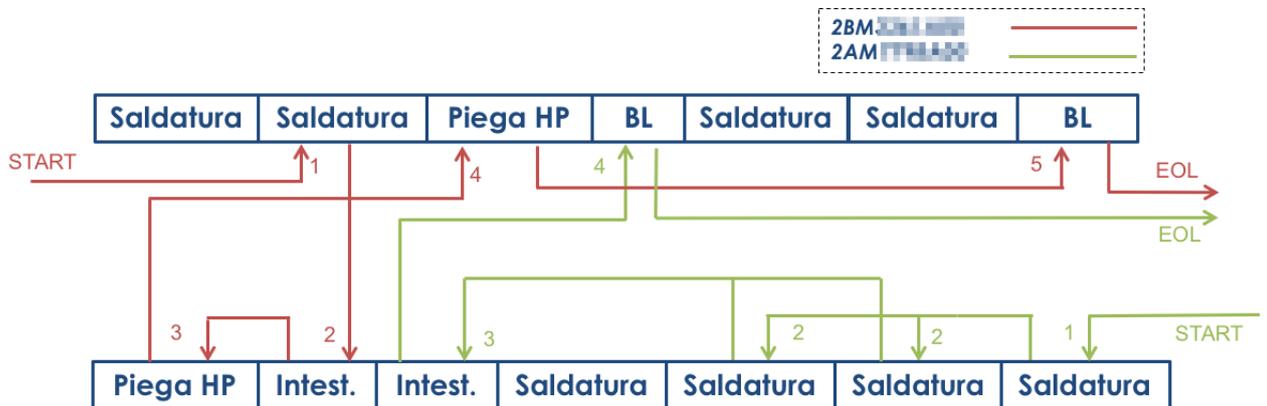


Figura 4.10: Gestione dei flussi all'interno dell'isola H6

	2BMxxxxxx	2AMxxxxxx
Tempo Ciclo	1,40 min	1,21 min
Peso sul volume totale	2,25%	2,22%
Produttività	950 unità/turno	900 unità/turno
Lead time medio	2,3 gg	2,4 gg

Tabella 4.2: Risultati analisi flussi isola H6

fatto che le aste, essendo prodotte in paia piuttosto che in pezzi singoli, richiedono un'attività di handling più complessa rispetto a quella dei frontali, portando in definitiva ad un aumento dei tempi di attraversamento dei lotti, che rimangono comunque ben al di sotto del target prefissato di 3 giorni.

Dal risultato presentato si può notare come il layout per celle di produzione sia particolarmente efficace (lead time ridotti ed elevata produttività) anche nel momento in cui si vanno ad elaborare codici complessi con tempi cicli e volumi elevati. Proprio per questo motivo Luxottica scelse di adottare la soluzione a celle di produzione per questo determinato reparto. Oggi però, trovandosi a dover affrontare un mix produttivo decisamente più complesso, frammentato e stagionale, il layout a celle di produzione risulta essere poco flessibile e incapace di elaborare una complessità troppo elevata. Questo emerge anche dai dati relativi ai lead time di alcune famiglie di componenti estratti dalla reportistica istituzionale. Seppur infatti la pianificazione suggerisca 3 giorni di lead time nel reparto stamperia 2 per soddisfare le richieste di componenti, la famiglia L265, che rappresenta circa il 30% dei volumi del reparto, supera costantemente quel target con lead time di 3,5/4 giorni. Questo perché molti codici appartenenti a questa famiglia tendono ad avere cicli di lavoro che non riescono ad essere elaborati interamente all'interno di un'unica cella di produzione e si troveranno quindi ad effettuare uno scomodo zig-zag tra le varie celle generando un aumento di lead time per quei codici specifici, una forte

complicazione della movimentazione dei lotti, e un incostante e imprevedibile WIP.

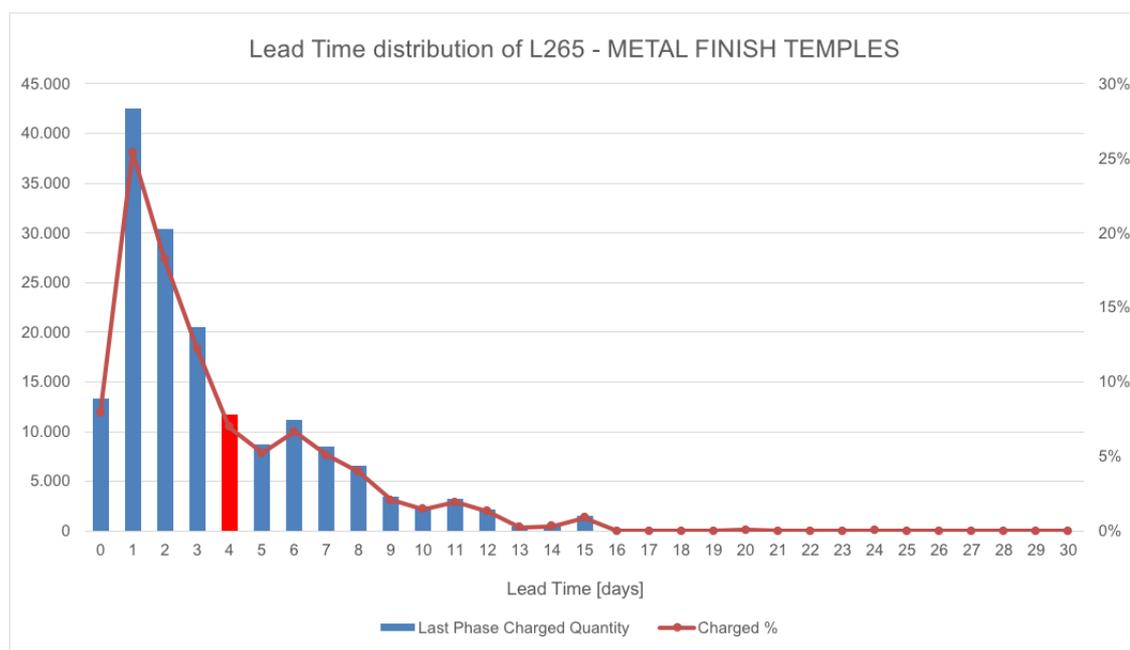


Figura 4.11: Distribuzione dei lead time per la famiglia L265 (aste in metallo)

Time fence	5 week
Target	3 gg
Lead time medio	3,5 gg
Volumi su avg +- 3 gg	80%

Tabella 4.3: Risultati analisi lead time per la famiglia L265

Dalla figura 4.11 si può notare come la distribuzione dei lead time sia decisamente decentrata e presenti una forte coda per alti valori dei tempi di attraversamento. L'obiettivo dell'implementazione della metodologia DFT sta proprio nel portare ad una riduzione dei volumi che presentano lead time superiori ai 3 giorni con l'adozione di un migliore layout dove i lotti attraverseranno una matrice di macchinari procedendo in un'unica direzione.

Nei prossimi paragrafi verranno applicati quindi gli strumenti tipici della metodologia DFT al fine di individuare un layout ottimale di reparto.

4.5 Mixed Model Product Synchronization

Alla luce dell'esperienza che altri stabilimenti Luxottica hanno avuto in passato, per la definizione delle *Product Synchronization* è stata adottata una metodologia inversa che

parte dalla *Mixed Model Product Synch (MMPS)*, passa per la definizione di alcune macroaree (che chiameremo *mondi*) e giunge poi alla determinazione delle *Sync*. Per fare ciò sono stati passati in rassegna tutti i P/N emersi dall'analisi di Pareto, analizzati i loro cicli di lavoro e le lavorazioni che vengono realizzate in quel reparto, ed infine, tramite un processo iterativo, i cluster lavorazioni sono stati combinati in un unico diagramma di flusso. In questa fase il processo di iterazione è fondamentale per individuare una disposizione ottimale dei cluster capace di elaborare qualsiasi P/N e di permettere l'avanzamento dei lotti in un'unica direzione. Man mano che si andrà a formare la *MMPS* si noterà che alcune lavorazioni poco ricorrenti risulteranno scomode da accomodare all'interno della mappa e verranno perciò escluse da essa generando automaticamente l'esclusione dei P/N che presentano quelle lavorazioni all'interno del loro ciclo di lavoro. Così si verrà a creare il fuori flusso, le lavorazioni e i codici che lo compongono. Gli output della *Mixed Model Product Synchronization* saranno:

1. Disposizione ottimale cluster lavorazioni
2. P/N fuori flusso e lavorazioni opzionali
3. Macroaree (*Mondi*) e *Product Sync (PS)*
4. Disposizione dei buffer.

Partendo dalla tabella di figura 4.12 si riporta qui di seguito un esempio di come è stato condotto il processo iterativo, in cui sono state trascurate tutte le lavorazioni che non vengono realizzate all'interno del reparto stamperia 2, come lavaggi e carico/scarico telaio, anche se esse sono richieste dal cartellino di produzione.

Nella tabella di figura 4.12 sono riportati alcuni dei codici che hanno maggiore impatto sui volumi, con il relativo numero identificativo che è stato utilizzato nello *spaghetti chart* delle figure 4.13, 4.14 e 4.15 e il relativo ciclo di lavoro riscritto in termini di cluster. Quel ciclo di lavoro dovrà essere accomodato all'interno del *MMPS*.

L'iterazione, da condurre manualmente, consiste quindi nel posizionare su di un foglio le lavorazioni che richiedono i primi codici (figura 4.13), valutare se quella sequenza di cluster è capace di elaborare anche i codici successivi ed eventualmente aggiungere le lavorazioni necessarie (figura 4.14). Si raggiungerà un punto in cui sarà necessario modificare la sequenza di cluster come in figura 4.15, la ripetizione di cluster lungo il flusso in diverse posizioni non risulta essere un problema, ma è proprio il punto di forza di questa metodologia.

Nei codici riportati nell'esempio è stato lasciato da parte il cluster *Puntatura Automatica (PA)*, poiché solitamente i codici che effettuano questa lavorazione non ne richiedono altre all'interno del reparto Stamperia 2 e perciò non è necessario integrare

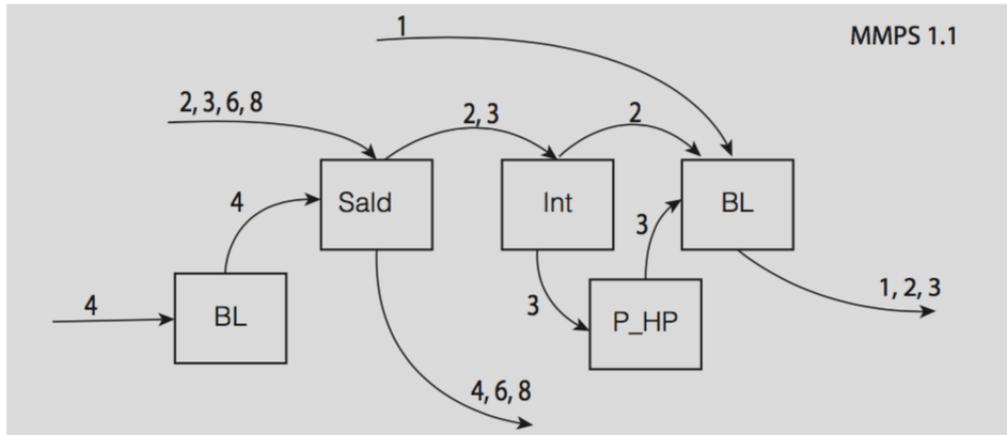


Figura 4.14: Creazione della *MMPS*, iterazione 2, legenda in figura 4.16

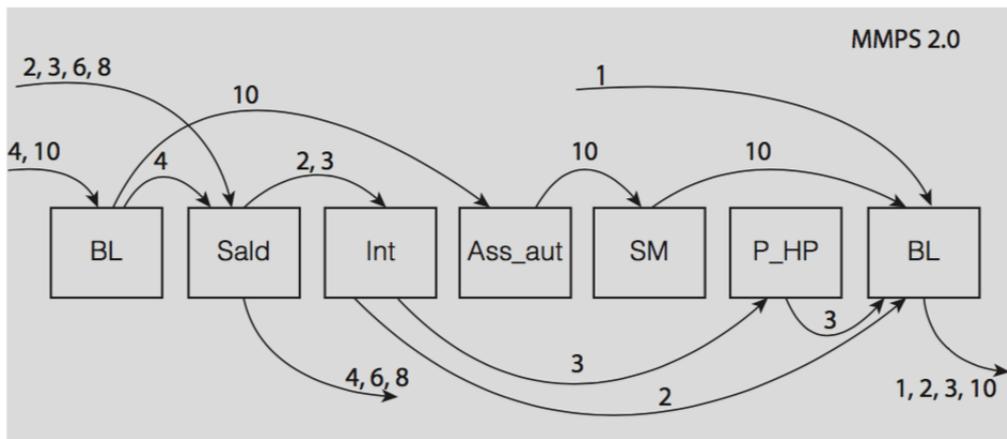


Figura 4.15: Creazione della *MMPS*, iterazione 3, legenda in figura 4.16

divisione in macroaree è anche l'occasione per definire i principali buffer di disaccoppiamento: proprio lungo il confine tra due *mondi* adiacenti verranno infatti posizionati i buffer con maggiore capacità. Il buonsenso suggerisce quindi di posizionare il disaccoppiamento a monte dei cluster che si trovano ad avere flussi in ingresso maggiori o in corrispondenza delle lavorazioni più lente. Nel caso dell'esempio riportato in figura 4.15, il disaccoppiamento avverrà a monte del cluster saldatura. Un altro criterio per identificare il punto in cui effettuare il disaccoppiamento tra due *mondi* adiacenti è quello del bilanciamento delle macroaree: per ottenere infatti delle macroaree omogenee, bilanciate e di semplice gestione sarà necessario che ognuna di esse abbia un numero limitato di lavorazioni, e di conseguenza un numero di *product sync* semplice da gestire, e che essa elabori un volume di P/N equilibrato e quanto più possibilmente confrontabile a quello delle altre macroaree.

Non è stato ritenuto opportuno riportare la mappa completa contenente tutti i flussi,

poiché di poca utilità al fine di illustrare la logica di questo processo. Il risultato ottenuto dopo numerose iterazioni è quello in figura 4.16, dove oltre che alla disposizione dei cluster lavorazioni è possibile notare la suddivisione in quattro *mondi* tra loro confrontabili per numero di cluster coinvolti, P/N elaborabili e numero di *sync*.

Mondo 1: 4 lavorazioni, 7 sync, 99 P/N



Mondo 2: 4 lavorazioni, 12 sync, 105 P/N



Mondo 3: 4 Lavorazioni, 10 sync, 73 P/N



Mondo 4: 4 Lavorazioni, 9 sync, 54 P/N



BL: Banco Libero

Int: Fresatura di Intestatura

PM: Puntatura Manuale

SM: Satinatura Manuale

Fres: Fresatura di Diamantatura

TR: Tranciatura fori

Ass_aut: Assemblaggio autom. AM+FM

P_HP: Piegia/Men Hydropoer

Sald: Saldatura

Figura 4.16: Risultato della *MMPS* e macroaree relative

4.6 Definizione delle Product Synchronization

Nel paragrafo precedente è stata identificata una configurazione dei cluster lavorazione lungo il reparto e le 4 macroaree lungo le quali strutturare le *Product Synchronization*. A questo punto è stato necessario andare ad analizzare le varie combinazioni di lavorazioni all'interno di ciascuna macroarea per permetterne l'attraversamento a tutti i P/N coinvolti. Ricordiamo che una *Product sync* è un raggruppamento logico di attività a valore aggiunto per un insieme comune di prodotti.

Prima di procedere con l'analisi è bene precisare il significato delle *Product Sync* tramite un esempio: si considerino 3 componenti X, Y e Z e 3 cluster lavorazioni A, B e C all'interno di una macroarea. Qualora i 3 codici richiedano le stesse lavorazioni nella stessa sequenza, ad esempio A-B-C, allora essi faranno riferimento alla stessa sincronizzazione, che chiameremo *sync 1*. Se invece i tre codici presentassero diverse lavorazioni

in sequenze diverse, come in figura 4.17 allora faranno riferimento a sincronizzazioni diverse. Di conseguenza, due prodotti che necessitano anche una sola diversa lavorazione all'interno della macroarea di riferimento, determineranno diverse sequenze e perciò due diverse *PS*.

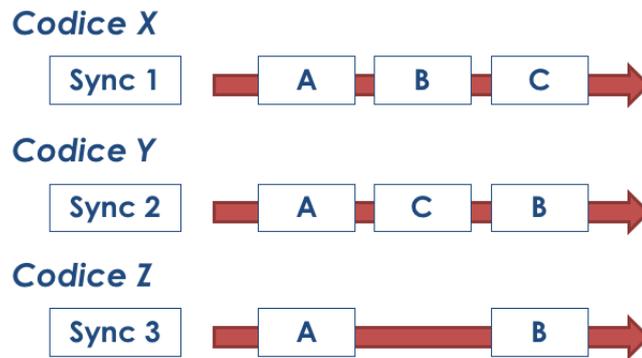


Figura 4.17: Esempio di *PS* per tre cicli di lavoro differenti

Questa attività è stata svolta, nel caso in esame, all'interno delle singole macroaree, andando a ricercare i flussi in comune in un ambiente circoscritto a poche lavorazioni. Se si fosse scelto di mappare il flusso lungo tutto il reparto, data la forte variabilità di mix e lavorazioni, il risultato sarebbe un numero estremamente elevato di combinazioni possibili che avrebbe portato ad un livello di complessità estremamente elevato. Inoltre vedremo che il vero interesse della *PS* è limitato all'ambito della macroarea, poiché sarà lo strumento chiave per la gestione del ritmo produttivo all'interno della stessa.

Per la definizione di *Product Sync* appena fornita, si verrà quindi a creare un legame univoco tra queste e i prodotti: non esisteranno, all'interno di una macroarea, componenti con più di una *PS* di riferimento, perciò esisterà una e una sola *PS* associata ad ogni componente all'interno della stessa macroarea.

L'assegnazione dei componenti alle relative *PS* avverrà quindi in maniera indipendente all'interno di ogni macroarea: nel momento in cui il P/N verrà introdotto all'interno di una macroarea, in funzione delle lavorazioni richieste dal cartellino di produzione, ad esso verrà assegnato un percorso, identificato da una *PS*. Man mano che il P/N procede lungo il reparto, verrà replicata la stessa logica all'interno delle macroaree in cui il componente necessita di essere lavorato. In questo modo, al singolo componente verrà associata una serie di percorsi di lavorazioni da intraprendere nelle varie macroaree che compongono il reparto, tali da garantire la trasformazione tecnologica richiesta.

Qui di seguito si riporta l'insieme delle *Product Sync* associate ad un componente lungo le quattro macroaree. La sync 0 all'interno di un *mondo* identifica il fatto che quel componente non richiede alcuna lavorazione all'interno di quella macroarea.

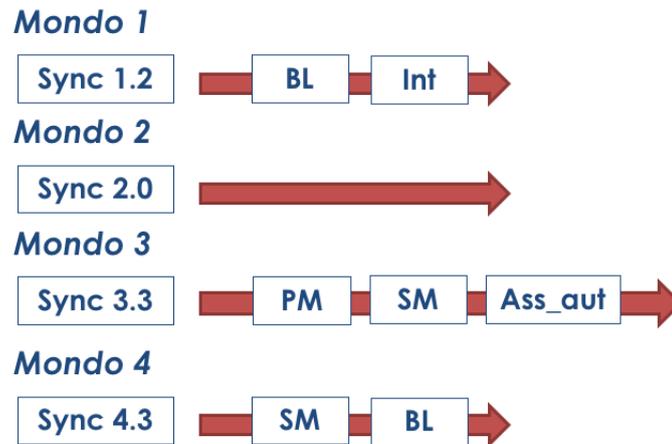


Figura 4.18: Sync dell'asta 2AMxxxxxx attraverso le quattro macroaree, ciclo di lavoro in figura 4.12, legenda in figura 4.16

Per identificare le *Product Sync* all'interno di ogni macroarea sono stati quindi passati in rassegna i cicli di lavoro dei P/N estratti dall'analisi di Pareto e, in base a questi, è stata creata un'opportuna *PS* in grado di elaborare parte di quel ciclo di lavoro in quella specifica macroarea. Dopodichè è stata registrata in un foglio excell, a fianco del P/N, la *PS* relativa. Procedendo con questa logica si verranno a creare tutte le *PS* necessarie ad elaborare i P/N in Pareto ed emergeranno tutti i P/N dedicati al fuori flusso e le motivazioni per cui essi vengono escluse dall'analisi. Al termine di questa fase si otterrà quindi un database contenente P/N, *PS* e i relativi cicli di lavoro come nella tabella di figura 4.19, dove in ciascuna colonna relativa ai 4 mondi sono riportate le *sync* relative a ciascuna macroarea e nell'ultima colonna la *sync* ottenuta riportando in sequenza le 4 sincronizzazioni dei 4 mondi. Si fa notare che nell'ultima colonna il doppio trattino — tra i cluster rappresenta un disaccoppiamento (o buffer).

Nel caso in cui un codice non potrà essere elaborato in nessuna delle macroaree è stata riportata la voce *out* nelle colonne relative ai quattro mondi e una breve descrizione della causa che ne genera l'esclusione. La voce *solo PA* nella colonna *Sync* indica quindi che quei codici sono stati esclusi unicamente perché nel loro ciclo di lavoro presentano solo la lavorazione di puntatura automatica da realizzare nel reparto stamperia 2, è stato ritenuto opportuno mettere in evidenza questi codici poiché la loro esclusione di fatto non genera alcuna complicazione nella gestione dei flussi, in quanto i relativi lotti non dovranno muoversi attraverso il reparto, ma dovranno solamente raggiungere la postazione di puntatura automatica. Altri codici saranno invece contrassegnati dalla voce *fuori flusso* che verrà analizzata nei prossimi paragrafi.

Incrociando quindi questo database con i dati provenienti dall'analisi di Pareto (strut-

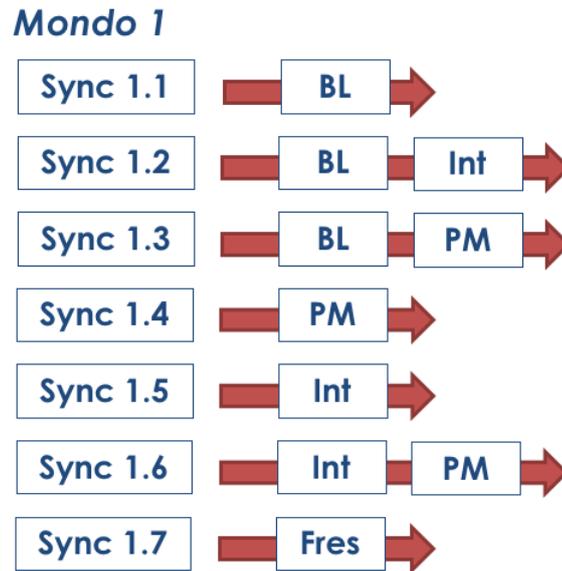
Ranking	Modello	Mondo 1	Mondo 2	Mondo 3	Mondo 4	Sync
1	[BL-INT-PA]	out	out	out	out	solo PA
2	[BL-INT-PA]	1.1	2.0	3.0	4.0	BL--
3	[SALD-INT-BL]	1.0	2.12	3.7	4.6	Sald--Int--BL
4	[SALD-INT-P_HP-BL]	1.0	2.12	3.7	4.2	Sald--Int--P_HP-BL
5	[BL-ASS_AUT-SM-BL]	1.0	2.8	3.8	4.3	BL--Ass_aut--SM-BL
6	[BL-SALD--]	1.1	2.12	3.0	4.0	BL--Sald--
7	[SALD--]	1.0	2.12	3.0	4.0	Sald--
8	[SALD--]	1.0	2.12	3.0	4.0	Sald--
9	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
10	[SALD--]	1.0	2.12	3.0	4.0	Sald--
11	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
12	[SALD-P_HP]	1.0	2.12	3.0	4.1	Sald--P_HP
13	[BL-INT-PM-SM-ASS_AUT-SM-BL]	1.2	2.0	3.3	4.3	BL-Int--PM-SM-Ass_Aut--SM-BL
14	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
15	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
16	[BL-INT--]	1.2	2.0	3.0	4.0	BL-Int--
17	[SALD--]	1.0	2.12	3.0	4.0	Sald--
18	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
19	[BL--]	1.1	2.0	3.0	4.0	BL--
20	[SALD--]	out	out	out	out	solo PA
21	[PM--SALD-BL-PM-SM--]	1.4	2.6	3.2	4.0	PM--Sald-BL--PM-SM--
22	[BL-SM-BL-PM--BL]	1.1	2.4	3.1	4.6	BL--SM-BL--PM--BL
23	[PM-INT-ASS_AUT--]	1.0	2.0	3.4	4.0	PM-Int-Ass_aut--

Figura 4.19: Parte del database contenente le *sync* e cicli di lavoro associati a ciascun P/N, legenda in figura 4.16

turati come in figura 4.4) e riportandoli in un'opportuna tabella pivot, è stato possibile condurre un'analisi dettagliata su ciascuna macroarea volta a comprendere l'impatto che ogni *sync* ha sui volumi complessivi e quanti P/N si andranno ad elaborare in ciascun mondo e *sync*. Il risultato è quello riportato nelle seguenti figure.

Nel caso del *mondo 1* le *sync* con maggior peso risultano essere la *1.4*, *1.2* e *1.1* corrispondenti ai cluster *Banco Libero* e *Puntatura Manuale* e al flusso, fortemente ricorrente *Banco Libero - Intestatura*. L'ultima colonna della tabella di figura 4.21 riporta il peso che quelle *sync* hanno sui volumi complessivi elaborati nel reparto nell'arco temporale di un anno. Perciò per le tre *sync* enumerate in precedenza passano quasi il 30% dei volumi complessivi del reparto. Si nota invece che i codici che vengono sottoposti a fresatura di diamantatura (*sync 1.7*) risultano decisamente pochi e con poco impatto sui volumi complessivi, ma visto che l'operazione di fresatura alimenta le saldatrici che troveremo nel *mondo 2*, è stata mantenuta questa *sync* poichè facilmente integrabile con il resto dell'architettura.

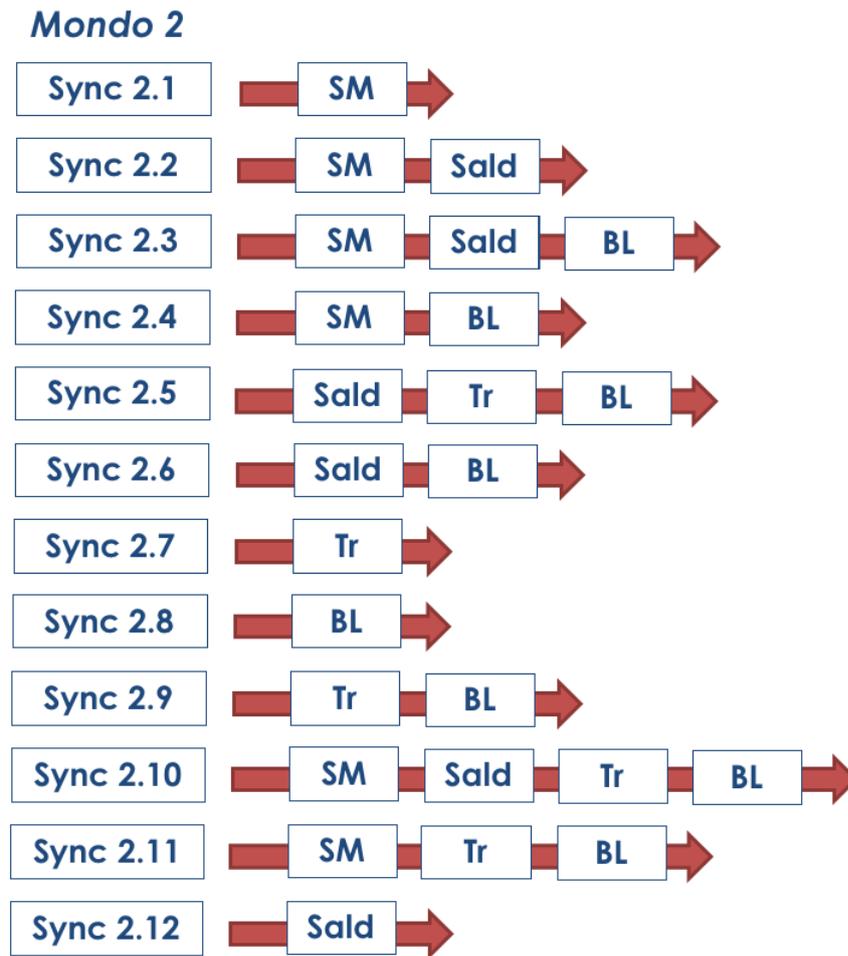
All'interno del *mondo 2* emerge invece che la lavorazione con maggior peso è la saldatura, per cui passano il 63% dei P/N che entrano in questa macroarea e che cumula circa il 26% dei volumi complessivi del reparto: la saldatura rappresenta il cluster

Figura 4.20: *Product Synchronization* all'interno del mondo 1

Sync	numero P/N	Percentuale P/N	Volume Totale (unità)	Peso sul Volume di Reparto
1.1	26	26%	1191717	11,60%
1.2	16	16%	719312	7,00%
1.3	5	5%	135154	1,32%
1.4	37	37%	897540	8,74%
1.5	5	5%	101904	0,99%
1.6	6	6%	152676	1,49%
1.7	4	4%	88649	0,86%
Totale	99	100%	3286952	32,00%

Figura 4.21: Analisi delle *Product Synchronization* all'interno del mondo 1

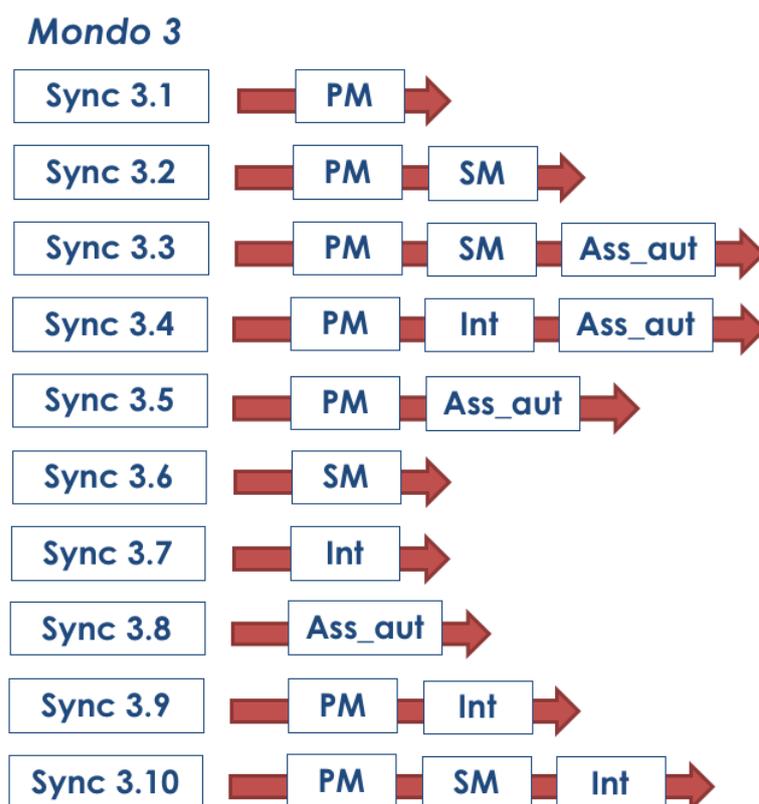
con maggior peso nel sistema in analisi e per questo motivo è stato ritenuto opportuno concentrare la maggior parte delle saldatrici all'interno di questa macroarea creando un'isola di saldatura semplice da gestire, ma allo stesso tempo integrata con il resto dei flussi di reparto. In questa macroarea è inoltre interessante il ruolo del cluster *Tranciatura (TR)*: la presenza della lavorazione di tranciatura porta infatti alla necessità di 5 sync che cumulano ben pochi volumi, circa il 4% totale, corrispondenti a 15 P/N. Senza questa lavorazione il *mondo 2* risulterebbe decisamente più snello, intaccando però la flessibilità del reparto. La scelta è ricaduta a favore della flessibilità, avvalorata anche dalla necessità di mantenere il fuori flusso quanto più ridotto e semplice da gestire. Sarebbe stato inoltre possibile eliminare le sync 2.10 e 2.11 per cui passano solo 2 P/N, ma questo avrebbe portato ad una mera semplificazione formale e non operativa, poichè quei macchinari necessari alla tranciatura sarebbero comunque necessari all'interno di questa macroarea per poter realizzare le sync rimanenti.

Figura 4.22: *Product Synchronization* all'interno del mondo 2

Sync	numero P/N	Percentuale P/N	Volume Totale (unità)	Peso sul Volume di Reparto
2.1	21	20%	430320	4,19%
2.10	1	1%	22652	0,22%
2.11	1	1%	22125	0,22%
2.12	37	35%	1964257	19,13%
2.2	4	4%	81002	0,79%
2.3	2	2%	85872	0,84%
2.4	2	2%	130531	1,27%
2.5	8	8%	187957	1,83%
2.6	14	13%	370485	3,61%
2.7	1	1%	48803	0,48%
2.8	10	10%	472065	4,60%
2.9	4	4%	97151	0,95%
Totale	105	100%	3913220	38,10%

Figura 4.23: Analisi delle *Product Synchronization* all'interno del mondo 2

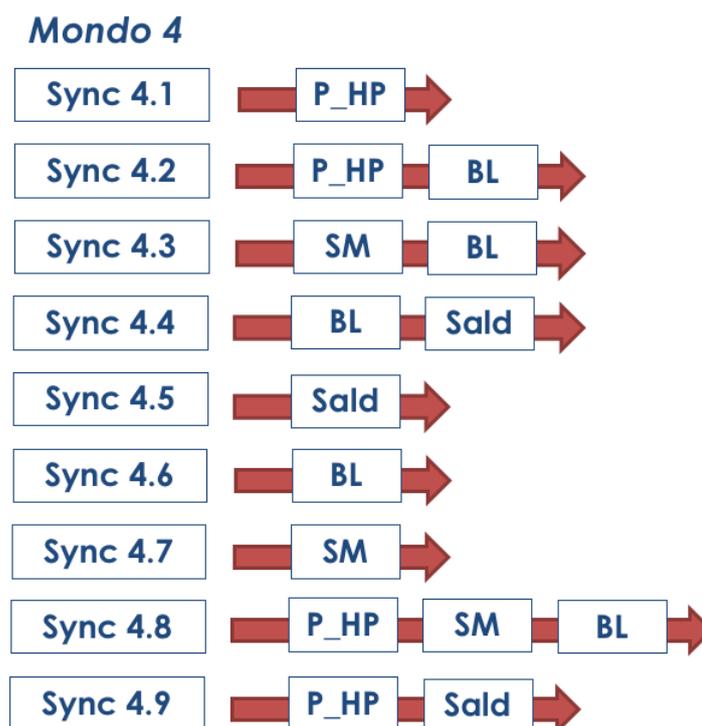
I mondi 3 e 4 risultano invece decisamente più frammentati: si può notare infatti come entrambi siano composti da molte sync con pesi sui volumi relativamente ridotti.

Figura 4.24: *Product Synchronization* all'interno del mondo 3

Sync	numero P/N	Percentuale P/N	Volume Totale (unità)	Peso sul Volume di Reparto
3.1	10	14%	347368	3,38%
3.10	5	7%	102033	0,99%
3.2	7	10%	189314	1,84%
3.3	3	4%	175074	1,70%
3.4	2	3%	81073	0,79%
3.5	5	7%	103004	1,00%
3.6	10	14%	234731	2,29%
3.7	6	8%	604382	5,88%
3.8	23	32%	812427	7,91%
3.9	2	3%	71415	0,70%
Totale	73	100%	2720821	26,49%

Figura 4.25: Analisi delle *Product Synchronization* all'interno del mondo 3

Questo perché contengono flussi meno ricorrenti, ma che sono stati comunque inseriti per assorbire tutti quei codici che presentano cicli di lavoro più complessi, articolati ed anomali. All'interno del *mondo 3* hanno particolare rilevanza i cluster *Assemblaggio Automatico (Ass_Aut)* e *Satinatura Manuale (SM)*. Il primo crea la necessità di 4 sync con un peso totale dell'11,4%, anche il secondo richiede 4 sync, con un peso leggermente più ridotto di circa il 7% dei volumi totali, dovuto al fatto che la lavorazione di

Figura 4.26: *Product Synchronization* all'interno del mondo 4

Sync	numero P/N	Percentuale P/N	Volume Totale (unità)	Peso sul Volume di Reparto
4.1	8	15%	249716	2,43%
4.2	2	4%	252335	2,46%
4.3	5	9%	428550	4,17%
4.5	2	4%	47206	0,46%
4.6	30	56%	1121915	10,92%
4.7	3	6%	80621	0,78%
4.8	3	6%	58155	0,57%
4.9	1	2%	19953	0,19%
Totale	54	100%	2258451	21,99%

Figura 4.27: Analisi delle *Product Synchronization* all'interno del mondo 4

satatura manuale, molto ricorrente nel reparto, è ampiamente distribuita tra le ultime tre macroaree.

Analogamente il *mondo 4* risulta molto frammentato e composto da poche sync con impatti sui volumi ridotti, salvo la sync 4.6 per cui passano circa il 10% dei volumi di reparto. In questa ultima macroarea il cluster *Piega Hydropower (P_HP)* richiede 4 sync attraversate da un totale di 14 P/N. La necessità di posizionare la lavorazione di piega idraulica in corrispondenza del *mondo 4* deriva dal fatto che questa viene solitamente realizzata su componenti già saldati o puntati e provenienti quindi dalle macroaree precedenti. Si noti che la sync 4.4 non compare nella figura 4.27 poichè nessun P/N at-

traversa quella sync, questo significa che quella sync non richiederà in fase di demand at capacity alcun macchinario specifico, ma si è scelto di mantenerla nel caso in cui questa fosse utile dal punto di vista gestionale per elaborare anche una piccola parte di codici.

4.7 Il fuori flusso

Come già anticipato nel paragrafo precedente, durante la definizione delle *Product Sync* emergono delle lavorazioni e dei flussi difficilmente integrabili all'interno delle macroaree, perciò quelle lavorazioni, e di conseguenza tutti i P/N che le richiedono, andranno a definire ciò che chiameremo *fuori flusso*. Nel caso in esame i cluster esclusi dai quattro mondi sono stati la *Puntatura Pneumatica (PA)* e la *Piega Pneumatica (PP)*. La prima, come già illustrato nei paragrafi precedenti, è stata esclusa per tre motivi principali:

1. i macchinari che realizzano tali lavorazioni risultano ingombranti e il loro spostamento comporterebbe costi non trascurabili
2. la lavorazione di puntatura automatica avviene per scarica capacitiva tramite un elettrodo di rame su cui viene opportunamente posizionato il pezzo. La scarica che fonde il materiale di apporto, e che salda cerniere e perni sulle componenti grezze, genera dei campi magnetici elevati che rendono i macchinari molto delicati dal punto di vista della sicurezza e che devono perciò rimanere distanti da zone in cui sono presenti portatori di protesi o donne in gravidanza
3. la maggior parte dei componenti che vengono sottoposti a puntatura automatica non necessitano altre lavorazioni all'interno del reparto in analisi, perciò non è richiesta l'integrazione di questi macchinari con il resto delle lavorazioni. I macchinari rimangono quindi raggruppati in un'opportuna isola di puntatura automatica.

Il cluster *Piega Pneumatica (PP)* è stato invece escluso poiché tale lavorazione risulta poco ricorrente e difficile da accomodare all'interno delle quattro macroaree.

Una volta individuati tutti i codici inclusi nel fuori flusso è stata condotta una breve analisi volta ad evidenziare i contributi di ciascuno dei due cluster. Dalla tabella in figura 4.28 è possibile notare che la maggior parte dei P/N fuori flusso presentano solo la lavorazione di puntatura automatica e non rappresentano perciò un'anomalia di difficile gestione, mentre solamente sei codici sono stati esclusi poiché richiedono la lavorazione di piega pneumatica o la puntatura automatica seguita da altre lavorazioni. Nelle fasi successive si dovrà quindi tener conto di questi codici ed effettuare un dimensionamento del numero di macchinari da posizionare in corrispondenza del fuori flusso al fine di smaltire i relativi volumi.

Sync	numero P/N	Percentuale P/N	Volume Totale (unità)	Peso sul Volume di Reparto
fuori flusso	6	16%	152389	1,48%
XXXXXXXXXX	1	3%	21193	0,21%
XXXXXXXXXX	1	3%	17204	0,17%
XXXXXXXXXX	1	3%	15755	0,15%
XXXXXXXXXX	1	3%	31180	0,30%
XXXXXXXXXX	1	3%	27321	0,27%
XXXXXXXXXX	1	3%	39736	0,39%
solo PA	31	84%	1538568	14,98%
Totale complessivo	37	100%	1690957	16,46%

Figura 4.28: Composizione del fuori flusso

4.8 Demand at Capacity

Una volta individuati i principali cluster lavorazione e le loro combinazioni in *Product Sync*, è necessario dimensionare i singoli nodi di flusso sulla domanda del cliente. È il punto di forza della *Demand Flow Technology* e l'aspetto che renderà il layout capace di rispondere a qualsiasi dato di domanda, in accordo con il motto *any mix, any model, any day*.

Il punto di partenza è individuare il picco massimo di domanda che è stato registrato all'interno del database creato nel paragrafo 4.1 per ciascuna sync. In questa fase è di grande importanza strutturare l'analisi su un database la cui granularità di informazione sia quanto più possibile coerente e funzionale al tipo di dato che si vuole estrarre. Servendosi di un dato di domanda/versato giornaliero infatti, si tenderanno ad accentuare i picchi dovuti alla variabilità della gestione della produzione con il conseguente rischio di sovrastimare la domanda capacità e sovradimensionare il numero di macchinari necessari. Al contrario, servendosi di un'informazione mensile si tenderà ad appiattire il dato di versato/domanda, perdendo importanti picchi e rischiando di sottostimare il numero di macchinari necessari. Seppur la letteratura proponga di adottare un'informazione mensile per poi risalire alla domanda giornaliera, nel caso in esame è stato adottato un dato di domanda settimanale, in linea con la struttura organizzativa che pianifica su intervalli settimanali.

Tramite un'opportuna tabella pivot è stato quindi ricavato il dato di domanda massima settimanale e la settimana in corrispondenza della quale si verifica il picco massimo per ogni sync ottenendo delle informazioni nel formato di figura 4.29 dove la *Demand at Capacity (DC)* è data dal rapporto tra il dato di produzione settimanale (P_v) e il numero di giorni lavorativi corrispondenti (W_d):

$$DC_{week} = \frac{P_v}{W_d} \quad (4.1)$$

$$DC_{day} = \frac{Pv}{5 \times Wd} \quad (4.2)$$

Per quanto riguarda il numero di giorni lavorativi settimanali la scelta è ricaduta nel considerare per ogni settimana 5 giorni lavorativi, senza dover andare a ricavare i giorni lavorativi per ciascuna settimana. Questa scelta è decisamente a favore della sicurezza poichè difficilmente si configurerà un picco in corrispondenza di una settimana con meno di 5 giorni lavorativi, ma più probabilmente in corrispondenza di una settimana con 6 giorni lavorativi dove il sesto giorno coincide con sabati di flessibilità o di straordinari incentivati. Considerando quindi 5 giorni lavorativi a settimana, qualora il picco si presentasse in una settimana composta da 6 giorni, allora si otterrà un dato di domanda capacità giornaliera maggiore, che fornirà successivamente un numero di macchinari necessari decisamente conservativo. In questo caso è stata inoltre reintegrata la quota parte dei volumi versati esclusi dall'analisi di Pareto dividendo per un coefficiente ρ_{Pareto} pari a 0,8. L'equazione 4.1 diventa:

$$DC_{week} = \frac{Pv}{Wd \times \rho_{Pareto}} \quad (4.3)$$

$$DC_{day} = \frac{Pv}{5 \times Wd \times \rho_{Pareto}} \quad (4.4)$$

Sync	Max di Quantity	week_max	DC (unità/wk)	DC (unità/gg)
1.1	49376	201818	61720	12344
1.2	36721	201821	45901	9180
1.3	13119	201818	16399	3280
1.4	39781	201821	49726	9945
1.5	5935	201811	7419	1484
1.6	10463	201811	13079	2616
1.7	5925	201819	7406	1481

Figura 4.29: Demand at Capacity mondo 1

Volendo graficare l'andamento della domanda per ciascuna sync è stato realizzata una pivot che permette di isolare il contributo di ogni sincronizzazione di prodotto e fornirne un plot, in modo da poter apprezzare il picco massimo di domanda.

Dopo aver ricavato la domanda capacità per ciascuna sync, l'ultimo passaggio per la determinazione del layout teorico ottimale è l'identificazione del numero di macchinari necessari per ciascuna sync, e ciascuna macroarea.

Sync	Max di Quantity	week_max	DC (unità/wk)	DC (unità/gg)
2.1	29635	201813	37044	7409
2.10	3326	201818	4158	832
2.11	2505	201812	3131	626
2.12	84777	201803	105971	21194
2.2	8142	201823	10178	2036
2.3	4320	201806	5400	1080
2.4	12670	201835	15838	3168
2.5	9490	201827	11863	2373
2.6	27678	201818	34598	6920
2.7	9474	201748	11843	2369
2.8	29200	201831	36500	7300
2.9	8838	201811	11048	2210

Figura 4.30: Demand at Capacity mondo 2

Sync	Max di Quantity	week_max	DC (unità/wk)	DC (unità/gg)
3.1	19657	201816	24571	4914
3.10	8844	201803	11055	2211
3.2	10803	201816	13504	2701
3.3	10245	201819	12806	2561
3.4	6580	201820	8225	1645
3.5	9670	201818	12088	2418
3.6	14440	201811	18050	3610
3.7	29311	201803	36639	7328
3.8	64117	201818	80146	16029
3.9	6490	201830	8113	1623

Figura 4.31: Demand at Capacity mondo 3

A tal fine è stato necessario prima di tutto ricavare il tempo ciclo di ogni cluster a partire da quello di ciascuna lavorazione che lo compone. Per fare ciò è stato realizzato un foglio di calcolo dove, a partire dal tempo ciclo di ogni lavorazione e dai volumi che ognuna di queste si trova ad elaborare, è stato ricavato un tempo ciclo del cluster come media pesata sui volumi di ciascuna lavorazione. Il risultato è quello in figura 4.34.

Noto quindi il tempo ciclo di ciascun cluster è possibile procedere con il calcolo del numero di macchinari necessari (N_i) per ciascuna sync tramite la formula:

$$N_i = \frac{DC_{day}}{\eta \times \frac{3600H_{day}}{60TC_i}} \quad (4.5)$$

Sync	Max di Quantity	week_max	DC (unità/wk)	DC (unità/gg)
4.1	19198	201802	23998	4800
4.2	10852	201803	13565	2713
4.3	31220	201831	39025	7805
4.5	5831	201746	7289	1458
4.6	69787	201818	87234	17447
4.7	6204	201811	7755	1551
4.8	12850	201818	16063	3213
4.9	3181	201810	3976	795

Figura 4.32: Demand at Capacity mondo 4

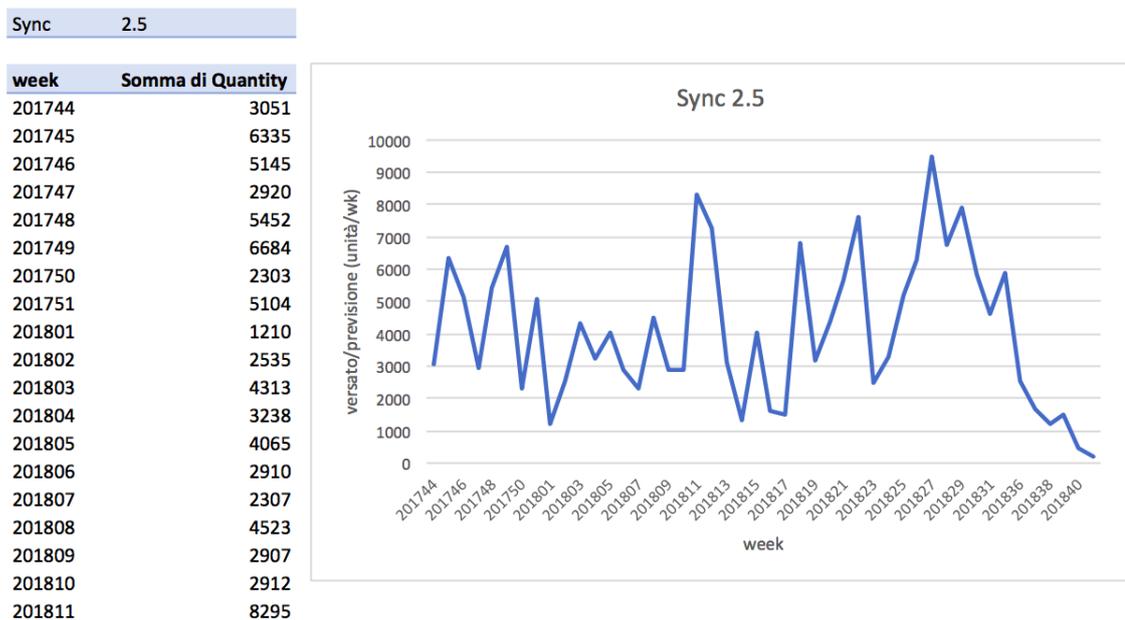


Figura 4.33: Esempio dell'andamento versato/previsione per la sync 2.5

Dove il denominatore indica il volume che ciascuna macchina è in grado di elaborare in un giorno composto da H_{day} ore (assunte qui pari a 15) e con un'efficienza sulla lavorazione η pari a 0,75.

Anche in questo caso è stato adottato un opportuno foglio di calcolo di cui si riporta il dettaglio del mondo 1 in figura 4.35 dove è stata implementata, per ciascun elemento della matrice macchinari-sync, la formula 4.5.

Infine i risultati ottenuti per le 4 macroaree sono stati raccolti nella tabella di figura 4.36. Da cui si ricava il numero di macchinari necessari nel reparto.

A questo punto è stato necessario andare a valutare il numero di macchinari realmente disponibili in reparto e la capacità produttiva di questi. Per fare ciò è stato necessario

Clustrer	Media di tempo ciclo	Somma di tc*peso	Somma di peso	TC medio ponderato
Ass_Aut	0,37	0,04	0,12	0,35
BL	0,21	0,12	0,59	0,20
Fil	0,18	0,01	0,06	0,19
Fres	0,10	0,00	0,04	0,11
Int	0,25	0,05	0,19	0,24
PH	0,18	0,02	0,12	0,18
PM	0,34	0,10	0,29	0,35
S	0,59	0,19	0,36	0,53
SM	0,36	0,09	0,24	0,37
TR	0,16	0,01	0,06	0,16

Figura 4.34: Calcolo del tempo ciclo (TC) medio pesato sui volumi, legenda in figura 4.16

Sync	DC (unità/gg)	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	Sald	SM	TR
1.1	12344		3,7							
1.2	9180		2,7		3,3					
1.3	3280		1,0				1,7			
1.4	9945						5,2			
1.5	1484				0,5					
1.6	2616				0,9		1,4			
1.7	1481			0,2						
Tempo Ciclo		0,35	0,20	0,11	0,24	0,18	0,35	0,53	0,37	0,16
N_i		0	8	1	5	0	9	0	0	0

Figura 4.35: Esempio del calcolo dei macchinari necessari nel mondo 1, legenda in figura 4.16

	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	Sald	SM	TR
Tempo Ciclo	0,35	0,2	0,11	0,24	0,18	0,35	0,53	0,37	0,16
N_i Mondo 1	0	8	1	5	0	9	0	0	0
N_i Mondo 2	0	8	0	0	0	0	27	9	3
N_i Mondo 3	12	0	0	5	0	10	0	7	0
N_i Mondo 4	0	9	0	0	4	0	2	7	0
N Macchinari	12	25	1	10	4	19	29	23	3

Figura 4.36: Risultato numero di macchinari necessari, legenda in figura 4.16

muoversi all'interno del reparto, contare i macchinari relativi a ciascun cluster e valutare poi se questo numero risulta realmente allineato al numero di macchinari ottenuti dall'analisi appena conclusa. Indicando con N_d i macchinari disponibili attualmente e con N_i quelli ottenuti dall'analisi teorica si ottiene il prospetto in figura 4.37.

È stato così ottenuto il numero di macchinari disponibili all'istante attuale e una percentuale che ne indica la saturazione. Si noti che per i cluster *Saldatura* (*Sald*) e

	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	Sald	SM	TR
Tempo Ciclo	0,35	0,2	0,11	0,24	0,18	0,35	0,53	0,37	0,16
N_i Mondo 1	0	8	1	5	0	9	0	0	0
N_i Mondo 2	0	8	0	0	0	0	27	9	3
N_i Mondo 3	12	0	0	5	0	10	0	7	0
N_i Mondo 4	0	9	0	0	4	0	2	7	0
N_i	12	25	1	10	4	19	29	23	3
N_d	13	25	2	16	4	37	25	20	4
Saturazione	92%	100%	50%	63%	100%	51%	116%	115%	75%
N_d Mondo 1	0	8	2	8	0	18	0	0	0
N_d Mondo 2	0	8	0	0	0	0	23	8	4
N_d Mondo 3	13	0	0	8	0	19	0	6	0
N_d Mondo 4	0	9	0	0	4	0	2	6	0

Figura 4.37: Macchinari disponibili e saturazione, legenda in figura 4.16

Satinatura Manuale (SM) risultano insufficienti i macchinari attualmente disponibili, sarebbe perciò opportuno investire nell'acquisto di nuove saldatrici e ruote di satinatura per soddisfare la richiesta nei periodi di alta domanda.

In realtà, come già anticipato precedentemente, in fase di domanda a capacità sono state adottate alcune semplificazioni di carattere conservativo che possono aver portato ad una sovrastima dei macchinari necessari, cosa di cui possono particolarmente risentire i cluster *Saldatura (Sald)* e *Satinatura Manuale (SM)* a cui sono associate un gran numero di sync e di conseguenza grandi volumi di produzione. Le tre semplificazioni adottate a favore della sicurezza sono:

1. estrazione dei volumi versati da reportistica istituzionale: essa viene generata automaticamente dai dati di versato provenienti dal sistema SAP. Può accadere che, in periodi in cui il WIP risulta particolarmente elevato, vengano versati a SAP lotti che sono stati lavorati in quello specifico giorno e in uno o più giorni precedenti a questo, generando un picco di volumi versati per quel giorno e per quella settimana
2. tutte le settimane sono state considerate composte da 5 giorni lavorativi, trascurando così l'effetto di quelle settimane composte da 6 giorni lavorativi. Questo fa sì che, dividendo per 5 il versato/domanda relativa ad una settimana in cui vi sono in realtà sei giorni lavorativi, si ottiene una sovrastima della demand at capacity giornaliera
3. molte lavorazioni, soprattutto quelle di saldatura, vengono realizzate con metodi appositamente studiati per ridurre i tempi ciclo effettivi e che non compaiono nei cicli di lavoro e nella reportistica istituzionale. Questi *delta metodo* comportano, a parità di risorse disponibili, un consistente aumento della produttività dei macchinari e della manodopera più in generale.

È stato assunto perciò come valido il numero di macchinari disponibili ed è stata effettuata un'operazione di proporzionamento sulle quattro macroaree. In figura 4.37 si può infatti notare che sono stati inseriti i macchinari disponibili per ogni cluster lavorazione e poi sono stati distribuiti sui quattro mondi secondo una semplice proporzione ottenendo così un'indicazione dei macchinari da posizionare in ciascuna macroarea.

In ultima battuta è stata calcolata la capacità di ciascun cluster in ciascuna macroarea. Indicando con η l'efficienza dell'operatore sulla lavorazione, C_p la capacità di ciascun macchinario su due turni, N_{dj} il numero di macchinari nella macroarea j-esima e con C_{pj} la produttività del cluster nella macroarea j-esima si ottiene:

$$C_p = \eta \times \frac{3600H_{day}}{60TC} \quad (4.6)$$

$$C_{pj} = N_{dj} \times C_p \quad (4.7)$$

$$C_{ptot} = \sum_{j=1}^4 C_{pj} \quad (4.8)$$

	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	Sald	SM	TR
Tempo Ciclo	0,35	0,2	0,11	0,24	0,18	0,35	0,53	0,37	0,16
N_d Mondo 1	0	8	2	8	0	18	0	0	0
N_d Mondo 2	0	8	0	0	0	0	23	8	4
N_d Mondo 3	13	0	0	8	0	19	0	6	0
N_d Mondo 4	0	9	0	0	4	0	2	6	0
Capacità (kpz/gg)	1,9	3,3	6,1	2,8	3,7	1,9	1,2	1,8	4,2
Capacità Mondo 1	0	26,4	12,2	22,4	0	34,2	0	0	0
Capacità Mondo 2	0	26,4	0	0	0	0	27,6	14,4	16,8
Capacità Mondo 3	24,7	0	0	22,4	0	36,1	0	10,8	0
Capacità Mondo 4	0	29,7	0	0	14,8	0	2,4	10,8	0
Capacità Tot (kpz/gg)	24,7	82,5	12,2	44,8	14,8	70,3	30	36	16,8

Figura 4.38: Produttività macroaree

Per l'identificazione del layout ottimale sono stati quindi adottati i macchinari in figura 4.37 disposti secondo una matrice organizzata su sei righe come riportato nell'Allegato 2, il layout TO-BE. I lotti si muoveranno quindi all'interno di questo layout da sinistra verso destra senza mai tornare indietro, semplificando notevolmente la movimentazione dei lotti e la gestione della produzione. La più grande novità in termini di movimentazione dei lotti introdotta con questa metodologia è che, rispetto all'organizzazione in celle di produzione dell'Allegato 1 in cui i capi-isola seguivano l'intero ciclo di lavoro del codice, qui agli operatori sarà assegnata la gestione e la movimentazione all'interno

di una specifica macroarea e seguiranno perciò tutte le sincronizzazioni all'interno di quella, trascurando ciò che accade all'esterno.

4.9 Simulazione performance layout

Per valutare la bontà del layout teorico ottenuto, sono state realizzate delle opportune simulazioni utilizzando dati relativi al livello di WIP in diversi periodi dell'anno. Il sistema di reportistica aziendale prevede infatti la condivisione giornaliera di un documento contenente dati sul livello di WIP di ciascuna risorsa aziendale, con la possibilità di estrarre il dettaglio di ciascun P/N e i relativi volumi in WIP. Settimanalmente questo documento viene registrato in uno storico grazie al quale è stato possibile risalire al livello di WIP in diversi periodi dell'anno, utile per apprezzare l'effetto di stagionalità e variabilità di mix.

La simulazione è stata quindi articolata sui seguenti punti:

1. estrazione del livello di WIP relativo al reparto in analisi. In questa fase, a partire dal documento fornito dal sistema di reportistica aziendale, sono stati isolati i volumi in WIP relativi al reparto stamperia 2 di Cencenighe ed estratti i P/N che generano la maggior parte del work in process tramite un'analisi di Pareto
2. per valutare l'efficacia della disposizione dei macchinari sono stati tracciati sul layout teorico (riportato nell'Allegato 2) i percorsi relativi a ciascun P/N in Pareto. Questo ha permesso di visualizzare lungo il reparto le sync e i percorsi logistici dei lotti e ottenere una prima indicazione visiva della saturazione dei macchinari
3. è stata poi condotta un'analisi numerica volta a valutare il grado di saturazione dei macchinari all'interno delle 4 macroaree.

Il terzo punto è sicuramente il più utile al fine di valutare la bontà del layout e risulta essere un ottimo metodo per validare ulteriormente la qualità delle informazioni contenute nel database e l'effetto delle semplificazioni adottate in fase di *Demand at Capacity*.

Per fare questo è stato necessario passare in rassegna tutti i P/N in WIP e definire le sync che ciascuno di essi si troverà ad attraversare. Dopodiché, incrociando la struttura dati appena ottenuta con il livello di WIP di ciascun P/N, è stato ottenuto un dettaglio del livello di WIP di ciascuna sincronizzazione. Da questo ultimo foglio di calcolo è stato possibile valutare il WIP di ciascun macchinario nella relativa macroarea e valutarne la saturazione. Il risultato ottenuto a partire dal database di figura 4.39 è riportato nelle figure 4.40-4.43.

P/N	WIP 19/10/2018	CUM	Peso CUM	Pareto	Mondo 1	Mondo 2	Mondo 3	Mondo 4
2704	2704	2704	6,4%	x	1.4	2.6	3.0	4.0
2500	5204	5204	12,3%	x	1.5	2.0	3.0	4.0
2356	7560	7560	17,8%	x	1.2	2.0	3.3	4.3
1783	9343	9343	22,0%	x	1.6	2.9	3.6	4.0
1743	11086	11086	26,1%	x	1.0	2.0	3.8	4.7
1588	12674	12674	29,9%	x	1.0	2.1	3.1	4.0
1573	14247	14247	33,6%	x	1.0	2.10	3.2	4.0
1573	15820	15820	37,3%	x	1.4	2.6	3.0	4.0
1345	17165	17165	40,5%	x	1.6	2.0	3.5	4.6
1227	18392	18392	43,3%	x	1.0	2.12	3.7	4.0
1160	19552	19552	46,1%	x	1.2	2.8	3.0	4.0
1138	20690	20690	48,8%	x	1.0	2.12	3.8	4.0
1000	21690	21690	51,1%	x	1.1	2.0	3.0	4.0
774	26851	26851	63,3%	x	1.2	2.0	3.5	4.6
750	27601	27601	65,0%	x	1.2	2.8	3.0	4.0
750	28351	28351	66,8%	x	out	out	out	out
708	29059	29059	68,5%	x	1.1	2.0	3.1	4.5
646	29705	29705	70,0%	x	1.4	2.6	3.2	4.0
634	30339	30339	71,5%	x	1.0	2.12	3.8	4.6
612	30951	30951	72,9%	x	1.7	2.12	3.0	4.0
600	31551	31551	74,4%	x	1.0	2.5	3.7	4.6
600	32151	32151	75,8%	x	1.0	2.0	3.2	4.6
597	32748	32748	77,2%	x	1.1	2.0	3.0	4.0
522	33270	33270	78,4%	x	1.3	2.2	3.0	4.2
500	33770	33770	79,6%	x	1.4	2.8	3.6	4.0
500	34270	34270	80,8%		1.0	2.12	3.7	4.2
500	34770	34770	81,9%		1.0	2.12	3.7	4.6
470	35240	35240	83,1%		1.0	2.12	3.0	4.6
400	35640	35640	84,0%		1.6	2.9	3.6	4.0

Figura 4.39: Database livello di WIP in data 19/10/2018 adottato per una prima simulazione

Sync	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	S	SM	TR	WIP 19/10/2018
1.1		2305								2305
1.2		6771		6771						6771
1.3		522				522				522
1.4						5423				5423
1.5				2500						2500
1.6				3128		3128				3128
1.7			612							612
N_d		8	2	8		18				
Capacità		22320	10144	18600		28692				
WIP		11998	765	15499		11341				
Saturazione		53,8%	7,5%	83,3%		39,5%				

Figura 4.40: Simulazione saturazione macchinari mondo 1 in data 19/10/2018

Sync	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	S	SM	TR	WIP 19/10/2018
2.1								1588		1588
2.10		1573					1573	1573	1573	1573
2.11										
2.12							3611			3611
2.2							522	522		522
2.3										
2.4		600						600		600
2.5		4923					4923		4923	4923
2.6		950					950			950
2.7									2410	2410
2.8		1783								1783
2.9										
N_d		8					23	8	4	
Capacità		22320					24196	12064	13948	
WIP		12286					14474	5354	11133	
Saturazione		55,0%					59,8%	44,4%	79,8%	

Figura 4.41: Simulazione saturazione macchinari mondo 3 in data 19/10/2018

Sync	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	S	SM	TR	WIP 19/10/2018
3.1						3246				3246
3.10										
3.2						2819		2819		2819
3.3										
3.4	2356			2356		2356				2356
3.5	2119					2119				2119
3.6								2283		2283
3.7				1827						1827
3.8	5266									5266
3.9										
N_d	13			8		19		6		
Capacità	20722			18600		30286		9048		
WIP	12176			5229		13175		6378		
Saturazione	58,8%			28,1%		43,5%		70,5%		

Figura 4.42: Simulazione saturazione macchinari mondo 3 in data 19/10/2018

Si noti che nell'analisi condotta è stata adottata l'ipotesi fortemente semplificativa che il WIP di ciascuna sync sia distribuito lungo tutte le lavorazioni presenti al suo interno. Nonostante l'ipotesi sia decisamente conservativa il risultato ottenuto è in linea con quanto atteso.

Sync	Ass_Aut	BL	Fres	Int	PH	PM	S	SM	TR	WIP 19/10/2018
4.1										
4.2		522			522					522
4.3		2356						2356		2356
4.5		708					708			708
4.6		4878								4878
4.7								1743		1743
4.8										
4.9										
N_d		9			4		2	6		
Capacità		25110			12400		2104	9048		
WIP		10580			653		885	5124		
Saturazione		42,1%			5,3%		42,1%	56,6%		

Figura 4.43: Simulazione saturazione macchinari mondo 4 in data 19/10/2018

4.10 Implementazione area pilota

É attualmente in fase di realizzazione un'area pilota all'interno della quale sono stati organizzati un numero limitato di macchinari e sync per comprendere al meglio la gestione di questa tipologia di layout prima di procedere all'implementazione della metodologia in tutto il reparto.

A tale scopo sono stati applicati gli stessi strumenti (*Mixed Model Product Sync*, *Product Sync* e *Demand at Capacity*) ad un gruppo ristretto di alto rotanti di reparto, il risultato ottenuto è quello in figura 4.44 in cui, oltre alla disposizione dei macchinari, viene riportato un esempio di sincronizzazioni di alcuni codici specifici e il dettaglio dei P/N, volumi e macchinari che questa area pilota sviluppa.

Gli obiettivi dell'implementazione di questa soluzione sono:

- monitoraggio livello WIP e lead-time dei P/N coinvolti
- valutazione capacità effettiva dei macchinari in analisi
- formazione operatori diretti e attrezzisti
- formazione dei movimentatori di lotti.

4.11 Applicazione di vincoli operativi

Come già anticipato, prima di passare al layout effettivo di reparto, è stato necessario considerare alcuni vincoli operativi di diversa natura. Essi sono classificabili in 3 classi principali:

1. temi health & safety: alcune normative di sicurezza richiedono particolari accorgimenti che introducono la necessità di riposizionare alcuni macchinari. In parti-

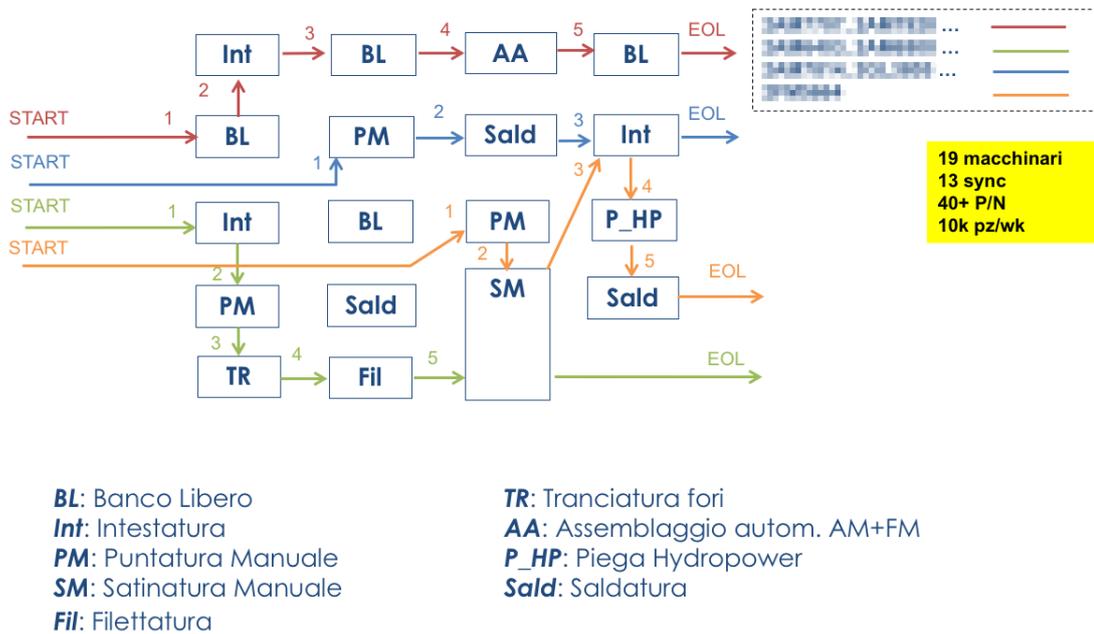


Figura 4.44: Area Pilota

colare è stato necessario mantenere i macchinari di puntatura automatica raccolti in un'isola dedicata, essi infatti generano campi elettromagnetici che potrebbero interferire con dispositivi medici indossabili o protesi e disturbare donne in attesa di gravidanza. Inoltre, per garantire la vivibilità del reparto e sufficienti vie di fuga è necessario definire corridoi come indicato dalla normativa

- disposizione impianti: il layout presentato negli allegati 2 e 3 risente molto dell'influenza della disposizione degli allacciamenti agli impianti di aria compressa, aspirazione e corrente elettrica. In particolare è stato necessario raccogliere le ruote di satinatura manuale lungo il corridoio ovest del reparto poichè solo in quell'area sono presenti attacchi all'impianto di aspirazione delle polveri generate dalle lavorazioni di satinatura
- vincoli legati alla gestione di risorse umane: per meglio gestire dinamiche interpersonali ed alcuni temi di sicurezza, è stata creata un'area, detta *zona franca*, in cui sono stati raccolti operatori a ridotta capacità lavorativa e donne in attesa di gravidanza, a cui sono riservate lavorazioni manuali semplici e a ridotto indice di rischio
- vincoli di carattere gestionale: come introdotto in precedenza, nell'analisi AS-IS è emerso che per alcune famiglie di P/N la *cellular manufacturing* risulta particolarmente efficace. Per questo motivo si è scelto di mantenere, per alcuni codici

alto rotanti, delle linee dedicate. Nell'area adiacente all'isola di puntatura automatica verrà creato quindi un fuori flusso composto da queste linee e da tutti quei macchinari necessari a smaltire i P/N che non possono essere elaborati nel parco DFT. La presenza di suolo libero in questa zona rappresenta inoltre un'occasione per introdurre e sperimentare macchinari e automatismi innovativi.

Il layout può quindi essere schematizzato come in figura 4.45. Nell'allegato 3 è presente il layout definitivo ottenuto dall'applicazione dei vincoli appena elencati.

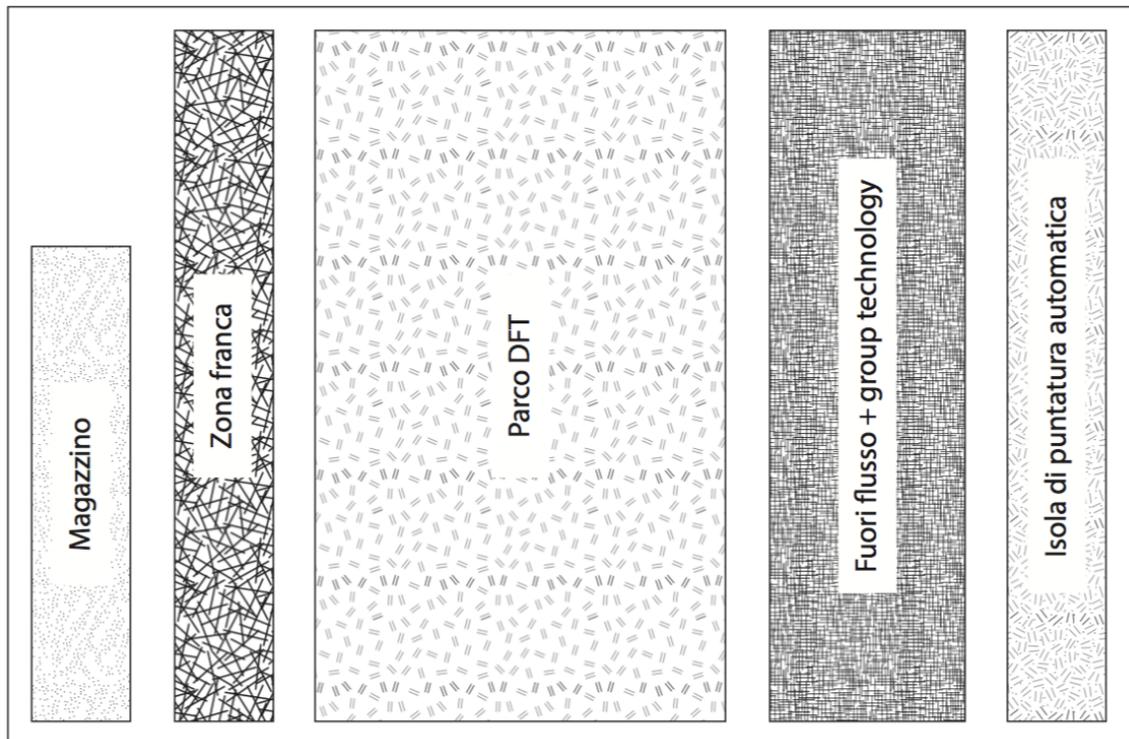


Figura 4.45: Dettaglio aree layout stamperia 2

Conclusioni

Il progetto che è stato presentato in questo documento ha portato degli importanti risultati in termini di conoscenza e classificazione dei processi, dei flussi produttivi e della capacità produttiva del reparto ponendo le basi per l'implementazione di una realtà *lean* all'interno dello stabilimento di Cencenighe Agordino.

Nella prima parte di questo documento sono stati passati in rassegna i principali strumenti e principi della *Lean Manufacturing* e della *Demand Flow[®] Technology* e, dopo un breve inquadramento di Luxottica e dello stabilimento ospitante, sono stati applicati alcuni di essi al reparto Stamperia 2.

Una prima analisi della situazione AS-IS ha portato innanzitutto alla generazione di un database di volumi versati e forecast su cui impostare poi lo studio di re-layout e poi ad una classificazione di lavorazioni e flussi. Sul piano delle lavorazioni sono state ricavate informazioni dettagliate e articolate che hanno permesso di individuare ed isolare le fasi che conferiscono valore aggiunto al prodotto e determinare le principali famiglie di lavorazioni, ponendo quindi le basi per un tracciamento della *value stream* sia all'interno che all'esterno del reparto in analisi. Per quanto riguarda la gestione dei flussi produttivi il principale risultato consiste nell'aver ottenuto una rigorosa classificazione delle sequenze produttive in *Product Synchronization*, strumento che porterà, in fase di applicazione dei risultati ottenuti, ad un maggior controllo dei flussi produttivi e al passaggio ad una gestione della produzione semplice, ben strutturata e in ottica *pull*.

Dopodichè, applicando alcuni strumenti provenienti dalla letteratura DFT e dal *know-how* aziendale, è stata generata una prima ipotesi di layout TO-BE e su di esso sono state effettuate delle opportune simulazioni. Andando ad analizzare i volumi contenuti all'interno del database creato è stato infatti possibile ottenere utili informazioni relative a capacità produttiva e saturazione dei macchinari, individuando quelle risorse che richiedono investimenti in capacità e quelle che risultano attualmente ridondanti.

A valle di questa analisi sono stati applicati dei vincoli operativi, ottenendo un layout definitivo, ed è stato quindi intrapreso un percorso di re-layout del reparto che attualmente si trova in fase di implementazione di un'area pilota che permetterà di formare il personale e valutare l'impatto di questa nuova gestione.

Questa attività di re-layout di fabbrica rientra all'interno di un progetto più ampio di innovazione dello stabilimento produttivo di Cencenighe sia sul fronte gestionale che su quello tecnologico. L'implementazione di un layout produttivo di questo tipo pone infatti le basi per il passaggio ad una gestione della produzione di tipo *pull* in cui le informazioni e gli ordini di produzione saranno gestiti tramite *kanban* e analogamente fornisce al reparto un footprint più flessibile in cui inserire nuovi macchinari e automazioni risulterà più facile ed immediato.

Bibliografia

- [1] Costanza J. R. *The Quantum Leap in Speed to Market*. John Costanza Institute of Technology, Englewood, CA, 1996.
- [2] Wilson L. *How to Implement Lean Manufacturing*. McGraw-Hill Professional, 2009.
- [3] Hines P. *From Strategic Toolkit to Strategic Value Creation: A Review of the Evolution of Contemporary Lean Thinking*. International Journal of Operations and Production Management, Vol 24, Lean Enterprise Research Centre Cardiff Business School, UK, 2004.
- [4] Korena Y. *Design of reconfigurable manufacturing systems*, Journal of Manufacturing Systems, 2013.
- [5] Reagan S. S. *Lean Manufacturing Principles*, 66th Porcelain Enamel Institute Technical Forum, The American Ceramic Society, 2004.
- [6] Rother M. *Learning to See*, The Lean Enterprise Institute, Brookline, Massachusetts, USA, 1999.
- [7] Shingo S. *A study of the Toyota Production System from an industrial viewpoint*, Cambridge, MA, Productivity Press, 1989.
- [8] Shingo S. *A revolution in manufacturing: The SMED system*, Portland, Productivity Press. 1985.
- [9] Thun J. *Empowering Kanban through TPS-principles, an empirical analysis of the Toyota Production System*, International Journal of Production Research, 2010.
- [10] Fratantonio A. *Supply chain mapping: analisi della complessità e delle performance di un network logistico: il caso Luxottica*, Università degli studi di Padova, Padova, 2011.
- [11] Manerchia Masarà M. *Una valutazione multi-funzionale dell'integrazione verticale: il caso Luxottica*, Luiss, Roma, 2017.

- [12] Filippetti S. *Serenissimi Affari, i veneti in borsa tra splendore e declino*, Post Editori, Padova, 2014.
- [13] Bonfantoni A. *Bilanciamento del sistema di produzione in un reparto di un'azienda manifatturiera*, Università La Sapienza, Roma, 2014.
- [14] Taylor-Jones S. *The Quantum Leap, Implementation Skills*, The Manufacturing Strategy for Business, Denver, 2011.