

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

Ingegneria della Produzione Industriale e dell'Innovazione Tecnologica

Tesi di Laurea Magistrale

**Prodotti multi-allocati
nell'industria automobilistica:
studi di capacità e strategie di ottimizzazione**



Relatore

Prof. Maurizio Schenone

Candidato

Bruna Capodicasa

Matr. 237184

Luglio 2018

Having no problems is the biggest problem of all.

Taichi Ohno

Indice

Ringraziamenti.....	6
Introduzione	7
1 Stato dell'arte.....	10
1.1 Tecniche di risposta in ambito manufacturing alle variazioni della domanda.....	13
2 FCA Group.....	17
2.1 Global Manufacturing Engineering Powertrain	17
2.2 World Class Manufacturing	18
2.2.1 I pilastri tecnici.....	19
2.2.2 Cenni storici.....	22
2.3 La rinascita del WCM in Fiat.....	23
2.4 La metodologia WCT.....	25
2.5 Il pilastro MP.....	26
3 Il tema della Produzione multi-allocata	27
3.1 Strategia di breve e lungo termine	27
4 Il progetto di tesi.....	30
4.1 Progetto sul breve termine	32
4.2 Progetto sul lungo termine	34
5 Banking.....	35
5.1 Premessa.....	35
5.2 La capacità produttiva	36
5.3 La gestione dei materiali	38
5.4 Calcolo del Banking.....	39
5.5 Il problema	40
5.5.1 Dati di partenza e assunzioni.....	42
5.6 Analisi e studio dei risultati ottenuti	43
5.6.1 Situazione iniziale	43
5.6.2 Situazione dopo l'incremento dei giorni lavorativi	44
5.6.3 Impostazione del risolutore Excel – prossimo step.....	46

6	Heat Map.....	48
6.1	Premessa.....	48
6.2	Il Sistema ideale e gli indici utilizzati.....	49
6.2.1	<i>Età del macchinario.....</i>	<i>50</i>
6.2.2	<i>Tasso di guasto.....</i>	<i>50</i>
6.2.3	<i>Perdite di velocità.....</i>	<i>53</i>
6.2.4	<i>Manutenzione (Overmaintenance).....</i>	<i>54</i>
6.3	Analisi e studio dei risultati ottenuti.....	55
7	Optimal Planning Tool.....	61
7.1	Premessa.....	61
7.2	Ricerca Operativa.....	61
7.2.1	<i>Il problema dei trasporti come punto di partenza.....</i>	<i>63</i>
7.3	Il problema.....	65
7.3.1	<i>Il Risolutore Excel.....</i>	<i>68</i>
7.4	Il valore attuale netto.....	69
7.4.1	<i>Determinazione del VAN – il calcolo applicato da FCA.....</i>	<i>72</i>
7.5	Analisi e studio dei risultati ottenuti.....	74
7.5.1	<i>I dati di ingresso.....</i>	<i>75</i>
7.5.2	<i>Le celle variabili (variabili di decisione).....</i>	<i>77</i>
7.5.3	<i>Celle obiettivo.....</i>	<i>77</i>
7.5.4	<i>Celle vincoli.....</i>	<i>79</i>
7.5.5	<i>Motori aspirati (N).....</i>	<i>80</i>
7.5.6	<i>Motori Turbo (TX e Ty).....</i>	<i>82</i>
7.5.7	<i>Considerazioni finali.....</i>	<i>84</i>
7.6	Rapporto di valori.....	84
7.6.1	<i>Rapporto di valori Motori N.....</i>	<i>85</i>
7.6.2	<i>Rapporto di valori Motori Tx e Ty.....</i>	<i>86</i>
7.7	Limiti dell'Optimal Planning Tool – Fattori di rumore e contesto generale.....	87
7.7.1	<i>Fattori legati alle specificità di una determinata region/paese.....</i>	<i>87</i>
7.7.2	<i>Fattori impattanti l'evoluzione della domanda.....</i>	<i>88</i>
7.7.3	<i>Fattori relativi alle peculiarità specifiche di un determinato sito industriale.....</i>	<i>88</i>

8	Coerenza tra short term e long term	90
	Conclusioni	91
	Bibliografia	94
	Appendice A - Acronimi.....	95
	Appendice B - Algoritmo del simplesso	96
	Appendice C - Sostenibilità e nuove Normative Europee	100
	Appendice D - Toyota e la produzione snella	103

Ringraziamenti

La psicologia positiva di Martin Seligman sostiene che essere grati a qualcuno può produrre stati emotivi positivi nell'essere umano, una vera e propria sensazione di benessere e felicità. Personalmente, considerato il mio stato emotivo e la gratitudine che provo in questo momento, non posso che essere d'accordo.

Questa tesi segna la fine di un tirocinio, di un percorso di studi, del ruolo di studentessa che ho svolto per 18 anni. La vera felicità e soddisfazione non è tanto aver terminato gli esami, il tirocinio in azienda o più in generale questi cinque anni di università, ma è essere arrivata alla fine di questo percorso con la consapevolezza di aver avuto accanto delle persone meravigliose, per le quali provo profondo affetto e rispetto, e che oggi tengo a ringraziare per tutto quello che hanno fatto per me.

Grazie Mauro per l'opportunità che mi hai dato e per il tempo che mi hai dedicato. Lavorare con te è stato un onore e un piacere. Grazie per tutto quello che mi hai insegnato, come capo e come persona.

Grazie Patrizia per tutto quello che hai fatto per me in questi mesi, per essermi stata accanto, per avermi accolta e sostenuta. Sei stata per me un modello e una guida e spero, un giorno, di poter diventare come te.

Grazie Prof. Schenone, per la pazienza e la comprensione che ha dimostrato nei miei confronti, non solo per la stesura di questa tesi, ma durante l'intero anno scolastico.

Grazie a Francesca, Ferdinando, Massimo, Alessandra, Floriana, Francesco e a tutti i colleghi di FCA.

Grazie ai miei amici, che, anche se lontani, ci sono sempre stati.

Grazie ai miei genitori, a Carla e ai nonni, che mi hanno incoraggiata dal primo giorno di scuola, credendo nelle mie capacità più di quanto potessi crederci io. Starvi lontana non è facile ma continuerò a dare sempre il massimo per tornare da voi ogni volta che posso e, soprattutto, per rendervi orgogliosi e fieri di me.

Tutti voi avete contribuito alla mia felicità e ve ne sono grata.

Bruna

Introduzione

Nell'ambito di un contesto globale quale quello in cui operano le case automobilistiche, il problema attuale è trovare l'equilibrio tra la flessibilità e le sinergie per rispondere alle esigenze di una clientela diversificata in tutto il mondo.

Un'impresa multinazionale deve riuscire infatti ad incontrare le esigenze di tutti, rispettando vincoli e limitazioni differenti per ogni paese, soddisfacendo richieste e necessità di una clientela variegata e differenziata per ogni settore geografico nel quale opera ad un prezzo competitivo ed a una qualità di eccellenza worldwide.

La tendenza è quella di creare una serie di prodotti e componenti standardizzati che possano essere adattati in modo flessibile alle esigenze dei vari paesi, garantendo un elevato livello di servizio ai clienti, prodotti di qualità, rapidi tempi di risposta e costi contenuti, ed infine creando sinergie tra i differenti stabilimenti di produzione di tali prodotti in tutto il mondo, trattandosi di prodotti personalizzati per ogni paese ma in larga parte standardizzati e dunque interscambiabili: da qui nasce la denominazione di prodotti *multi-allocati*, che ha costituito il perimetro di studio della tesi.

Un gruppo che ha tali target deve ricercare e sviluppare processi e tecnologie di classe mondiale, conformi ai migliori standard globali, implementati per fornire soluzioni al minimo costo del ciclo di vita del prodotto. In un'ottica di questo tipo, risulta importante ricercare la flessibilità dei mezzi produttivi e logistici per far fronte, con rapidità e senza oneri elevati, al continuo cambiamento della gamma produttiva in risposta alla variabilità del mercato.

In uno scenario in cui la domanda varia rapidamente, la competizione è sempre più aggressiva e nuove normative ecologiche hanno forte impatto sui piani di produzione, le tecnologie di processo svolgono un ruolo fondamentale. Esse devono garantire la giusta velocità di risposta dei sistemi produttivi, facendo leva sull'innovazione tecnologica ma anche implementando concetti di Lean Manufacturing che, nell'ambito di FCA, prendono forma con il World Class Manufacturing ed il World Class Technology.

Grazie a FCA Group ho avuto l'opportunità di lavorare su casi reali legati a questi temi, studiando modelli prototipali di metodologie di ottimizzazione e analisi delle capacità produttive.

La finalità di questo progetto di tesi è quella di sviluppare strumenti a supporto della strategia globale, partendo dai concetti più generali delle teorie di allocazione delle risorse, al fine di definire un piano di breve e uno di lungo termine.

Lo studio e l'analisi dei casi sono partiti da una base teorica che ha portato a realizzare degli strumenti di calcolo e, al contempo, sono stati utilizzati alcuni principi e metodi della World Class Technology, in particolare il pilastro del Manufacturing Planning.

Nello specifico, la tesi verte sullo studio della capacità produttiva attuale e potenziale degli stabilimenti esistenti, tramite un approccio puramente ingegneristico e matematico, con un risvolto pratico e funzionale, al fine di trovare la corretta strategia di allocazione dei prodotti a livello globale, attraverso studi di capacità standardizzati ed unificati.

I contributi innovativi della tesi sono stati l'elaborazione di due strumenti automatizzati su fogli di calcolo Excel, che permettono di analizzare la possibilità di minimizzazione dei possibili investimenti relativi agli incrementi di capacità produttive presso alcuni degli stabilimenti FCA.

Un ulteriore studio ha permesso di elaborare nuovi indici per lo sviluppo della *Heat Map*, cioè della possibilità di riutilizzo di alcuni stabilimenti esistenti pilota in luogo di nuovi impianti e, con l'intenzione, su lungo termine, di applicare le stesse procedure in tutti gli altri stabilimenti, definendo un approccio standardizzato al problema.

Il primo capitolo di questa trattazione è finalizzato all'introduzione dello stato dell'arte; l'obiettivo è quello di presentare l'evoluzione dei sistemi produttivi nel corso degli anni, e come si sono dovuti confrontare con un contesto via via più globalizzato.

Nel secondo capitolo la trattazione presenterà il contesto industriale presso il quale è stato svolto il tirocinio, ovvero il Gruppo FCA (Fiat Chrysler Automobiles) ed il dipartimento del Global Manufacturing di Powertrain. Verranno presentate le metodologie su cui si basa il *World Class Manufacturing* ed il *World Class Technology*, e successivamente verrà analizzata l'applicazione del WCM all'interno del gruppo FCA.

Il terzo capitolo è incentrato sulla contestualizzazione del problema affrontato dal progetto di tesi, che rientra nell'ambito della produzione multi-allocata e delle strategie produttive di breve e lungo termine. Verranno presentati, in questo capitolo, quelli che sono i concetti chiave sui quali si sono basati gli studi successivi.

Dal quarto capitolo inizierà l'analisi dettagliata di quello che è stato il progetto di tesi vero e proprio.

La trattazione presenterà in ordine tematico i due algoritmi che sono stati realizzati, ovvero il *Calcolo del Banking*, l'implementazione dell'*Optimal Planning Tool*, e la presentazione dello studio della *Heat Map*, con i rispettivi metodi risolutivi scelti. Infine saranno visualizzati ed analizzati i risultati tramite esempi concreti e realistici (i dati sensibili saranno ragionevolmente modificati per ragioni di privacy) che permetteranno di comprendere il senso ed il fine ultimo degli studi effettuati.

Ognuno dei tre argomenti verrà introdotto e contestualizzato insieme agli strumenti ed ai principi teorici e matematici adoperati per raggiungere la soluzione.

Infine, nell'ottavo capitolo, alla luce di quanto esposto nel corso della trattazione, verranno descritte ed analizzate le relazioni tra quello che è l'approccio di breve e quello di lungo termine, con l'obiettivo di evidenziare la necessità di coerenza tra le diverse strategie aziendali e, in piccolo, tra le metodologie prototipali proposte in questa trattazione.

Le ricerche e gli studi inerenti la tesi sono stati svolti presso il dipartimento Global Manufacturing Engineering Powertrain – Premium Brands della società FCA Group, che ha fornito tutta la documentazione tecnica inerente il progetto.

1 Stato dell'arte

Con il termine *Sistema di produzione* si intende un insieme integrato di macchinari e risorse umane in grado di compiere operazioni di trasformazione e montaggio su un grezzo, una parte o un insieme di parti.

Il fenomeno della globalizzazione, supportato dalla cosiddetta Rivoluzione Tecnologica, ha avuto forti impatti sui sistemi di produzione esistenti, spingendo sempre di più verso un processo di delocalizzazione produttiva verso paesi a più basso costo, e favorendo l'evoluzione dell'automazione nel settore manifatturiero nei paesi occidentali.

Importante caratteristica di un sistema di produzione diventa quindi la sua capacità di gestire i cambiamenti e la variabilità del mercato, mantenendo alto il livello di servizio offerto al cliente. Lo sviluppo dell'automazione e della flessibilità produttiva, nonché la progressiva digitalizzazione e robotizzazione della produzione, hanno subito numerose evoluzioni nel corso dell'ultimo secolo, sotto la spinta delle nuove tecnologie innovative e influenzati da uno scenario socio-economico di classe mondiale.

Un cambiamento tecnologico di questa portata rappresenta un'enorme opportunità in termini di aumento della produttività, di automatizzazione delle produzioni e di digitalizzazione avanzata delle funzioni manifatturiere, ed è proprio questo cambiamento che sta portando verso quella che oggi è nota come *Industry 4.0*. Si parla di "quarta rivoluzione industriale" proprio per indicare questa nuova integrazione fra tecnologia e processi produttivi.

Per illustrare brevemente quella che è stata l'evoluzione dell'automazione nel settore manifatturiero, è sufficiente spiegare il susseguirsi di una serie di fasi di passaggio, che hanno portato il sistema di produzione dall'avere caratteristiche più manuali a, successivamente, più automatiche.

Se inizialmente tutte le funzioni di controllo e quelle ausiliarie (carico e scarico) erano affidate all'uomo, più tardi il sistema di produzione si è evoluto da puramente manuale ad uno più automatizzato.

La macchina semiautomatica riduceva l'intervento dell'uomo durante il ciclo di lavoro ma, a causa della maggior produttività, se comparata a quella manuale, richiedeva una maggiore saturazione dell'operatore durante le attività e ausiliarie.

Con lo sviluppo del sistema automatico di produzione, il processo e la movimentazione diventano automatici, e non è più necessario l'intervento dell'operatore, al quale rimane affidato solo il collaudo.

Come ultima tappa di questa evoluzione, all'automazione si affianca il controllo in linea: anche il collaudo adesso è automatizzato, e l'intervento dell'uomo è richiesto solo in caso di guasto.

Per quanto riguarda la flessibilità, ovvero la capacità di un sistema di produzione di gestire i cambiamenti dei particolari o dei prodotti che è in grado di produrre, essa può fornire un concreto vantaggio a livello globale. In particolare, è possibile distinguere tre situazioni tipiche:

1. Impossibilità a gestire alcuna variante, ovvero la capacità di lavorare un unico prodotto;
2. Possibilità di gestire diverse tipologie di prodotti a lotti;
3. Possibilità di gestire le parti diverse in modo del tutto casuale (mix produttivi).

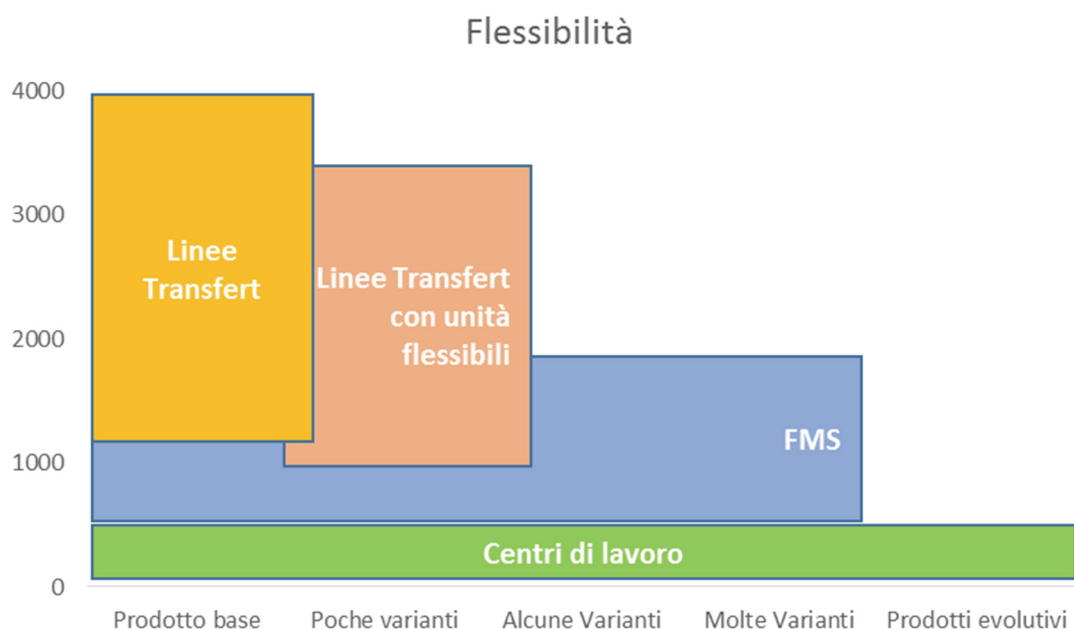


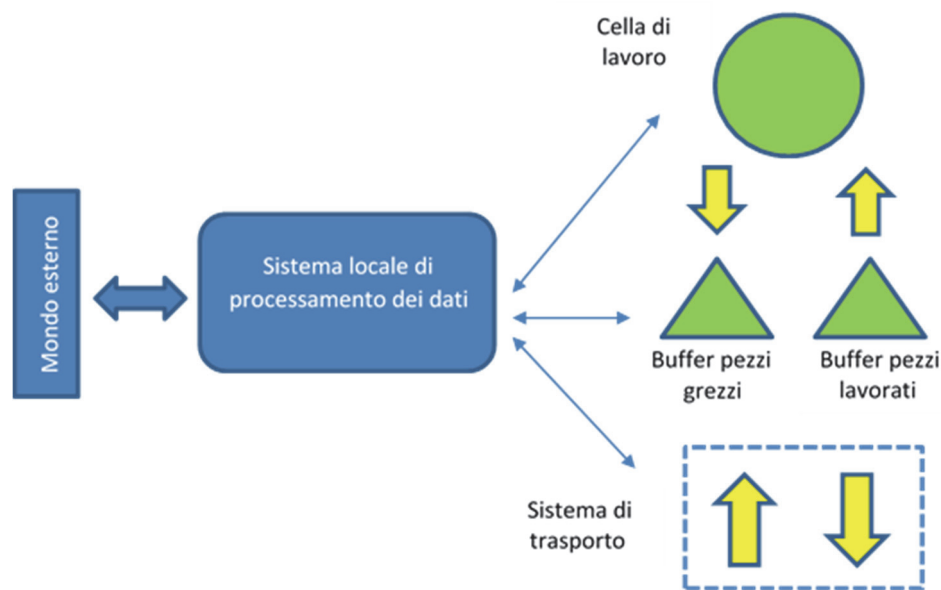
Figura 1. Flessibilità/Volumi - Sistemi di Produzione Innovativi - Politecnico di Torino

Il percorso di crescita e sviluppo della flessibilità produttiva è iniziato negli anni '70, quando le macchine flessibili erano in grado di compiere i movimenti guidate da un programma basato su un controllo di tipo numerico (CNC), superando il limite della dimensione spaziale

predefinita. Un PC di controllo diventa infatti parte integrante della macchina utensile, e l'operatore può agire manualmente per effettuare le modifiche sui controlli, creare programmi e salvare dati.

Un decennio più tardi, negli anni 1980-90, si sviluppa il sistema di produzione flessibile (Flexible Manufacturing System), ovvero un sistema di lavorazione altamente automatizzato composto da un insieme di macchine a controllo numerico interconnesse da un sistema automatico di movimentazione dei pezzi e controllato da un sistema distribuito di microprocessori.

Un FMS può essere pensato come un sistema d'informazione gestionale distribuito che collega tra loro sottosistemi intelligenti, detti nodi, costituiti da macchine di lavorazione, di collaudo, di lavaggio, di montaggio e da sistemi di trasporto ed immagazzinamento. Schematicamente, un sistema di produzione flessibile potrebbe essere rappresentato come segue:



*Figura 2. Flexible Manufacturing System – schema di funzionamento –
Sistemi di Produzione Innovativi – Politecnico di Torino*

Il vantaggio di questo sistema, in termini di flessibilità, consiste nel poter lavorare contemporaneamente sulle varie stazioni di lavoro pezzi differenti, ed il mix di parti e la loro quantità può essere aggiustata al variare della domanda.

Nel 1990 i sistemi produttivi nati in Giappone hanno posto l'accento anche su quelli che sono gli aspetti logistici, al fine di migliorare transizione, ridurre la dimensione dei lotti e abbreviare i tempi di reazione ai cambiamenti del mercato.

Negli anni 2000 si è assistito ad una graduale introduzione delle macchine a controllo numerico nei sistemi di produzione di massa, e, un decennio più tardi, alla completa introduzione delle macchine CNC e dei robot in tali sistemi.

Da sempre comunque, l'obiettivo rimane quello di ridurre gli investimenti al fine di accettare e gestire al meglio nuovi volumi e prodotti.

1.1 Tecniche di risposta in ambito manufacturing alle variazioni della domanda

Quando l'ambiente in cui opera l'industria è instabile, a causa ad esempio della volatilità della domanda, le risorse e le capacità interne di un'azienda di dimensioni globali offrono un maggior numero di soluzioni per poter sviluppare delle strategie produttive.

Per questo motivo la tecnologia dei processi di produzione si sta evolvendo sempre di più in maniera flessibile in modo da consentire, con un investimento limitato, la *convertibilità* e l'*adattabilità* degli impianti, in relazione a quelle che sono le evoluzioni dei prodotti e dei mix produttivi.

Con convertibilità degli impianti produttivi si intende la capacità di riutilizzare il più possibile gli asset disponibili di tali stabilimenti per la realizzazione di nuovi prodotti che sostituiscono quelli già esistenti.

L'adattabilità è invece la capacità dei macchinari e dei sistemi di produzione di accettare facilmente l'inserimento di nuovi contenuti nei prodotti esistenti, con minime modifiche.

In tal modo si passa da un'architettura rigida ad una flessibile, che permette di gestire particolari diversi lavorati in modalità mix (non a lotti), e di accettare cambi nella schedulazione della produzione e modifiche tanto nella composizione del mix che nel volume di produzione.

Prodotti e Mix Produttivi

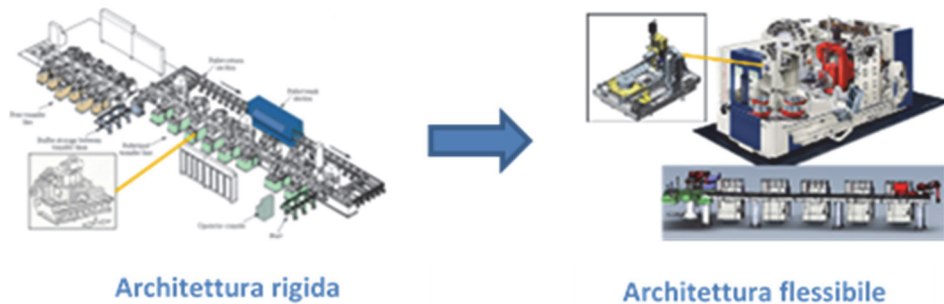


Figura 3. Evoluzione dei sistemi produttivi – convertibilità e adattabilità

I layout vengono disegnati in funzione di possibili cambiamenti della produzione in modo tale che, qualora dovessero cambiare i prodotti in lavorazione, gli stabilimenti possano essere in grado di accettare tali variazioni senza oneri eccessivi.

Lo studio del layout si pone l'obiettivo di rispondere alle variazioni della domanda, cercando di mantenere i costi il più possibile contenuti, senza dover riprogettare totalmente il prodotto in caso di variazioni della richiesta clienti.

Si cerca quindi di progettare la sistemazione plano-altimetrica dell'impianto industriale non più in maniera rigida, come si poteva fare quando i volumi di produzione erano relativamente bassi, ma di adattarla ad una produzione su scala mondiale caratterizzata da alti volumi. Garantire sufficiente flessibilità per le modifiche di mix ed elevata elasticità per le modifiche di volume sono gli elementi principali sui quali basare la riprogettazione del layout.

Bisogna quindi ricercare e realizzare una disposizione più congeniale delle attrezzature industriali, incluse la mano d'opera, il macchinario, le scorte, i trasporti interni ed i servizi accessori.

Nelle linee di lavorazione si tenderà a garantire l'espandibilità, vale a dire, permettere di aggiungere macchinari sia per introdurre ulteriori fasi del ciclo, sia per rispondere con il minimo impatto all'aumento di volumi (domanda).

Nella Figura 4 sono messe a confronto due configurazioni in serie e in parallelo e sicuramente, tra le due, il raggruppamento in parallelo presenta una maggiore flessibilità in termini di espandibilità; la configurazione in serie, sebbene più rigida, rimane comunque valida per bassi volumi.

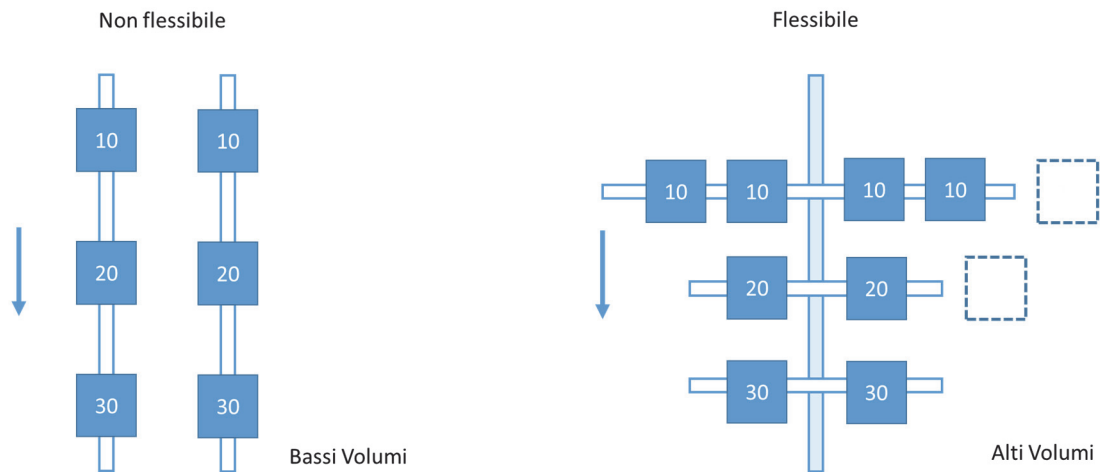


Figura 4. Evoluzione linea flessibile - lavorazione

Nel layout in parallelo diventa molto più semplice e soprattutto meno dispendioso aggiungere nuove macchine; se, infatti, nella linea in serie un incremento di capacità richiede la duplicazione dell'intero segmento di processo, nel raggruppamento in parallelo esiste una maggiore granulosità e si possono aggiungere singole macchine asservite dalla stessa automazione.

Anche nel montaggio la configurazione del layout ha un impatto fondamentale sulla flessibilità ed espandibilità.

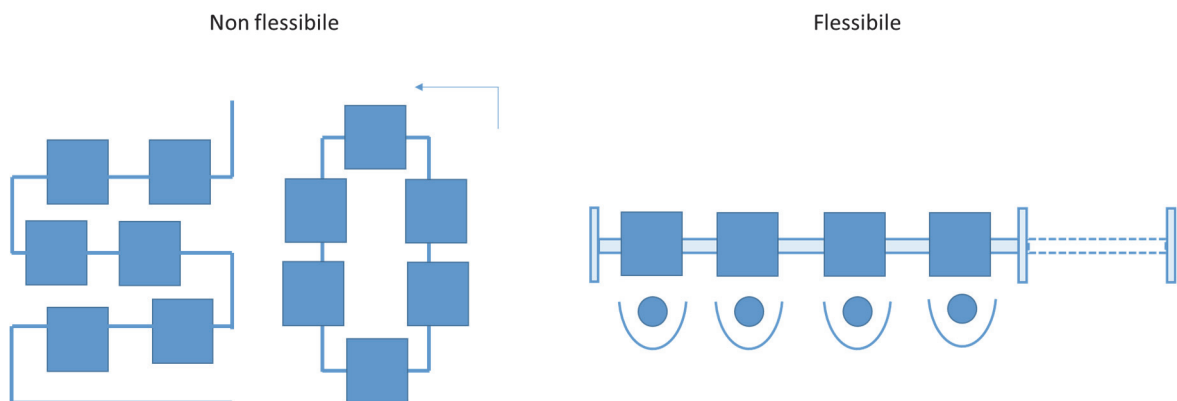


Figura 5. Evoluzione linea flessibile - montaggio

Nel caso dei processi Powertrain uno degli elementi fondamentali della produzione di massa su una linea è rappresentato dal pallet, che garantisce trasporto sul convogliatore e, in alcuni casi, fa anche da riferimento per le operazioni di trasformazione vere e proprie.

Tra i problemi connessi all'utilizzo dei pallet vi è il ritorno dei vuoti nel punto iniziale della linea. Per tale ragione in passato si tendeva a creare layout chiusi in modo da minimizzare l'attraversamento con pallet vuoto, riducendo così i costi del trasportatore e l'utilizzo dello spazio. Tuttavia queste configurazioni hanno il limite di non permettere aggiunte/rimozioni di processo e la libertà nella ridistribuzione delle operazioni è bassa.

Anche la configurazione cosiddetta "a serpente", sebbene permettesse di risparmiare spazio, aveva come conseguenza negativa quella di limitare le evoluzioni del processo guidate dai cambiamenti di prodotto.

Come anticipato precedentemente, oltre alla flessibilità vera e propria dei processi, un'altra risorsa su cui le aziende globali possono fare leva è il cosiddetto *modello cloud* dell'utilizzo della capacità. Si tratta di creare un'interconnessione attraverso database delle informazioni presenti in ogni region circa:

- La disponibilità di capacità produttiva
- La domanda di ogni regione, con eventuali differenze all'interno di una data famiglia di prodotto
- I costi logistici e i tempi di attraversamento
- I costi di stoccaggio eventuali

Per poter far funzionare il cloud, oltre al database è necessario prevedere un coordinamento centralizzato attraverso funzioni come il Manufacturing o piattaforme di Program Management, che guardino ai fabbisogni ed alle disponibilità complessive e cooperino con la logistica internazionale per rendere possibile il soddisfacimento della domanda tra più stabilimenti.

2 FCA Group

Fiat Chrysler Automobiles (FCA) è un'azienda che progetta, sviluppa, produce e commercializza in tutto il mondo vetture, veicoli commerciali, componenti e sistemi di produzione. Il Gruppo opera nel mercato automotive con i marchi Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Dodge, Fiat, Fiat Professional, Jeep, Lancia, Ram, SRT, Maserati e Mopar, il brand che offre servizi post-vendita e ricambi. Le attività del Gruppo includono anche Comau (sistemi di produzione), Magneti Marelli (componenti) e Teksid (fonderie).

FCA fornisce inoltre servizi di finanziamento, di leasing e di noleggio a supporto del business automobilistico attraverso società controllate, joint venture e accordi con operatori finanziari specializzati.

Il Gruppo opera attraverso società localizzate in più di 40 Paesi e intrattiene rapporti commerciali con clienti in oltre 140 Paesi in tutto il mondo.

2.1 Global Manufacturing Engineering Powertrain

Come anticipato nell'Introduzione, l'ambito in cui si colloca il lavoro sviluppato in questo elaborato è quello del *Global Manufacturing Engineering Powertrain*.

Ancora oggi, non è presente in letteratura una definizione di *Global Manufacturing*; in generale si intende una rete di attività situate in diversi paesi, a livello globale.

L'organizzazione del *Global Manufacturing Engineering Powertrain* ha come focus principale quello di coordinare i manufacturing engineering regionali dal punto di vista sia della standardizzazione dei processi sia dell'ottimizzazione degli investimenti.

Uno degli scopi cardine di questa funzione trasversale è quello di ottenere una rete di collaborazione e di condivisione delle competenze a livello globale.

Partendo dall'etimologia della parola, con *Powertrain* si intende l'insieme di motore e trasmissione: il motore è ciò che permette di generare il moto, mentre la trasmissione è ciò che permette il trasferimento del moto dal motore stesso agli organi che realizzano il movimento.

2.2 World Class Manufacturing

*“Loss identification depends on your eyes...
people improve their eyes as they learn”*

Prof. Hajime Yamashina

Il WCM (World Class Manufacturing) è un sistema integrato che ha come intento quello di controllare e ridurre, fino all’eliminazione totale, tutti gli sprechi e le perdite attraverso un programma di miglioramento continuo della performance, ed il coinvolgimento di tutti i livelli e funzioni aziendali, attraverso l’applicazione rigorosa di metodi standardizzati.

Come altre metodologie che hanno le loro radici nella cultura giapponese, anche il WCM è rappresentato attraverso l’immagine di un tempio, le cui colonne portanti sono chiamate “pilastri”.

Il tempio della WCM è costituito da dieci pilastri tecnici e dieci pilastri manageriali. Ogni pilastro tecnico focalizza la propria attenzione su una specifica area del sistema produttivo-logistico, mentre quelli manageriali sono applicati all’interno dei primi e si riflettono sui modi e comportamenti dell’intero sistema aziendale.

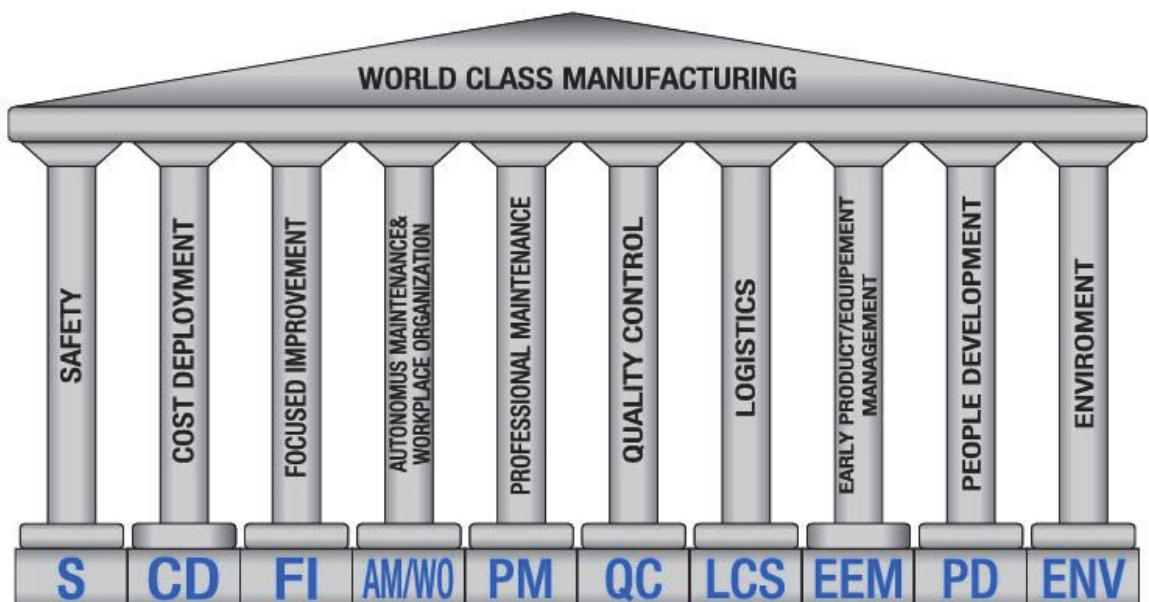


Figura 6. Tempio del World Class Manufacturing

Ogni pilastro è caratterizzato da: una fase reattiva, nella quale si identificano i problemi e le relative contromisure; una fase preventiva, in cui si eliminano le condizioni che potrebbero generare i problemi, evitando che un problema già riscontrato si possa ripetere; una fase proattiva, nella quale vengono adottate le misure necessarie per evitare l'insorgere di problemi che non si sono ancora manifestati.

2.2.1 I pilastri tecnici

Il primo pilastro del WCM è la Sicurezza (Safety).

In questa metodologia infatti, prima di applicare qualsiasi azione volta ad ottimizzare il sistema produttivo, bisogna garantire la sicurezza di tutti sul posto di lavoro.

Tra gli strumenti di questo pilastro è possibile citare la Piramide di Heinrich, che rappresenta le probabilità che in un sistema si verifichino degli *unsafe acts*, *unsafe conditions*, *near misses* (condizioni e situazioni insane) e incidenti.

La prevenzione delle situazioni insicure, dei comportamenti insicuri e dei near misses, è la vera e propria strategia per prevenire gli incidenti. Uno degli slogan più famosi del WCM è infatti *Zero accidents* (zero incidenti).

Una volta impostato il pilastro della Safety, si può passare ai piani per l'eliminazione degli sprechi. Questi piani sono rappresentati da una matrice, la *Matrice G*, che è l'output finale del pilastro del Cost Deployment.

Il Cost Deployment è costituito da sette matrici che vanno dalla schematizzazione del sistema produttivo, all'identificazione del principio di causale-risultante, alla quantificazione economica delle perdite, alla loro eliminazione, ed infine alla strutturazione di progetti che vengono costantemente monitorati. Questo processo è così consolidato all'interno di FCA che gli stabilimenti sono ormai in grado di basare il proprio budget annuale sulla matrice dei progetti.

Attraverso le matrici del Cost Deployment vengono quindi anche individuate le aree dove ogni singolo pilastro dovrà applicare il proprio lavoro; questa è una delle ragioni per cui il Cost Deployment è anche chiamato la bussola del WCM.

Nel World Class Manufacturing l'attenzione è centrata sia sul miglioramento continuo che sul miglioramento incrementale; il primo attraverso l'azione di pilastri come *Autonomus*

Maintenance, Professional Maintenance e Focus Improvement, ed il secondo soprattutto attraverso i pilastri *Early Product Equipment/Management*.

Per quanto riguarda la misura dei risultati delle azioni implementate, esistono due indicatori chiave: i KPI (Key Performance Indicators) ed i KAI (Key Activities Indicators).

I primi rappresentano un indice del miglioramento dei progetti, e valutano i risultati effettivi quali ad esempio profitti, vendite, Mean Time Between Failure (MTBF) o il tasso di qualità del prodotto. I KAI sono invece indicatori riguardanti attività svolte.

In sintesi i KPI misurano i risultati, mentre i KAI rappresentano le modalità con cui questi risultati vengono raggiunti. Per fare un esempio, il numero di guasti per macchina è un KPI, mentre la quantità di cartellini emessi per segnalare le anomalie del macchinario è un KAI.

I pilastri di Autonomus Maintenance e Professional Maintenance si occupano di raggiungere l'obiettivo di zero guasti. Il primo attraverso la totale partecipazione degli addetti macchina che contribuiscono con dei cicli di pulizia e ispezione ad evitarne il degrado, il secondo con l'applicazione della manutenzione professionale, passando dalle tecniche preventive fino a quelle predittive.

Tra i risultati tangibili della manutenzione professionale, dopo aver eliminato i guasti, quello di contenere i costi dei ricambi attraverso l'allungamento del ciclo di vita, ma anche attraverso modifiche migliorative dei componenti, è sicuramente uno dei più rilevanti.

Uno dei pilastri trasversali, nonché principale responsabile del miglioramento continuo, è il focus improvement. Questo pilastro viene definito duplice in quanto da una parte ha un approccio sistematico, dall'altro un approccio focalizzato.

L'approccio sistematico consiste nel definire una linea guida ed una competenza a disposizione di tutti gli altri pilastri; questo significa che il focus improvement mette a disposizione strumenti e metodi funzionali a tutta l'impalcatura.

Dall'altro lato, il focus improvement nella sua declinazione sistematica è il principale attore in grado di attaccare le cosiddette perdite sistemiche, ovvero quelle perdite per cui diventa più complesso identificare le cause radici (un effetto – molteplici cause).

L'approccio focalizzato, invece, è il classico approccio di eliminazione di una singola causa che ha un singolo effetto.

Un esempio di applicazione dell'approccio focalizzato sono tutti gli strumenti di miglioramento continuo, come ad esempio le 4M, i 5 WHYS ed i Kaizen.

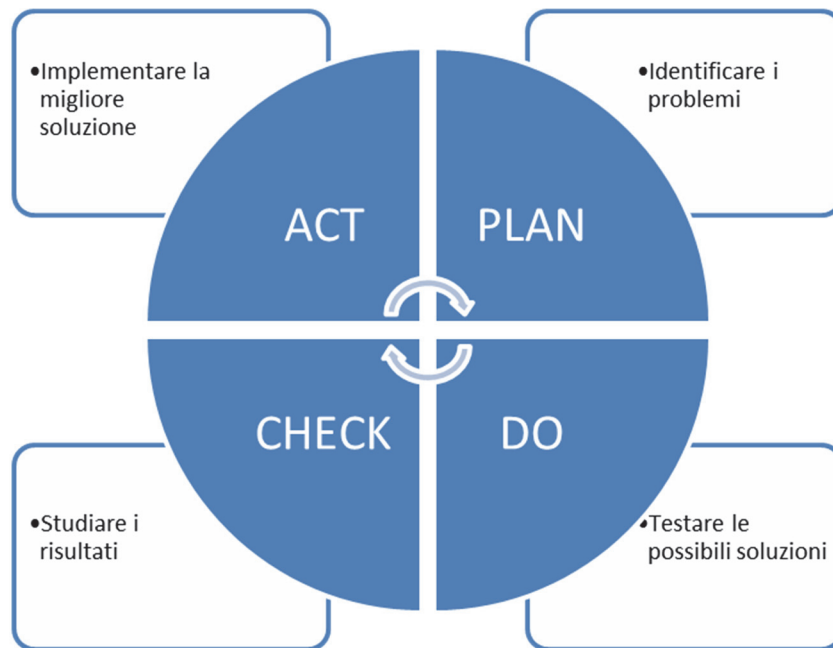


Figura 7. Schema PDCA

Oltre al focus improvement, altri cinque pilastri presentano un approccio sistematico, agendo quindi trasversalmente, anche se in alcuni casi possono presentare azioni focalizzate su specifiche perdite. Questi pilastri sono il Quality Control, Logistics, People Development, Environmental.

Infine, di grande rilevanza è il pilastro dell'Early Product Equipment/Management, che è probabilmente quello che presenta l'approccio più preventivo in quanto si prefigge il compito di collaborare con lo sviluppo prodotto per disegnare componenti che siano producibili in ambito manufacturing con la massima standardizzazione ed il minor impatto in termini di perdite.

Esempi frequenti già applicati anche nel sistema produttivo Toyota sono l'unificazione di alcuni tipi di minuterie in fase di progettazione con conseguente semplificazione della gestione dei part number.

2.2.2 Cenni storici

Nel 1984, due autori americani, Hayes e Wheelwright (1984), proposero un nuovo modello di gestione chiamato World-Class Manufacturing (WCM), legato ai principi del Toyota Production System (TPS), del Just In Time (JIT) e del Total Quality Control (TQC). Gli autori hanno introdotto un insieme di principi, di pratiche e tecniche che condurrebbero le aziende a migliori prestazioni (Flynn, Schroeder e Flynn 1999).

Hayes e Wheelwright avevano pensato che il “senso di direzione” di un produttore di classe mondiale dovesse essere quello di diventare una società con performance superiori alle altre, soprattutto nella gestione delle operazioni.

Ispirato dalla ricerca di Hayes e Wheelwright (1984), Schonberger (1986) reinterpretò il WCM creando un nuovo modello. Dalla fine degli anni novanta, il WCM iniziò a svanire mentre prendeva piede la Lean Production.

Negli ultimi decenni infatti, il sistema produttivo di Toyota, il JIT, il TQC e la Lean production, sono stati adottati ed implementati da numerose imprese, che hanno quindi iniziato a reinventare la loro gestione strategica, contabile, i sistemi di misurazione delle performance e la gestione operativa. Il TPS e la Produzione Lean hanno quindi gettato le basi per i nuovi modelli di World Class Manufacturing.

FCA ha reinventato il modello di WCM di Toyota, sviluppando i propri elementi principali in quattro dimensioni: la gestione strategica, la gestione della contabilità, la gestione operativa e la misura delle prestazioni.

In particolare, nel 2006 FCA ha lanciato ufficialmente il suo modello di WCM per le società del gruppo e per i suoi fornitori. Quello di Fiat è un modello basato sui concetti principali del “Total Industrial Engineering”, TQC, TPM e JIT, ma si caratterizza soprattutto per l'introduzione del Cost Deployment, che funge da bussola per i vari pilastri.

Nel WCM, a differenza di metodologie analoghe, è fondamentale che ci sia sempre un'analisi costo-beneficio prima di procedere con l'applicazione di qualunque strumento, fatta eccezione per le questioni inerenti la sicurezza e le applicazioni che hanno una ricaduta di lungo termine.

Una delle evoluzioni del WCM rispetto a quella che era stata la sua iniziale concezione nell'idea di Hayes e Wheelwright è la necessità di calibrare perfettamente le contromisure

rispetto alle origini del problema. Questo concetto è spesso riportato in una terminologia più semplificata attraverso l'affermazione “*Right medicine for right sickness*”.

Questa nuova filosofia che caratterizza il World Class rinnovato del terzo millennio nasce come critica ad alcuni utilizzi esasperati del TPM e del TPS, delle tecniche di prevenzione dei guasti, che finivano per avere dei costi molto elevati e facevano disperdere il beneficio della loro applicazione.

2.3 La rinascita del WCM in Fiat

Un nuovo modo di produrre.

Coinvolgimento delle persone, creazione di valore,

soddisfazione del cliente.

Luciano Massone, Head of EMEA World Class Manufacturing & Projects

La rete produttiva di FCA è composta di 159 stabilimenti per l'assemblaggio di automobili, veicoli commerciali leggeri, motori e parti nei quali vengono realizzati prodotti pluripremiati su piattaforme strategicamente condivise.

Il miglioramento continuo e quello incrementale rappresentano sicuramente una risorsa fondamentale sia per FCA che per tutta la catena di fornitura.

A tal fine FCA Group ha deciso di abbracciare gli standard e le linee guida del WCM, elaborando in prima persona una declinazione di tale metodologia sul proprio modello di business. Tutto ciò è stato possibile attraverso il lavoro di esperti europei, giapponesi, e alcune aziende di altri settori che avevano la stessa necessità ed hanno intrapreso questo percorso insieme.

In tal modo è stato definito un nuovo sistema produttivo, volto a garantire la qualità totale, la manutenzione a zero guasti, l'ottimizzazione dei costi e della logistica all'interno dell'intera organizzazione.

In questa nuova visione del manufacturing, la sicurezza è il nucleo intorno al quale devono ruotare tutte le altre funzioni. La WCM di Fiat è sostenuta da 10 pilastri manageriali e da 10 pilastri tecnici.

I 10 pilastri manageriali consistono nell'impegno gestionale, la chiarezza degli obiettivi, il percorso verso la WCM, la ripartizione dei ruoli tra persone altamente qualificate, l'impegno organizzativo, la competenza organizzativa, il tempo ed il budget, il livello di dettaglio, il livello di espansione e crescita e la motivazione degli operatori.

Questi pilastri manageriali sono legati ai 10 pilastri tecnici, rappresentati dalla sicurezza, dall'analisi delle perdite, dal miglioramento focalizzato, dalle attività autonome, dalla manutenzione professionale, dalla qualità, dalla logistica, dall'early equipment – gestione dei prodotti, nonché dallo sviluppo delle risorse umane e dell'ambiente.

Il modello di Fiat non rimane immutato nel tempo. Negli ultimi anni, nel pilastro dell'ambiente è stato introdotto un sotto-pilastro dell'energia, per ridurre gli sprechi e ottenere una maggiore efficienza energetica.

Inoltre, è interessante notare l'enfasi data all' "impegno gestionale" e alla "chiarezza degli obiettivi" all'interno dei pilastri manageriali. Questi ultimi potrebbero essere principalmente legati al raggiungimento di traguardi strategici quali la sicurezza, il risparmio dei costi, la qualità e la sostenibilità ambientale che sono parti integranti della gestione strategica del WCM.

Nel modello WCM di Fiat, così come in quello di TPS-Lean, la qualità ed il livello di servizio sono essenziali, ed è per questo che il Cost Deployment viene preso come guida verso una riduzione degli sprechi e delle perdite per raggiungere la massima qualità del prodotto e dunque la soddisfazione del cliente. Tutti gli stabilimenti di FCA, così come i loro fornitori, sono sottoposti a un sistema di misurazione delle prestazioni basato in primo luogo su un'auto-valutazione, e poi ad un audit da parte degli auditors di FCA.

Un punteggio da 0 a 5 è assegnato all'impianto per ogni metodologia applicata. Quando il punteggio è 0, la metodologia non è stata applicata. Al contrario, quando il punteggio è 5, significa che la metodologia è stata completamente compresa e implementata in tutti i processi coinvolti. L'audit si basa su sette fasi di attuazione per ciascuna metodologia.

La somma di tutti i punteggi stabilisce un voto complessivo che può variare da 0 a 100 (denominato Methodology Implementation Index); in base al risultato totale raggiunto, l'impianto è associato ad uno dei seguenti quattro livelli: bronzo, argento, oro e classe mondiale. Il premio acquisito dalle organizzazioni rappresenta una certificazione e può essere utilizzato anche da altre organizzazioni come un processo di benchmark.

La certificazione con i quattro differenti livelli è emessa direttamente dall'associazione WCM e non da Fiat.

Inoltre, all'interno del sistema di misurazione delle prestazioni, l'analisi dei documenti consente di constatare che un range differente di indicatori KPIs è definito a livelli diversi. I KPIs sono legati al lead time, al work in process, all'overall equipment effectiveness (OEE), alla qualità interna ed esterna, al livello di servizio, alla sicurezza, all'ergonomia, all'ambiente e alla partecipazione delle persone.

Gli strumenti applicati dal modello WCM di Fiat sono il 5S, 5WHYs, il diagramma di causa ed effetto, FMEA, Kanban, poka-yoke, SMED.

Infine, un elemento fondamentale del World Class Manufacturing è il ruolo che le persone svolgono all'interno del processo produttivo.

L'approccio di FCA non è focalizzato solo sull'automazione e l'utilizzo di tecnologie innovative, bensì viene dato un peso rilevante al lavoro di squadra, ai metodi di formazione avanzati ed al coinvolgimento delle persone, con lo scopo di ottenere la massima efficienza produttiva e qualità del prodotto finale. Motivare i dipendenti ad ogni livello dell'organizzazione e investire su di essi è ciò che realmente conta per raggiungere l'eccellenza del sistema produttivo, ed è alla base della cultura industriale di FCA.

2.4 La metodologia WCT

Sulla base della lunga esperienza in ambito Manufacturing di WCM portata avanti da FCA, l'idea di poter migliorare altri processi aziendali con l'utilizzo di metodi World Class ha sempre più preso piede, sino all'elaborazione di una metodologia orientata a migliorare il modo di lavorare di enti che si occupano della progettazione dei processi, chiamata WCT.

Il WCT nasce come risposta ad una serie di sfide:

- Quali sono gli ingredienti per garantire un lancio produttivo di successo?
- Come garantire all'interno della progettazione dei processi l'aderenza ai principi del WCM?
- Come garantire la crescita e l'aumento delle competenze dell'organizzazione?

Il WCT consiste di dieci pilastri tecnici e dieci pilastri manageriali come il WCM, con particolare attenzione all'ottimizzazione dei costi di funzionamento facendo leva sulle cosiddette Lessons Learnt, ovvero l'esperienza del mondo della produzione sul miglioramento continuo che ritorna come segnale retroattivo verso la progettazione dei processi per dare miglioramenti incrementali World Class.

Alcuni pilastri del WCT ripartono dalla teoria del WCM, come il Cost Deployment, il Focus Improvement, People Development, Early Product, Early Equipment. Gli altri cinque sono Innovation, Process Design, Manufacturing Planning, Manufacturing Program Management e Digital Validation.

2.5 Il pilastro MP

Il pilastro dell'MP ha come obiettivo ultimo quello di migliorare l'accuratezza della pianificazione della capacità produttiva sia in termini di investimenti che di running cost (costi di funzionamento). Per fare ciò si avvale di una serie di strumenti operativi tra cui la Heat Map, che ha lo scopo di tenere aggiornato lo stato di salute delle attrezzature e dei macchinari presenti all'interno dei siti produttivi.

La conoscenza dello stato di salute di un macchinario può determinare in prima istanza una valutazione sui costi per il suo riutilizzo o la sua riconversione nel caso ve ne sia l'opportunità.

Uno strumento che fornisca un quadro completo dello stato di salute di centinaia di migliaia di macchinari in tutto il mondo permette al pianificatore di valutare velocemente possibili alternative di riutilizzo di capacità esistenti, con conseguente beneficio per l'investimento finale. Da qui il valore significativo della Heat Map all'interno dell'MP Pillar.

L'MP parte dalle specifiche di prodotto, quindi dalla raccolta di dati degli scenari esistenti che includono lo stato degli asset, le informazioni presenti nei cataloghi dei macchinari, le informazioni derivanti dal pilastro dell'innovation, ma anche il costo della manodopera e degli altri running cost di ciascun sito produttivo.

Attraverso sette step consecutivi, l'MP definisce i siti candidabili per realizzare la produzione, ne raccoglie i business case e seleziona i migliori candidati che vengono poi passati al pilastro del Program Management.

3 Il tema della Produzione multi-allocata

Con prodotto multi-allocato si intende un prodotto o componente che viene lavorato e montato da stabilimenti in differenti regioni.

Diventa fondamentale, in un contesto simile, gestire un modello di programmazione dinamico, standardizzato per tutti gli stabilimenti e automatizzato, che permetta una gestione strategica globale delle capacità produttive di un'impresa.

L'integrazione delle attività operative è quindi il principale strumento per garantire un elevato livello di servizio al cliente, ed eseguire la fornitura di prodotti o servizi richiesti nella quantità, condizione, luogo e tempo concordati.

3.1 Strategia di breve e lungo termine

La variabilità del mercato richiede una continua evoluzione ed innovazione dell'offerta e una sua sempre più spinta personalizzazione. Questo richiede una buona elasticità del sistema produttivo, per rispondere a variazioni quantitative del mercato, ed una adeguata flessibilità del processo produttivo per rispondere alle variazioni qualitative.

Il problema che si è affrontato con il progetto di tesi è stato quello di soddisfare determinate esigenze legate alla ricerca di nuove strategie su breve e lungo termine relative allo studio delle capacità produttive attuali e future degli stabilimenti esistenti.

- Nel breve periodo, la pianificazione della capacità viene valutata focalizzandosi sulle risorse esistenti, la velocità di reazione ed un contenimento degli investimenti.
- Nel lungo periodo, la pianificazione ha una dimensione più strategica, vista sotto il profilo di investimenti di ampia scala.

Questo processo di pianificazione della capacità si può seguire in tre step, che permettono di rispondere alle richieste cliente attraverso la reazione di breve termine, garantendone la coerenza con la soluzione di più ampio respiro, ovvero di lungo termine.

1. Breve periodo: identificazione di un supporto alla strategia di breve termine all'interno delle regioni che stanno già producendo un prodotto simile. In questo caso

gli strumenti a disposizione sono il Bridge, gli extra-shift, gli incrementi della capacità esistente. Il beneficio che si ottiene è il posticipo degli investimenti.

2. Medio e lungo periodo: si utilizzano le sinergie esistenti tra i differenti siti produttivi, al fine di ottimizzare le tempistiche di progetto e in particolare accelerando la fase di industrializzazione.
3. Medio e lungo periodo: si utilizzano gli asset disponibili su scala globale prima di incrementare le capacità esistenti. In questo modo si minimizzano i rischi di “overcapacity”.

Per chiarire questo processo è possibile considerare un esempio.

Le analisi di mercato rivelano una domanda emergente di prodotto X nella regione del plant B che al momento non potrebbe essere soddisfatta.

Oltre al Plant B, anche il Plant A è deputato a produrre “X”.

Al momento il plant A è già attrezzato per la produzione, mentre il plant B ha un piano di industrializzazione che prevede la partenza tra un anno.

Sfruttando la metodologia di breve e lungo termine si stabilisce la modalità più conveniente per approvvigionare il mercato di B senza intaccare la richiesta di A.

Nella fattispecie si valuta la saturazione attuale di A e la possibilità di esportare prodotti X da A verso B. Nel caso in cui A fosse già saturo, lo step successivo è quello di capire quando si può ancora aumentare l’apertura impianto, sostenendo extra costi per turni di straordinario. Infine, se ancora ciò non fosse sufficiente, si può valutare il cosiddetto de-bottlenecking, ovvero investimento minimo e rapido sui colli di bottiglia per allargare la capacità nominale. Ognuna di queste azioni porta con sé dei costi, sia di trasformazione che logistici, che vengono computati in un’analisi costo-beneficio che tiene conto del costo complessivo di mancata vendita o in alternativa del costo di anticipare il lancio del plant B, ove possibile.

La strategia di breve termine deve produrre soluzioni che non contrastino con quella di lungo termine. Questo vincolo è fondamentale per evitare di aumentare il costo definitivo dell’investimento totale.

Quella che viene chiamata azione di mid-term è invece uno step intermedio tra il breve ed il lungo, che si può descrivere con l’esempio seguente.

Il plant A può soddisfare parte della domanda di B, ma le previsioni di mercato mostrano un aumento delle richieste. Una delle possibili leve per creare capacità produttiva disponibile è quella di comprimere i tempi di industrializzazione utilizzando le sinergie con i vari siti produttivi (si pensi ad esempio al trasferimento temporaneo di risorse che hanno il know-how).

Le azioni intraprese finora non sono sufficienti per soddisfare l'intera domanda nel lungo termine, ma solo per risolvere il problema nell'immediato.

Sarà poi con la strategia di lungo termine che si deciderà effettivamente la configurazione ottimale per allocare la produzione. Tale soluzione in genere è un ottimo che può variare tra due estremi, definiti *regional allocation* e *product specialization*.

Il metodo del "regional allocation" o, letteralmente, allocazione regionale, consiste nel minimizzare i costi logistici: ogni regione produce solo ciò che consuma.

Con il metodo del "product specialization" invece, ogni regione si "specializza" nella produzione ottimizzata di uno o più prodotti, che fornisce alle altre regioni ad un prezzo competitivo.

4 Il progetto di tesi

I progetti sviluppati in azienda per questa tesi sono incentrati tanto sul breve periodo, per quanto riguarda l'implementazione del calcolo del banking, quanto sul lungo periodo, per quanto riguarda analisi future di allocazione delle capacità produttive e delle risorse, tramite criteri e metodi di gestione e controllo dell'avanzamento della pianificazione della produzione.

Un terzo studio verterà sulla rappresentazione grafica dello status dei macchinari, con lo scopo di visualizzare gli stabilimenti e le condizioni di tali macchine, valutandone le possibilità di riutilizzo e convertibilità.

Lo studio che è stato svolto per i tre argomenti affrontati in questa trattazione è quindi considerato parte integrante di quello che è noto come “Supporto alla Produzione”, ovvero quel processo di pianificazione, programmazione e supporto riferito alle attività di produzione.

Nel caso specifico, ci si riferisce a tutto ciò che richiede la preparazione di un programma generale di produzione, con relativa valutazione delle capacità produttive esistenti e future, disponibilità della manodopera, analisi dei costi e gestione delle scorte dei materiali in lavorazione.

Il problema intorno al quale ruota l'intera trattazione è quello che sorge quando una nuova domanda e nuove esigenze della clientela, dovute per esempio a nuove normative ecologiche ed ambientali, si affacciano sul mercato, e l'impresa che vi opera deve riuscire ad adattare le proprie capacità a questi cambiamenti, al fine di mantenere un elevato livello di servizio ai clienti.

In un contesto simile, in cui bisogna fare leva sull'ottimizzazione del tempo cercando di soddisfare la domanda al minor costo possibile, un'azienda che opera su scala globale deve chiedersi:

1. Esiste la disponibilità di prodotti simili a quelli richiesti nelle altre regions?
2. Esiste, attualmente, capacità disponibile in altre regions?
3. Esistono sinergie con altre regions (investimenti, bridge, alternative)?

Lo studio globale è supportato da studi a livello regionale (quattro regions da considerare), che permettono di definire gli input per generare tutte le possibili combinazioni di allocazione per un prodotto multi-allocato.

Uno degli obiettivi è quello di standardizzare un approccio all'investimento e di definire la tempistica corretta per lanciare le diverse capacità produttive. Tutto questo è possibile se si cerca contemporaneamente di:

1. Investire in modo modulare (per evitare i rischi di una domanda variabile) e dilazionare l'investimento nel tempo, riducendo i rischi di over-capacity.
2. Creare sinergie tra gli stabilimenti tramite calcoli di banking e avvalendosi delle Heat Map (cercando di utilizzare al massimo gli asset esistenti) per rispondere alla domanda: "*dove conviene produrre?*"

Per sviluppare la strategia di allocazione sono stati seguiti due metodi operativi. Il primo consiste nell'applicare uno *stretching* di quella che è la capacità produttiva degli stabilimenti presenti nel perimetro di analisi, al fine di sfruttarla al massimo e di impiegare tutte le risorse produttive a disposizione. Questa tecnica è anche detta *Squeeze the Lemon*, e si può avvalere anche dell'utilizzo del Banking.

Il Banking consiste nell'anticipare la produzione che verrà poi utilizzata in intervalli temporali successivi sulla base della domanda del plant cliente. Nel caso dello *Squeeze the Lemon* il banking può essere fatto sia da un plant che anticipa la propria domanda, nell'eventualità in cui ci sia un rischio futuro di non disporre di capacità, sia da un plant che produce in anticipo per altri siti che non dispongono di capacità sufficiente a coprire tutto il proprio fabbisogno.

Per poter ottenere uno studio accurato, il banking deve essere valutato prima su scala annuale, poi mensile, poi settimanale.

Il secondo metodo consiste invece in un incremento della capacità produttiva, quindi un investimento, considerando scenari di lungo termine.

Uno degli strumenti a supporto dell'investimento è proprio la *Heat Map*, che permette di evidenziare quali zone dello stabilimento (quali macchine) siano effettivamente convertibili/riutilizzabili e quali no. Per poter costruire la Heat Map è necessario prendere in

considerazione diversi aspetti e caratteristiche delle macchine, quali ad esempio l'età, il rischio di obsolescenza, la sua flessibilità, etc.

Ogni regione costruisce una o più proposte di investimento di capacità produttiva considerando le opportunità fornite dalla Heat Map. Una volta costruite tutte le opzioni, si può passare all'*Optimal Planning Tool*, strumento che permette di individuare, tra le diverse proposte, quella più conveniente. Tramite un Business Case sarà possibile individuare la soluzione ottimale. Ovviamente le combinazioni possibili sono infinite; per ridurre il range di alternative vengono impostati determinati limiti, e la soluzione ottimale sarà compresa tra due casi estremi: produco nel mercato in cui vendo / produco tutto dove costa meno.

I risultati proposti coinvolgono la responsabilità per l'immagazzinaggio delle scorte negli stabilimenti di produzione e il coordinamento, con la massima flessibilità, dell'eventuale anticipazione delle attività di produzione e spostamento geografico tra le operazioni di produzione e quelle di distribuzione fisica. Questa trattazione, nonché il progetto di tesi stesso, hanno come intento finale quello supportare la produzione tramite un'attenta pianificazione e di contribuire alla generazione di redditi assicurando al cliente il servizio strategicamente ottimale al costo totale più basso possibile.

È possibile riassumere i KPIs dell'intero progetto di tesi in tre elementi fondamentali:

- Conformità delle strutture agli standard globali
- Percentuale di riutilizzo degli asset – capacità produttive attuali
- Livello degli investimenti in relazione all'incremento di capacità applicato

Di seguito verranno presentati i principali punti sui quali si basano gli studi effettuati, distinguendoli in obiettivi di breve e di lungo termine.

4.1 Progetto sul breve termine

L'obiettivo dello studio sul breve termine è l'elaborazione di un progetto di ottimizzazione delle capacità produttive a livello globale che risponda alla domanda nell'immediato con investimenti contenuti. Ciò si fa prevedendo di realizzare un'implementazione degli standard di processo globali in ogni plant coinvolto. L'introduzione di tecnologie innovative e lo sviluppo di nuovi strumenti automatizzati e standardizzati sono fondamentali per

raggiungere tale fine. Un altro elemento essenziale per realizzare l'obiettivo prefissato è il raggiungimento del corretto coordinamento tra gli stabilimenti delle quattro regioni, al fine di accertare la loro conformità agli standard di processo seguiti.

Tutti gli step che lo studio segue devono avanzare di pari passo con il miglioramento continuo della precisione di pianificazione della capacità, al fine di realizzare un'analisi delle capacità produttive esistenti e delle sinergie tra gli stabilimenti per garantire un'offerta sufficiente a soddisfare la domanda, secondo un'ottica influenzata dalla teoria giapponese della lean production, e proposta di soluzione. L'analisi è quindi improntata alla comprensione degli aspetti gestionali correnti per ottimizzare queste strategie sul breve termine, e il focus è posto proprio sull'attuazione dei principi fondanti della World Class Manufacturing e della Lean Production.

I processi e le tecnologie impiegati sono di classe mondiale, conformi ai migliori standard globali, implementati per fornire soluzioni al minimo costo del ciclo di vita del prodotto (Life Cycle Cost). La visione del progetto è quella di fornire la pianificazione più accurata per sostenere l'organizzazione di WCT nello sviluppo di nuovi prodotti/processi. La strategia consiste dunque nello sviluppo ed implementazione di un solver Excel per il calcolo del Banking, nel contesto del Global Manufacturing – World Class Technology.

Gli strumenti a disposizione per la trattazione di questo studio sono le previsioni di prodotto/mercato, l'evasione degli ordini, il Master Production Schedule (MPS), il Material Requirement Planning (MRP) ed il Capacity Requirement Planning (CRP). Inoltre, risultano necessari alcuni dati ed informazioni quali ad esempio ben definiti standard di processo da attuare con nuovi programmi, analisi delle capacità produttive di tutte le strutture per lo sviluppo e l'implementazione di standard di processo globale

Di fondamentale importanza sono anche i database e la conoscenza globale delle capacità produttive, delle possibilità di incremento di capacità e dei costi relativi (investimenti + costi logistici + MOD, costi di gestione, layout generale), ed i Datasheets per individuare gli scenari migliori per un nuovo progetto (piano a lungo raggio, volumi e prodotti).

4.2 Progetto sul lungo termine

Anche nel caso del lungo termine, il fine ultimo dello studio sul breve termine è l'elaborazione di un progetto di ottimizzazione delle capacità produttive a livello globale. Nella fattispecie, oltre a realizzare un'implementazione degli standard di processo globali in ogni struttura e in ogni regione, introdurre tecnologie innovative e nuovi strumenti automatizzati, ricercare la coordinazione tra gli stabilimenti delle 4 regioni, al fine di accertare la loro conformità agli standard di processo seguiti. Tutti gli step che lo studio segue devono avanzare di pari passo con il miglioramento continuo della precisione di pianificazione della capacità,

- Miglioramento continuo della precisione di pianificazione e allocazione dei prodotti multi-allocati in termini di investimenti e costi di gestione.
- Garantire una selezione ottimale del sito e del processo considerando strategie globali e sinergie con le altre regioni.
- Fornire gli strumenti esatti della previsione di progettazione (Planning Forecast) per sostenere le strategie globali e regionali di Footprint.

L'analisi è, in questo caso, improntata alla comprensione degli aspetti gestionali correnti e delle potenzialità future per ottimizzazioni sul lungo termine, sempre attuando i principi fondanti della World Class Manufacturing e della Lean Production.

Lo scopo dell'intero studio consiste quindi nell'analizzare le capacità produttive esistenti e le sinergie tra i plant, esaminando le criticità gestionali legate a possibili incrementi produttivi futuri, secondo un'ottica influenzata dalle teorie giapponesi.

Verrà inoltre realizzata una valutazione dello status attuale dei macchinari per eventuali modifiche/ri-utilizzi, nonché lo sviluppo ed implementazione di un solver Excel per ottenere la migliore combinazione di centri di produzione e distribuzione per gestire l'offerta di due tipologie di motore, e di un File Excel automatizzato che permetta di avere uno strumento "visivo" necessario per dirigere e facilitare gli studi di capacità nella loro fase preliminare.

5 Banking

5.1 Premessa

Il calcolo del Banking rientra nel contesto della pianificazione strategica e consiste nella ricerca di un approccio generalizzato per sviluppare la pianificazione della capacità di un prodotto multi-allocato.

Realizzare uno strumento di sostegno alla programmazione della produzione è necessario per riuscire a bilanciare la produzione stessa in funzione della capacità produttiva, cercando dove è possibile di saturare gli impianti, massimizzare l'elasticità e la flessibilità della produzione, nel rispetto di quelli che sono criteri economici aziendali.

Una volta definito il piano principale di produzione, occorre verificare che le ore standard di lavoro degli impianti e la manodopera siano disponibili e sufficienti presso i centri di lavoro cui ci si riferisce; la valutazione del carico su ogni centro viene fatta solitamente a capacità infinita; l'aggiustamento capacità-carico viene cercato riallocando la forza lavoro, valutando cicli alternativi, sub-appaltando alcune lavorazioni o proponendo, eventualmente, modifiche al piano principale di produzione. Il bilanciamento capacità-carico volto alla verifica di congruenza è quindi necessario al fine di adattare le caratteristiche del sistema produttivo e sopperire alle eventuali incongruenze tra disponibile e necessario.

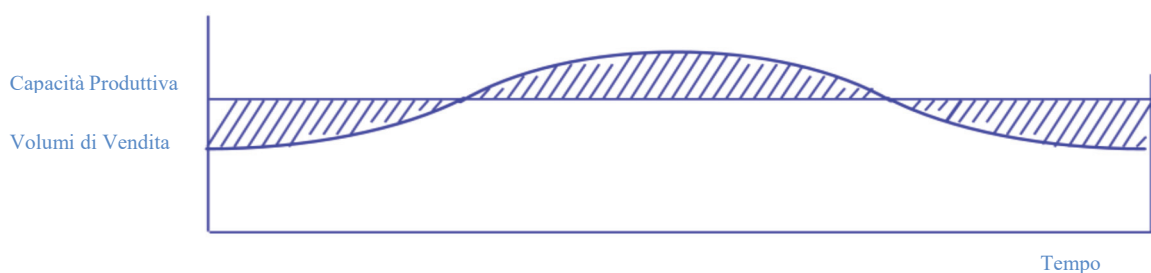


Grafico 1. Capacità produttiva e volumi di vendita

Nel breve periodo, gli strumenti a disposizione per modificare la capacità produttiva e fare incontrare nel modo più efficiente il mercato con la produzione sono:

- Il lavoro straordinario
- Turni aggiuntivi

- Scorte di disaccoppiamento
- Variazioni entità-forza lavoro
- Installazione di nuovi impianti
- Espansione dell'impianto esistente
- Trasformazione dell'impianto

La gestione di un prodotto multi-allocato richiede un'analisi di breve termine sulle opportunità delle capacità esistenti, e uno studio con visione di lungo termine al fine di orientare le decisioni future. Si vuole quindi tradurre la domanda dei clienti in un piano di produzione concreto: adeguare la capacità produttiva alla domanda del mercato è un problema nel quale la funzione obiettivo equivale alla minimizzazione dei costi, ed i vincoli sono il soddisfacimento della domanda e le limitazioni delle risorse.

Come anticipato nei capitoli precedenti, il Banking consiste essenzialmente nell'anticipare la produzione che verrà poi utilizzata in intervalli temporali successivi sulla base della domanda del plant cliente. Questa procedura può essere svolta sia da un plant che anticipa la propria domanda, nell'eventualità in cui ci sia un rischio futuro di non disporre di capacità sufficiente a soddisfare tale domanda, sia da un plant che produce in anticipo per altri siti che non dispongono di capacità sufficiente per coprire tutto il proprio fabbisogno.

Per massimizzare l'utilizzo delle opportunità esistenti sul breve termine, la possibilità di creare un banking della capacità produttiva, richiede, ad oggi, uno studio specifico. L'idea è quella di supportare le decisioni di investimento basate sulle capacità esistenti, cercando di creare un algoritmo per la definizione del banking sotto differenti condizioni, e stabilire uno strumento di calcolo per identificare i costi e le quantità. Il dipartimento di riferimento è quello del Global Manufacturing Engineering.

5.2 La capacità produttiva

I sistemi produttivi devono confrontarsi con la propria disponibilità di risorse, e spesso le aziende manifatturiere si trovano a dover affrontare una domanda che non corrisponde esattamente alla propria capacità produttiva. Per questo motivo, uno degli aspetti fondamentali della gestione della produzione è il bilanciamento tra la capacità produttiva e la domanda del mercato, nell'intento duplice di garantire la massima soddisfazione del

cliente e generare profitto. Lo scopo della gestione della capacità produttiva (Capacity Management) è quindi quello di analizzare e risolvere i problemi relativi al bilanciamento e all'impiego delle risorse produttive che, nel caso di un'impresa che opera in un campo mondiale, non è semplice da raggiungere.

Per capacità produttiva di un sistema si intende il massimo livello di attività a valore aggiunto che può essere garantito, in un preciso intervallo temporale, sotto condizioni operative "normali". La capacità produttiva è quindi il massimo flusso produttivo sviluppabile in condizioni standard dalle macchine, dai centri di lavoro e dai reparti di uno o più stabilimenti.

Generalmente, la capacità produttiva viene espressa in ore/macchina o in ore/uomo ed è influenzata da un insieme di fattori: macchinari, personale, tempo di apertura impianto, e terzi concorrono infatti alla determinazione della disponibilità di capacità di un sistema produttivo. Altri fattori tendono invece a ridurre la capacità produttiva, e non sempre sono prevedibili. Se, infatti, i tempi di set-up e la manutenzione programmata dipendono direttamente dalla programmazione della produzione, i difetti, lo stock-out, i guasti e fermi e l'assenteismo non possono essere previsti.

La capacità teorica di un sistema produttivo non corrisponde dunque alla capacità reale, alla quale bisogna fare riferimento in sede di programmazione della produzione per evitare di non riuscire a soddisfare la domanda per mancata disponibilità produttiva.

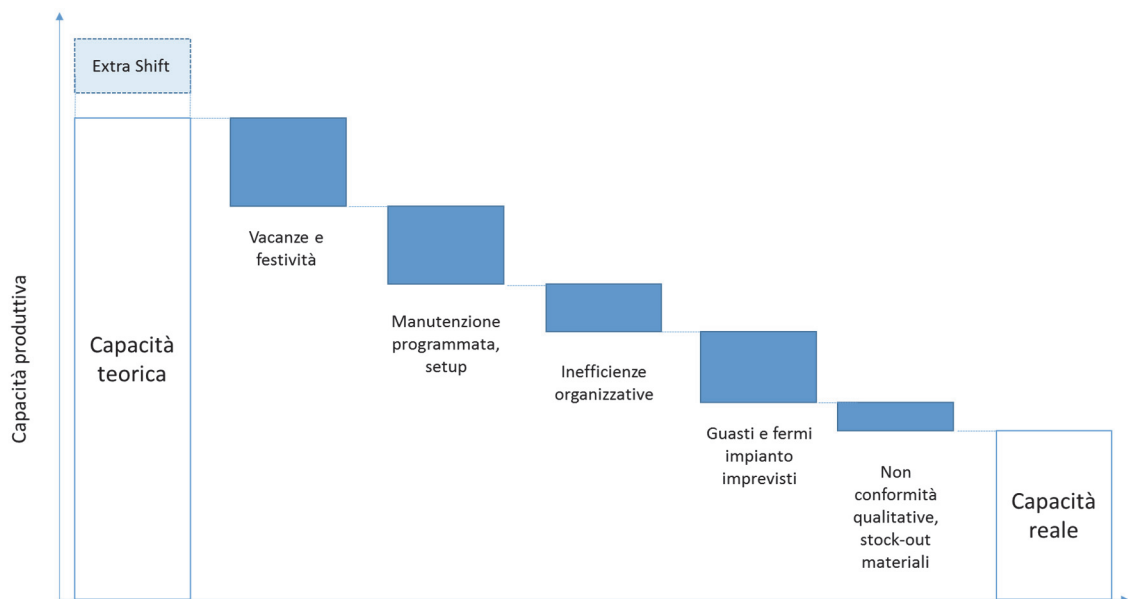


Figura 8. Capacità produttiva reale vs capacità produttiva teorica - Politecnico di Torino

Risulta quindi essenziale la realizzazione di una corretta pianificazione della capacità produttiva reale, per mettere l'azienda nelle condizioni di creare, mantenere e variare le proprie risorse al servizio del cliente sulla base della richiesta del mercato. Una volta pianificata, la capacità produttiva dovrà essere costantemente verificata e allocata nei diversi stabilimenti aziendali.

La pianificazione della capacità produttiva deriva da decisioni strategiche a breve e a lungo termine, ed ha come output la definizione del numero di nuovi impianti/stabilimenti, eventuali ampliamenti o riduzioni di quelli esistenti, grado di automazione e flessibilità. Alle decisioni strategiche si affiancano gli aspetti tattici, che riguardano le modalità di gestione del sistema produttivo, e sono dunque finalizzati ad ottenere la massima efficienza nell'utilizzo delle capacità strutturali esistenti.

Nella fase di pianificazione bisogna sempre tenere conto di quelli che sono i vincoli economico-finanziari, organizzativi e tecnologici.

5.3 La gestione dei materiali

Una corretta, efficiente ed efficace gestione del flusso materiali condiziona positivamente quelli che sono i costi ed i profitti aziendali. Alcuni studi statistici infatti, mostrano come il costo dei materiali incida in modo rilevante sul costo totale di produzione, variando tra il 15% e l'85%.

Gli obiettivi principali della Gestione dei Materiali consistono fondamentalmente nella minimizzazione dei costi di giacenza, e nell'assicurare un elevato livello di servizio al cliente. Raggiungere tali traguardi non è semplice, soprattutto nel caso di sistemi produttivi multi-prodotto, quali quelli presi in esame in questa trattazione, caratterizzati da un'elevata variabilità della domanda.

Il Material Requirement Planning (MRP) corrisponde, letteralmente, alla pianificazione dei fabbisogni, ovvero a quella tecnica impiegata per determinare quantità e tempi di articoli che dipendono dalla domanda; è una tecnica che si basa sulla domanda dipendente, ovvero una domanda che è conseguenza della domanda di altri articoli. L'obiettivo del MRP è quello di determinare cosa, quanto e quando ordinare, e di conseguenza quando schedare la

consegna. Per raggiungere questi obiettivi risulta necessario quindi tenere sotto controllo la gestione delle scorte, i carichi e gli ordini di lavoro.

La logica di base di questa tecnica di pianificazione consiste nel sommare i fabbisogni di un componente in un certo periodo di tempo provenienti dai diversi ordini, o, nel nostro caso, dagli ordini delle diverse regioni; dividere i fabbisogni complessivi ottenuti secondo la politica di dimensionamento dei lotti adottata; traslare all'indietro nel tempo i fabbisogni "lottizzati" secondo il lead time di riferimento al fine di schedulare la consegna in base ai tempi di fornitura. Tutto questo permette di ottenere il piano di produzione finale che servirà come riferimento al dipartimento gestionale per procedere con la valutazione della fattibilità del piano di produzione proposto. I limiti del MRP sono principalmente tre:

- La capacità produttiva viene assunta come infinita;
- I lead time non sono considerati funzione del carico di lavoro ma sono assunti fissi e predeterminati;
- I dati richiesti per elaborare il piano di produzione sono numerosi, e necessitano di un controllo accurato di tutte le informazioni.

Al MRP si affianca il Capacity Requirement Planning (CRP), ovvero quella tecnica che permette di analizzare il piano di fabbisogno dei materiali proposto dal MRP, sommare il carico per ogni macchina relativo agli ordini di produzione, dettagliare il fabbisogno di ore lavorative per macchina e quello di manodopera per periodo. Il CRP permette quindi di determinare il tempo totale di lavorazione, per ogni macchina e per ogni periodo. In questo modo è possibile valutare se l'assegnazione dei nuovi ordini previsti dal piano di produzione elaborato sia compatibile con il profilo di carico esistente, o se, nel caso contrario, sia necessario un aumento della capacità produttiva. Una soluzione alternativa potrebbe essere ritardare o anticipare alcune lavorazioni.

5.4 Calcolo del Banking

Il Banking è una delle metodologie impiegate per reagire alla domanda irregolare del mercato, utilizzando con la massima efficienza quelle che sono le risorse a disposizione.

Dal punto di vista matematico, per il calcolo del banking sono state utilizzate alcune formulazioni su Excel al fine di sviluppare i calcoli in forma automatizzata.

5.5 Il problema

Il motore A viene prodotto e venduto in tre regioni di competenza FCA.

Ogni stabilimento delle tre regioni, ha una propria capacità produttiva e deve soddisfare il fabbisogno del mercato in cui opera. Tuttavia, data l'aleatorietà della domanda, spesso la capacità produttiva disponibile non corrisponde esattamente a quelle che sono le previsioni della domanda. Questo può mettere fortemente in difficoltà uno stabilimento, che deve quindi cercare di compensare il delta di differenza tra la propria capacità produttiva e la domanda reale, al fine di garantire sempre un elevato livello di servizio al cliente, rispettando le sue richieste.

Un'impresa globale quale FCA lavora costantemente per creare sinergie tra i suoi stabilimenti e far sì che vi sia tra di essi una collaborazione tale da permettere di superare le difficoltà che un mercato instabile può creare.

Alla luce di quanto detto, questo studio è stato svolto per proporre un'ottimizzazione degli impianti, valutando le possibili alternative che permettano una coordinazione tra gli stabilimenti produttivi delle tre regioni.

In particolare, il problema cui si vuole dare una soluzione riguarda l'impossibilità di una delle tre regioni di soddisfare la propria domanda, che, dopo aver subito un incremento imprevisto, risulta essere superiore rispetto alla capacità produttiva dei propri stabilimenti.

La decisione strategica di cui si vuole valutare la validità consiste nel rivolgersi agli stabilimenti delle altre regioni, che già producono lo stesso prodotto, al fine di richiedere un supporto alla produzione di queste quantità aggiuntive non previste. Se queste regioni non hanno saturato con la propria domanda la capacità produttiva a disposizione, possono allora prendere in carico la produzione che lo stabilimento di riferimento non riesce a soddisfare per quel preciso intervallo di tempo, ovvero per l'anno 2018/2019.

Per fare questo, la regione con capacità produttiva "in eccesso" può anticipare la propria produzione, alla quale deve comunque dare la priorità, e, una volta terminata questa, passare alla produzione di motori A per lo stabilimento che ha già saturato la propria capacità. Il principio di base prevede di ritardare il più possibile la produzione ed il banking al fine di evitare quelli che sono i costi di immobilizzo dei materiali e del prodotto.

Il grafico 2 illustra l'andamento della domanda del motore A nelle diverse regioni (Global Demand), rapportato a quelle che sono le capacità produttive degli stabilimenti coinvolti. In rosso viene rappresentata la domanda aggiuntiva non prevista dai piani di produzione iniziali.

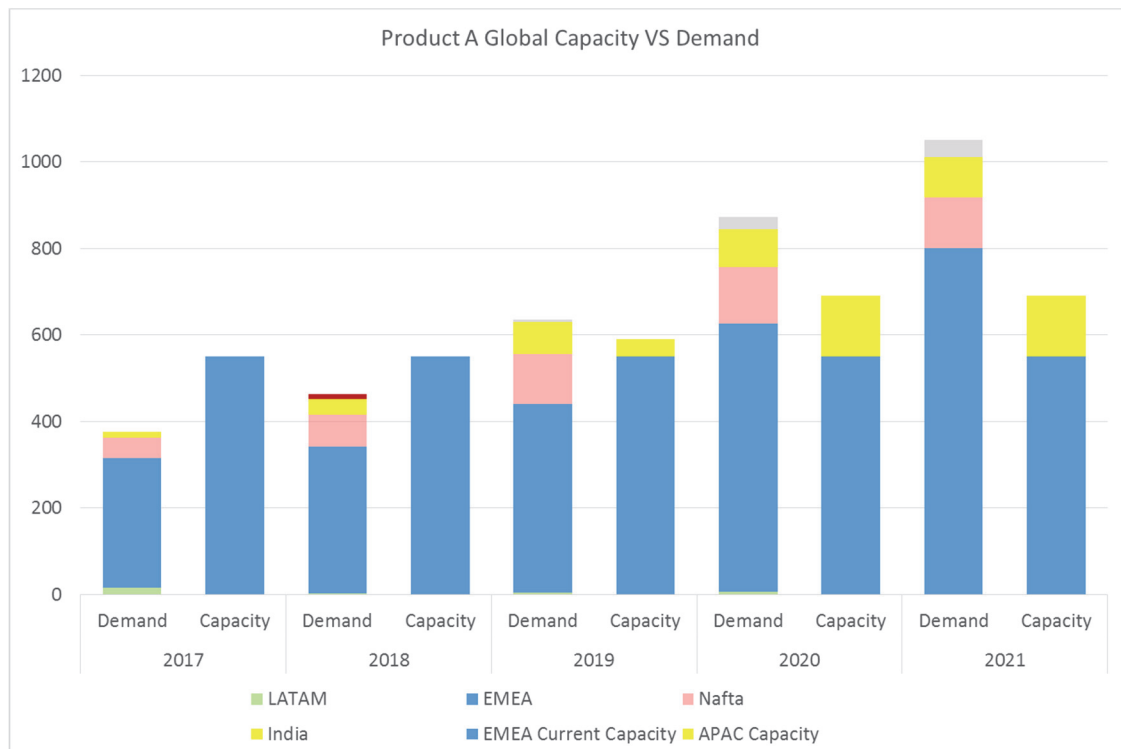


Grafico 2. Prodotto A - Andamento Domanda/Capacità - periodo 2017-21

Si vuole quindi valutare quanto convenga alla regione EMEA operare tramite banking, ovvero incrementare i costi di immobilizzo del materiale e, ovviamente, i costi di controllo della qualità: un motore, se lasciato fermo per molto tempo, deve ricevere ulteriori controlli e test prima di poter essere consegnato al cliente.

Alla luce di quanto detto, il calcolo del banking richiede quindi lo svolgimento delle attività di pianificazione dei fabbisogni, emissione degli ordini, immagazzinaggio, movimentazione e controllo della qualità. Lo scopo principale di questo studio è quello di dare un supporto alle funzioni di produzione attraverso un'analisi tempestiva dei bisogni e delle capacità produttive, che permetta di realizzare un planning della produzione nella giusta quantità e qualità e al costo totale più basso.

5.5.1 Dati di partenza e assunzioni

L'intervallo temporale considerato è quello dell'anno 2018-2019; in particolare, sono state considerate le capacità produttive e la domanda mensili per tutto il periodo dell'anno 2018 ed i mesi di gennaio e febbraio 2019.

“EMEA Plant A” è il nome che, per ragioni di riservatezza, è stato assegnato allo stabilimento europeo del quale è stata valutata la possibilità di effettuare il banking per supportare la produzione dello stabilimento “Plant B”, della regione APAC.

La capacità mensile dello stabilimento “EMEA Plant A” è stata calcolata moltiplicando i giorni lavorativi mensili (Working Days) per la capacità giornaliera di ogni mese (Capacity/Day).

Il livello di scorte iniziali è stato depurato, per una corretta valutazione dello stock disponibile, dalle scorte di sicurezza, assunte pari a 3000 unità.

Il lead time di produzione è di due mesi. Alla luce di questa informazione si può comprendere come il nuovo piano di produzione di giugno 2018 implichi l'impossibilità di far partire la produzione aggiuntiva e approvare le modifiche prima del mese di agosto 2018. Questo dato è stato quindi considerato come vincolo nei calcoli successivi.

Il magazzino disponibile al primo mese corrisponde al magazzino disponibile all'inizio di quello stesso mese, dal quale sono state sottratte le scorte di sicurezza (SS).

I fabbisogni netti dopo l'ordine che risultano essere algebricamente negativi, vengono impiegati per il calcolo del magazzino del mese successivo.

Da tenere sotto controllo vi sono i vincoli di tempo, ovvero la maturità del prodotto. Non è possibile far partire la produzione troppo presto, bensì è necessario attenersi a determinate date limite.

La capacità disponibile nel mese, evidenziata in rosso nella Tabella 1, equivale alla differenza tra la capacità mensile dello stabilimento e la rispettiva domanda.

Lo stock di sicurezza è sempre uguale a 3000 unità.

Lo stock cumulativo al mese $t1$ è uguale allo stock cumulativo al mese $t0$, al quale viene sommata la capacità disponibile al mese $t1$.

Product A	2018							2019	
Period	giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18	dic-18	gen-19	feb-19
Working Days (AS IS)	24,00	24,34	12,67	23,68	25,34	23,00	17,67	17,67	20,00
Shift Pattern	15s+1s	15s+1s	15s+1s	17s	17s	17s	17s	15s+1s	15s+1s
Capacity/Day	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1758	1831
EMEA Plant A Demand	45561	48543	24787	41390	41626	43199	32524	28278	34510
EMEA Plant A Capacity	43200	43812	22806	42624	45612	41400	31806	31064	36620
Available Capacity	-2361	-4731	-1981	1234	3986	-1799	-718	2786	2110
Safety Stock	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Cumulative Stock	9127	4396	2415	149	2635	736	18	304	2414

Tabella 1. Dati di partenza - Prodotto A

5.6 Analisi e studio dei risultati ottenuti

5.6.1 Situazione iniziale

Dopo una prima analisi di quella che è la situazione iniziale dalla quale partire per impostare il problema, è possibile notare come, in alcuni dei mesi dell'intervallo di tempo considerato, la domanda del prodotto A nel Plant A di EMEA sia superiore alla capacità disponibile.

Come illustra il Grafico 3 infatti, in alcuni mesi, quali ad esempio aprile e luglio 2018, la domanda è superiore alla capacità, ed è quindi necessario anticipare la produzione per riuscire a sopperire ad eventuali inefficienze o, in alternativa, sfruttare in modo ottimale quello che è il livello di "Cumulative Stock" disponibile in quei mesi. La necessità di rivedere l'asset produttivo esistente è allo stesso tempo un'occasione per riprogettare la pianificazione della produzione e mettere il sistema produttivo nelle condizioni di svolgere un ruolo di importanza strategica per supportare la produzione del Plant B.

L'obiettivo, in questa fase iniziale dello studio, è quello di gestire la produzione a breve termine, garantendo che la domanda della clientela del Plant A e quella aggiuntiva del Plant B risulti soddisfatta, e che nello stesso tempo le risorse disponibili siano gestite con la massima efficacia.

Il primo passo da seguire è quello di valutare quanta capacità aggiuntiva sia effettivamente necessaria al fine di soddisfare la domanda del Plant A e la domanda aggiuntiva del Plant B. Queste valutazioni devono essere fatte tenendo presente che si vuole ottimizzare l'utilizzazione delle macchine e dei materiali con le risorse disponibili, programmando il carico di lavoro per macchina al fine completare gli ordini di produzione nei tempi stabiliti, e riducendo il più possibile l'immobilizzo dei prodotti finiti.

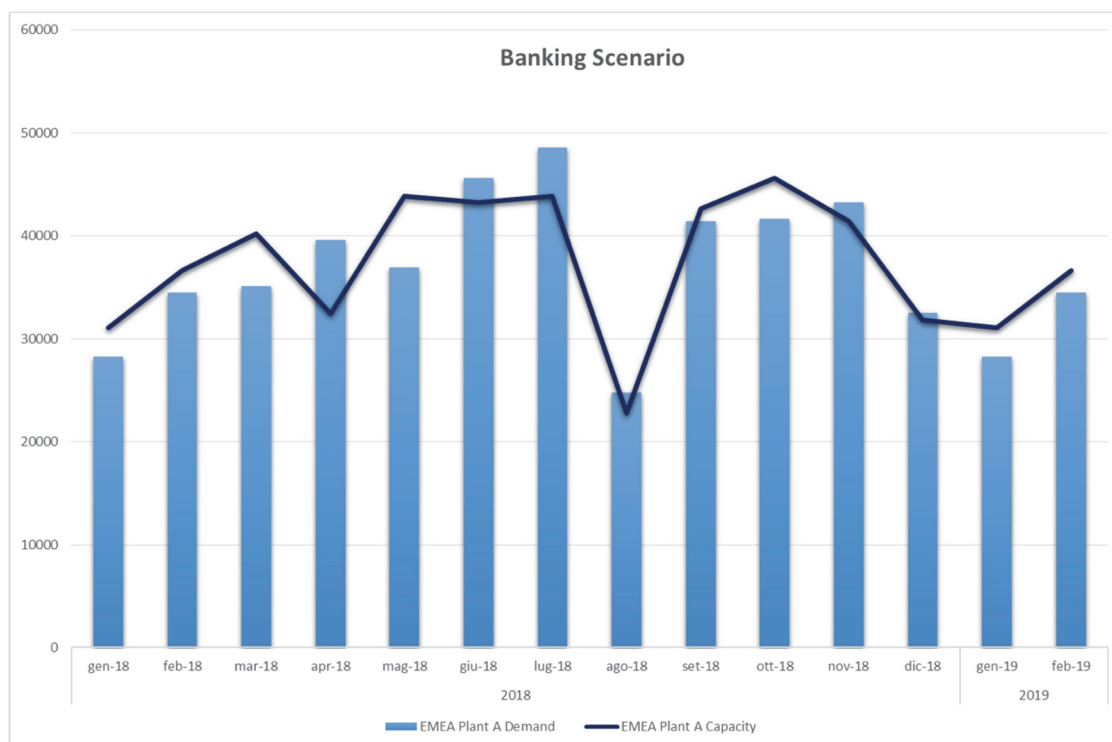


Grafico 3. Asset iniziale EMEA Plant A

5.6.2 Situazione dopo l'incremento dei giorni lavorativi

Incrementare i giorni lavorativi è una delle possibili soluzioni per riuscire a soddisfare la domanda. L'obiettivo è quello di raggiungere il soddisfacimento della domanda mantenendo il più piccolo possibile il valore del delta di differenza tra i giorni lavorativi attuali e quelli proposti.

Il nuovo asset produttivo potrebbe essere il seguente:

Demand A	2018							2019	
	giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18	dic-18	gen-19	feb-19
Working Days (AS IS)	24,00	24,34	12,67	23,68	25,34	23,00	17,67	17,67	20,00
Working Days proposed	24,00	24,34	12,67	23,68	25,34	23,00	17,67	17,67	20,00
Delta days	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0
n° additional	0	0	0	0	0	3	6	0	0
Capacity/Day	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1758	1831
Total Demand	45561	48543	24787	41390	41626	43199	32524	28278	34510
EMEA Plant A Capacity	43200	43812	22806	42624	45612	41400	31806	31064	36620
EMEA Plant A New Capacity	43200	43812	22806	42624	45612	43200	35406	31064	36620
Available Capacity	-2361	-4731	-1981	1234	3986	1	2882	2786	2110
Safety Stock	3000	4396	2415	3000	3000	3000	3000	5786	7896
Cumulative Stock	9127	4396	2415	3649	6986	3001	5882	5786	7896

Tabella 2. Nuova capacità produttiva Plant A

Nella Tabella 2 le celle in giallo, corrispondenti alle variabili relative ai nuovi giorni proposti, corrispondono ai valori modificati: un giorno lavorativo in più nel mese di novembre (tre turni lavorativi) e due giorni lavorativi in più nel mese di dicembre (sei turni).

Con la nuova capacità produttiva ottenuta, è possibile soddisfare la domanda di entrambi gli stabilimenti.

Il Plant B infatti, richiedeva 7500 mila unità al Plant B, che con questo nuovo asset produttivo può arrivare a produrre 7518 unità.

Come si evince dal grafico sottostante, la capacità totale dello stabilimento A, dopo le modifiche proposte dal risolutore, è in grado di soddisfare pienamente la propria domanda e quella incrementale per lo stabilimento APAC.

Ovviamente, per aumentare la capacità produttiva di un plant esistono anche altre possibilità, ma in termini di impatto economico, questo è sicuramente uno dei più consigliabili.

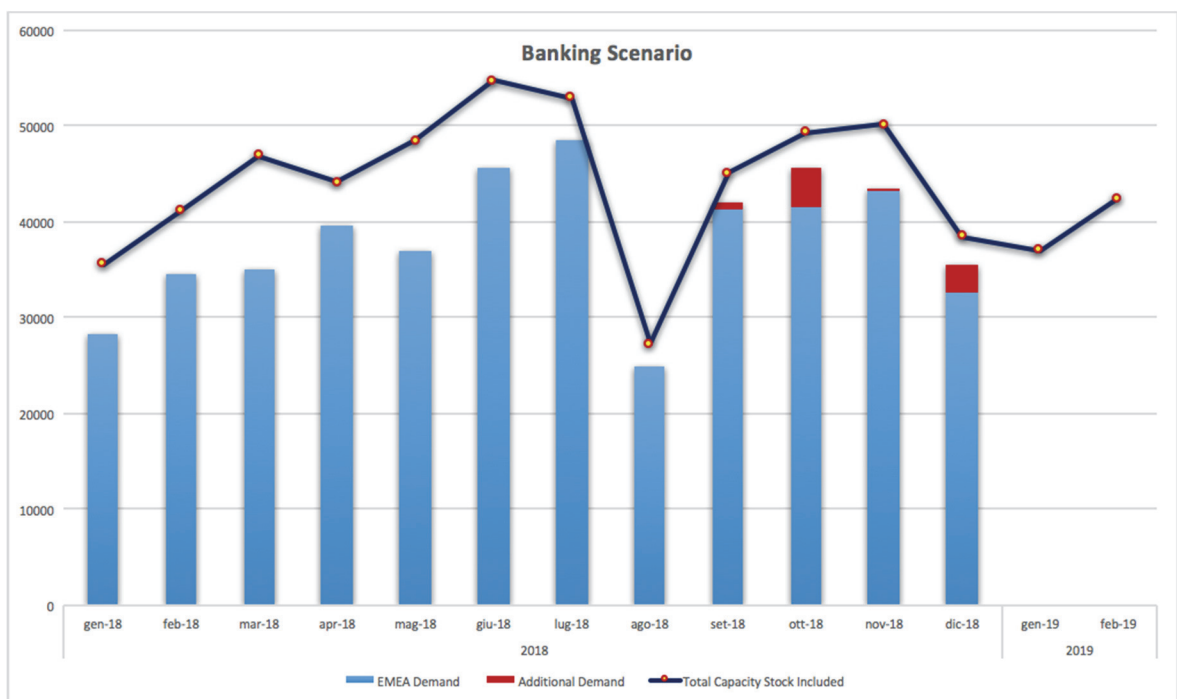


Grafico 4. Scenario di Banking

5.6.3 Impostazione del risolutore Excel – prossimo step

Per automatizzare ulteriormente i calcoli si è pensato, come soluzione futura, di utilizzare il Solver Excel.

Il Risolutore è un componente aggiuntivo di Excel che può essere impiegato per eseguire analisi di simulazione. In generale, il Risolutore viene impiegato per trovare un valore ottimale (massimo o minimo) per una formula contenuta in una cella, denominata cella obiettivo, soggetta ai vincoli, o limiti, dei valori ottenuti da ulteriori formule.

Il Risolutore usa un gruppo di celle, denominate variabili di decisione o semplicemente celle variabili, che contribuiscono al calcolo delle formule nelle celle obiettivo e nelle celle vincolo. Il Solver modifica inoltre i valori nelle celle variabili di decisione in modo da soddisfare i limiti nelle celle vincolo e produrre i risultati desiderati per la cella obiettivo.

I dati da definire al fine di mettere il risolutore nelle condizioni di proporre una soluzione al problema sono:

1. Parametri che descrivono il problema
2. Funzione obiettivo
3. Azioni atte a modificare lo status del sistema
4. Relazioni tra parametri e variabili
5. Limiti e vincoli

Per quanto riguarda i parametri descrittivi, questi corrispondono alla capacità produttiva dello stabilimento A, la domanda del mercato per lo stabilimento A e la domanda incrementale per lo stabilimento B. Si tratta dei dati di ingresso del problema, sulla base dei quali devono essere impostate le variabili decisionali vere e proprie.

Per soddisfare la domanda del mercato, è necessario aumentare la capacità produttiva dello stabilimento A, senza che questa operazione incida troppo su quelli che sono i costi aziendali. L'obiettivo è quindi quello di soddisfare la domanda, agendo sui Working Days, facendo variare il meno possibile il delta fra i nuovi giorni lavorativi proposti e quelli iniziali.

La funzione obiettivo, generalmente, è correlata a misure economiche, ad esempio la minimizzazione dei costi e la massimizzazione dei profitti. Nel caso specifico, la funzione obiettivo corrisponde alla minimizzazione di quello che è il delta fra i giorni lavorativi di partenza, che determinano la capacità produttiva iniziale, e i giorni lavorativi proposti al fine

di aumentare la capacità dello stabilimento e soddisfare la domanda (del Plant A e quella aggiuntiva del Plant B).

Le variabili decisionali che il risolutore deve modificare per riuscire a minimizzare/massimizzare la funzione obiettivo corrispondono alle celle variabili che, nel caso in esame, saranno quelle corrispondenti ai giorni lavorativi proposti per aumentare la capacità.

Il risolutore andrà quindi a modificare tali celle al fine di proporre i giorni lavorativi che permettano contemporaneamente di garantire la capacità produttiva sufficiente per soddisfare la domanda, e minimizzare lo scostamento dalle turnazioni iniziali.

Come anticipato precedentemente, la capacità mensile è il risultato del prodotto tra i giorni lavorativi e la capacità giornaliera; modificando quindi le celle relative ai giorni lavorativi, e mantenendo fissa la capacità giornaliera, si ottiene la nuova capacità dello stabilimento.

Si vuole far sì che lo stabilimento soddisfi la domanda cercando di modificare il meno possibile la sua capacità: la funzione obiettivo, da minimizzare con l'utilizzo del risolutore, conterrà quindi la sommatoria dei delta di incremento dei giorni lavorativi.

Una volta ottenuta la nuova capacità, proposta dal risolutore, e considerando un lead time di due mesi, si possono allora calcolare le quantità che devono essere prodotte ogni mese per soddisfare anche la domanda del Plant B, rispettando sempre quelli che sono i vincoli relativi alla scorta di sicurezza.

Un ulteriore vincolo che deve essere rispettato è quello temporale: i giorni lavorativi possono essere modificati solo a partire dal mese di agosto, così come la produzione anticipata per soddisfare i fabbisogni del Plant B.

6 Heat Map

6.1 Premessa

La Heat Map è uno strumento di supporto alle decisioni del pianificatore in fase preliminare ed anche un input per il Capacity Planning Tool automatizzato. Si tratta di un database che contiene le principali informazioni sullo stato degli impianti dei siti produttivi.

Tali informazioni vengono utilizzate per comprendere il livello di potenziale ri-utilizzo di un determinato macchinario in previsione sia di attività di riconversione, sia di espansione di capacità produttiva.

Questo strumento fornisce una mappa visiva su scala di colori che riesce velocemente a far comprendere quanto un impianto sia sano e facile da riconvertire, ma non solo, permette di identificare pezzi di processo non pienamente utilizzati e in grado di essere riconvertiti in alternativa all'acquisto di macchinari completamente nuovi, con conseguente risparmio di capitale.

La Heat Map si inserisce nel contesto degli strumenti che compongono il Capacity Dynamic Footprint, ovvero una mappa di tutti i possibili moduli di capacità candidati a far parte di un footprint che risponda ad una domanda emergente.

Per Footprint si intende uno o più siti produttivi deputati a soddisfare una determinata domanda di prodotto. I siti possono essere all'interno della stessa regione o distribuiti in vari paesi. All'interno dell'organizzazione, il dipartimento che si occupa di gestire la Heat Map è quello del Global Manufacturing Engineering.

La Heat Map aiuta il pianificatore a rispondere alla domanda *“esiste capacità convertibile o bisogna necessariamente comprare macchinari nuovi?”*.

Questo strumento è la rappresentazione schematica di un impianto dove le macchine sono rappresentate da caselle colorate, in cui i colori vanno dal rosso al verde, passando dal giallo, indicando rispettivamente un macchinario meno o più riconvertibile.

Tale rappresentazione grafica è l'output di una matrice che contiene sulle righe tutte le macchine e le postazioni di lavoro di un determinato plant, e sulle colonne degli indicatori dello stato di salute dell'impianto, che sono:

- L'età del macchinario
- Il tasso di guasto (Breakdowns)
- Le perdite di velocità (Speed Losses)
- Il livello di manutenzione applicato (Overmaintenance)

Tutti questi indicatori sono stati messi in relazione con la loro rispettiva perdita economica, permettendo di valutare il loro impatto dal punto di vista finanziario, e di studiarne le possibilità di riutilizzo.

6.2 Il Sistema ideale e gli indici utilizzati

Il sistema ideale, nel quale le macchine funzionano perfettamente e non esistono ritardi nella produzione è caratterizzato dai seguenti elementi:

- Throughput = Domanda
- Utilizzazione del sistema (o della singola macchina) = 100%
- Assenza di magazzini di materie prime e prodotti finiti
- WIP (work in process) = valore minimo
- CT (Cycle Time) medio = LT (Lead Time) medio = valore minimo = t_0^*
- Assenza di ritardi e arretrati = servizio al cliente perfetto
- Qualità = prodotti senza difetti, assenza di rilavorazioni

Tuttavia il sistema produttivo non presenta mai tutte le caratteristiche sopra elencate. La variabilità è spesso causa di un deterioramento delle prestazioni del sistema, anche se può avere impatti positivi in termini di flessibilità, variabilità di prodotto e di servizio, innovazione tecnologica e concorrenza.

Si definisce variabilità qualsiasi cosa che causi un allontanamento del sistema dal suo andamento regolare, previsto. La variabilità può dipendere dalla rottura di un macchinario, dai set-up, dalle rilavorazioni, o anche più in generale dalle fluttuazioni della domanda.

Nel caso in esame, ci si vuole soffermare solo sullo stato di salute dell'intero gruppo di macchinari, trascurando quelli che sono gli altri elementi che entrano in gioco nella valutazione della bontà di un sistema produttivo.

6.2.1 Età del macchinario

Il rischio di obsolescenza è stato il primo elemento ad essere preso in considerazione per la valutazione dello status dei macchinari.

Si è risaliti alla data di fabbricazione ed installazione di ogni singolo macchinario nello stabilimento di riferimento, al fine di valutare la sua età effettiva, da rapportare poi con gli altri indici; solo l'età infatti, non è sufficiente per comprendere lo stato di una macchina.

Nel caso in esame, gli anni dei macchinari vengono riferiti ad un intervallo temporale che va da zero a dieci anni. Se le macchine rientrano nel sottogruppo zero-cinque anni, sono associate ad un punteggio pari a "3"; se si trovano nell'intervallo cinque-dieci sono associate ad un punteggio pari a "2"; infine, le macchine con più di dieci anni di funzionamento hanno un punteggio pari a "1".

Linea	op	macchina	Tipo	età	anni	indice età
1 driven	10.1	Green turning	CN	2008	10	2
1 driven	10.2	Green turning	CN	2014	4	3
1 driven	20.1	Hobbing	CN	2008	10	2
1 driven	20.2	Hobbing	CN	2008	10	2
1 driven	300.1	Hard turning grinding	CN	2008	10	2
1 driven	300.2	Hard turning grinding	CN	2008	10	2
1 driven	300.3	Hard turning grinding	CN			3
1 driven	310.1	Teeth grinding	CN	2008	10	2
1 driven	310.2	Teeth grinding	CN	2016	2	3
1 driven	320	Washing	Aux	2008	10	2
1 driven	330	Shoot peening	Aux	2008	10	2

Tabella 3. Indice età

6.2.2 Tasso di guasto

L'utilizzazione di una macchina è un indicatore della frazione di tempo in cui la macchina viene utilizzata (comprendendo lavorazione parte + setup + guasti + break operatore). Si tratta quindi di determinare la frazione di tempo in cui la macchina non risulta inattiva a causa della mancanza di parti da lavorare.

Si calcola come il rapporto tra il tasso d'arrivo delle parti (pz/h) sul tasso effettivo di produzione, dove per tasso effettivo di produzione si intende la massima velocità media con cui la macchina può processare le parti (pz/h) tenendo conto di guasti o setup o altri fattori che possono essere rilevanti sulla pianificazione di un dato periodo.

Il tasso di utilizzo è dato dalla formula:

$$u = \frac{r_a}{r_e}$$

Uno degli elementi che determinano il tasso di utilizzo di una macchina sono i guasti che si manifestano in fase di produzione, quando la macchina è operativa.

In generale con il termine “*guasto*” si intende la “*cessazione dell’attitudine di un’entità ad eseguire la funzione richiesta*”, ovvero una variazione delle prestazioni dell’entità che la renda inservibile per l’uso alla quale era destinata.

In questo senso è possibile distinguere i guasti parziali, che determinano una variazione delle prestazioni tale da non compromettere del tutto il funzionamento, ed i guasti totali, che causano invece una variazione delle prestazioni tale da impedire del tutto il funzionamento.

Per esplicitare la funzione del tasso di guasto, è utile introdurre quello che che il concetto di affidabilità del macchinario (o del sistema produttivo), dal quale si ricava la probabilità condizionata del guasto.

In generale con il termine “*affidabilità*” si intende l’ “*attitudine di un dispositivo a compiere una funzione richiesta secondo le condizioni di utilizzazione e per un periodo di tempo determinato*”; è misurata come probabilità.

Per definire in maniera chiara ed univoca la funzione richiesta, è necessario precisare la soglia oltre la quale il comportamento del macchinario di cui si vuole valutare l’affidabilità risulti essere inaccettabile: si tratta di stabilire quel limite che, se oltrepassato, determina lo stato del componente come guasto.

Bisogna inoltre tenere presente il fattore “tempo”, in quanto più aumenta la durata di funzionamento del macchinario in esame, più alta è la probabilità che subisca un guasto.

Supponendo di sottoporre ad una prova di funzionamento N elementi identici, e misurandone il tempo di funzionamento, si può notare la distribuzione di tali tempi lungo l’asse del tempo. Considerando la variabile casuale t (tempo che intercorre tra l’istante della prova di affidabilità ed il momento in cui l’elemento si guasta), è possibile definire la funzione densità di probabilità di guasto come segue:

$$f(t) = \frac{n_g(t)}{N}$$

Dove $n_g(t)$ è il numero di guasti che si verificano, ed N è il numero di elementi che fanno parte della prova.

Tale funzione rappresenta quindi la probabilità che un elemento avviato in $t=0$ subisca un guasto nell'intervallo infinitesimo di tempo $t \Rightarrow t+dt$.

Integrando questa funzione tra gli estremi $(0,t)$ si ottiene la sua cumulata, che corrisponde alla funzione di inaffidabilità, ovvero la probabilità che un elemento avviato all'istante 0 sia stato in avaria in t e che quindi abbia subito un guasto all'istante t^* tale che $t^* \leq t$.

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

A questo punto è possibile ricavare la funzione affidabilità: poiché ogni elemento può assumere solo due stati, tra loro mutuamente esclusivi, di funzionamento o di avaria e che la somma delle probabilità di tutti gli stati è pari all'unità, la funzione sarà la seguente:

$$R(t) = 1 - F(t)$$

e rappresenta la probabilità che un elemento che sia stato avviato all'istante 0 sia funzionante in t , cioè non abbia subito alcun guasto nell'intervallo $0 \Rightarrow t$.

Dividendo la funzione densità di probabilità di guasto ($f(t)$) per l'affidabilità ($R(t)$) si ottiene il numero di rotture nell'intervallo $t \Rightarrow t+dt$ rapportato al numero di elementi funzionanti in t :

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} * \frac{dR(t)}{dt}$$

Questa funzione rappresenta la probabilità che un elemento, avviato all'istante 0 e sopravvissuto fino a t subisca un guasto nell'intervallo infinitesimo di tempo $t \Rightarrow t+dt$. Questo valore corrisponde al tasso di guasto.

Una volta definito il tasso di guasto, un'analisi accurata potrebbe essere quella che prende in considerazione i cosiddetti Mean Time To Failure, ovvero il tempo medio fino al guasto

ed il tempo medio tra due guasti. Tali dati sono però molto difficili da ricavare per ogni singola macchina di uno stabilimento.

Si è pensato quindi di prendere in considerazione quelli che sono il tasso di guasto ed il livello di manutenzione applicata su ogni macchinario.

Nella matrice finale destinata al calcolo degli indici per la realizzazione della Heat Map, i guasti vengono analizzati considerando un intervallo di variazione del 10% dal valore medio. In base al posizionamento del singolo valore del guasto rispetto ai due valori limite (superiore, +10% dalla media, ed inferiore, -10% dalla media), verrà attribuito un valore dell'indice del tasso di guasto da 1 a 3.

6.2.3 Perdite di velocità

Questa categoria include tutto ciò che impedisce al processo di funzionare alla sua velocità massima teorica quando il processo di produzione è effettivamente in esecuzione.

Avere una performance pari al 100% vuol dire che il processo di produzione è in esecuzione alla sua velocità massima teorica; se invece il processo opera più lentamente del tempo ciclo ideale, questa perdita in termini di velocità viene indicata con il termine Speed Loss, e rientra tra le sei grandi perdite che influenzano l'OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Queste riduzioni di velocità assumono valore solo se rilevate nel tempo in cui le apparecchiature funzionano più lentamente rispetto al tempo di ciclo ideale (il tempo teoricamente più veloce possibile per fabbricare una parte).

Alcuni tra i motivi più comuni che portano alla riduzione della velocità sono le attrezzature sporche o usurate, una scarsa lubrificazione, l'uso di materiali scadenti, condizioni ambientali inadeguate, inesperienza dell'operatore, fasi di avvio e spegnimento.

Nella matrice finale destinata al calcolo degli indici per la realizzazione della Heat Map, le perdite di velocità vengono analizzate considerando un intervallo di variazione del 15% dal valore medio.

In base al posizionamento del singolo valore della perdita rispetto ai due valori limite (superiore, +15% dalla media, ed inferiore, -15% dalla media), verrà attribuito un valore dell'indice della perdita di velocità da 1 a 3.

6.2.4 Manutenzione (Overmaintenance)

L'AFNOR definisce la manutenzione come *l'insieme di azioni che permettono di mantenere o ristabilire un bene in uno stato specificato o in modo di assicurarne un servizio determinato*.

La manutenzione è organizzata su due livelli:

1. Manutenzione professionale, che si divide a sua volta in manutenzione correttiva, preventiva e predittiva;
2. Manutenzione autonoma da parte degli operatori

Per la definizione dell'indice della Heat Map, ci si concentrerà sulla manutenzione preventiva, che viene eseguita ad intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti ed è volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità.

Si tratta dunque di valutare la quantità di manutenzione preventiva che ogni macchina ha ricevuto, in relazione a quello che è stato il suo tasso di guasto, in un preciso intervallo di tempo. Per questo tipo di analisi sono stati impiegati i dati forniti direttamente dal Plant, relativi alla quantità di ore dedicate alla manutenzione, a livello generale.

In realtà, la manutenzione preventiva è a sua volta articolata in Ciclica, su Condizione e Predittiva.

La manutenzione ciclica, è una manutenzione preventiva periodica in base a cicli di utilizzo predeterminati; essa richiede la conoscenza statistica del fenomeno di guasto ed ha senso applicarla in condizioni di tasso di guasto crescente.

Gli obiettivi degli interventi di questo tipo di manutenzione programmata corrispondono agli obiettivi della Heat Map, e sono la conoscenza della condizione delle macchine e lo studio accurato dell'andamento dei guasti per predire lo stato di salute delle apparecchiature.

Per condurre questo tipo di manutenzione possono essere utilizzate varie tecniche, come ad esempio anticipare il guasto utilizzando l'esperienza, oppure utilizzare una distribuzione statistica dei guasti: utilizzando dei dati statistici, come la distribuzione di Keibul, si possono determinare la periodicità, distribuzione e probabilità che un guasto occorra.

La manutenzione su condizione è una manutenzione subordinata al raggiungimento di un valore limite predeterminato, che pianifica gli interventi basandosi sul rilievo delle reali

condizioni di funzionamento e si basa sulla misura di segnali deboli emessi e sulla conseguente interpretazione dello stato di degrado.

Infine, la manutenzione predittiva viene effettuata a seguito dell'individuazione e della misurazione di uno o più parametri e dell'extrapolazione secondo i modelli appropriati del tempo residuo prima del guasto.

In condizioni di funzionamento non corretto, le macchine emettono segnali (emissioni), classificabili in quattro categorie (emissioni acustiche e vibratorie, emissioni termiche, emissioni relative ai fluidi libro-refrigeranti, emissioni relative al prodotto), e sulla base di tali segnali si procede con la manutenzione.

Nella matrice finale destinata al calcolo degli indici per la realizzazione della Heat Map, L'Overmaintenance è valutata in un intervallo di variazione del 15% dal suo valore medio.

In base al posizionamento del singolo valore della manutenzione rispetto ai due valori limite (superiore, +15% dalla media, ed inferiore, -15% dalla media), verrà attribuito un valore dell'indice di Overmaintenance da 1 a 3.

Anche le rilavorazioni, in futuro, potrebbero rientrare tra gli indici utilizzati. Esse infatti incrementano il tempo di processo effettivo, riducono l'utilizzazione della stazione, aumentano la variabilità e quindi la congestione del sistema. La variabilità del processo può crescere o decrescere all'aumentare del tasso di rilavorazione, a seconda della variabilità naturale del processo.

6.3 Analisi e studio dei risultati ottenuti

Riassumendo, il principio base della Heat Map consiste nel raccogliere una serie di dati storici e attuali relativi ai macchinari dei quali si vuole analizzare lo stato di salute, e assegnare loro un punteggio.

L'idea è molto simile a quella del calcolo dell'OEE, letteralmente “efficienza generale dell'impianto”, un indicatore percentuale che rappresenta il rendimento globale di una risorsa produttiva o di un insieme di risorse, siano esse umane o tecniche, durante il tempo nel quale queste sono disponibili a produrre.

$$OEE = \text{Disponibilità} * \text{Prestazione} * \text{Qualità}$$

Nel caso della Heat Map, l'indice finale sarà uguale al prodotto dei differenti punteggi ottenuti da ogni macchina, ovvero:

$$\text{Heat Map Index} = \frac{\text{Età del macchinario} * \text{Tasso di guasto} * \text{Speed Loss} * \text{Overmaintenance}}{4}$$

In base ad una scala preliminarmente costruita, alle macchine verranno assegnati i colori rosso, giallo e verde a seconda del punteggio ottenuto come valore dell'indice finale.

Linea	Tipo macchina	indice età	indice breakdown	indice speed loss	indice overmaintenanc	indice finale
1 driven	CN	2	1	1	1	0,50
1 driven	CN	3	3	3	3	20,25
1 driven	CN	2	3	3	3	13,50
1 driven	CN	2	3	3	3	13,50
1 driven	CN	2	3	2	3	9,00
1 driven	CN	2	1	1	2	1,00
1 driven	CN	3	0	0	0	0,00
1 driven	CN	2	3	3	3	13,50
1 driven	CN	3	3	3	3	20,25
1 driven	Aux	2	3	3	3	13,50
1 driven	Aux	2	1	1	2	1,00
1 driven	Aux	2	3	3	3	13,50

Tabella 4. Calcolo indice finale – Heat Map

L'indice finale, come si può vedere in Tabella 5, può assumere differenti valori, apparentemente privi di significato. Per questo motivo è stato sviluppato un foglio di calcolo “di manovra” in grado di gestire i valori ottenuti tramite la formula dell'Heat Map Index, e di riportarli ai semplici valori di “1”, “2” e “3”, ai quali corrisponderà un significato specifico.

I1	I2	I3	I4	indice	Valore finale
3	3	3	3	20,25	3
3	3	3	2	13,50	3
3	3	2	2	9,00	3
3	3	3	1	6,75	3
3	2	2	2	6,00	2
3	3	2	1	4,50	2
2	2	2	2	4,00	2
3	2	2	1	3,00	2
3	3	1	1	2,25	1
2	2	2	1	2,00	1
3	2	1	1	1,50	1
2	2	1	1	1,00	1
3	1	1	1	0,75	1
2	1	1	1	0,50	1
1	1	1	1	0,25	1

Tabella 5. Tabella di manovra Final Index

A questo punto, una volta calcolato l'indice finale vero e proprio, è stato valutato, in base al suo valore, il livello di perdita economica, al fine di valutare la convenienza dell'acquisto di un macchinario nuovo rispetto ad un revolving.

L'indice ottenuto, può assumere quindi un valore che va da uno a tre: il valore “uno” corrisponde ad uno stato di salute basso, il valore “tre” corrisponde ad uno stato di salute perfetto, il valore due rappresenta uno stato di salute intermedio.

A questo punto, il valore finale di ogni macchina è stato messo in relazione con il costo di un macchinario nuovo, dello stesso tipo, valutando gli eventuali risparmi economici legati al retooling di tale macchina.

Il *saving retooling* di una macchina che ha ottenuto un punteggio finale pari a “3” equivale al 70% del costo di un macchinario nuovo.

Per una macchina che ha ottenuto un punteggio finale pari a “2”, il suo *saving retooling* equivale al 50% del costo del nuovo macchinario.

Infine, se una macchina ha ottenuto un punteggio finale pari a “1”, il suo *saving retooling* sarà uguale al 20% del costo della nuova macchina.

Il saving vero e proprio verrà quindi calcolato con questi valori percentuali ed inserito nel database che permetterà di avere in output il layout della Heat Map.

macchina	indice finale	valore indice	saving retooling %	costo macchina	Saving
Green turning	0,50	1,00	0,20	680,00	136,00
Green turning	20,25	3,00	0,70	680,00	476,00
Hobbing	13,50	3,00	0,70	700,00	490,00
Hobbing	13,50	3,00	0,70	700,00	490,00
Hard turning grindin	9,00	3,00	0,70	850,00	595,00
Hard turning grindin	1,00	1,00	0,20	850,00	170,00
Hard turning grindin	0,00	0,00	0,00	850,00	0,00
Teeth grinding	13,50	3,00	0,70	1250,00	875,00
Teeth grinding	20,25	3,00	0,70	1250,00	875,00

Tabella 6. Calcolo savings – Heat Map

L'output del foglio di calcolo Excel è una pianta dello stabilimento analizzato, con le macchine rappresentate con tre possibili differenti colori, che offrono uno strumento visivo ad impatto immediato utile per una corretta valutazione dello status dei macchinari.

In particolare, la macchina sarà rappresentata tramite una barra rettangolare, affiancata da quattro simboli indicanti gli indici di età, tasso di guasto, perdita di velocità e livello di manutenzione. Tali simboli possono assumere tre forme e tre colori differenti, a seconda del loro valore.

I colori e le forme dei quattro simboli relativi agli indici possono essere un cerchio verde, un rombo rosso ed un quadrato giallo, e rappresentano rispettivamente uno stato di salute buono, cattivo, e intermedio.

Il colore della barra rappresentante la macchina dipenderà dal valore dell'indice finale. Accanto ad i simboli sarà inoltre indicata la tipologia del macchinario, il tipo di operazione che può eseguire, ed il valore di *saving* che è stato precedentemente calcolato.

Anche in questo caso, i tre colori possibili associabili al macchinario sono il rosso, il giallo ed il verde, e corrispondono ai seguenti significati:

- Rosso: la macchina non può essere sfruttata in maniera diversa, non può essere modificata, convertita o riutilizzata.
- Giallo: la macchina è in una situazione intermedia tra il rosso e il verde. Sarà a discrezione del tecnico dare un giudizio sul suo status e capire se può essere o meno riutilizzata.

- Verde: la macchina ha un alto tasso di riutilizzazione; può essere sfruttata in maniera più efficace ed efficiente senza vincoli o limitazioni dovuti alla sua età o alle sue percentuali di guasto.

Nell'esempio riportato in Figura 9 (in basso), il quadrato giallo rappresenta l'indice di età della macchina, che corrisponde dunque ad un valore intermedio (tra i cinque e i dieci anni); gli altri tre simboli, che corrispondono rispettivamente all'indice del tasso di guasto, della speed loss e dell'overmaintenance, sono dei rombi rossi, e dunque i loro punteggi saranno pari a "1".



Figura 9. Status del macchinario – Heat Map

La barra finale che rappresenta l'intera macchina sarà di conseguenza rossa, in quanto l'indice finale è uguale a:

$$Heat Map Index = \frac{2 * 1 * 1 * 1}{4} = 0,5$$

che, arrotondato per eccesso, corrisponde al valore 1.

Poiché il valore economico di una nuova macchina del tipo "Green Turning" equivale a 680 €, il saving relativo a questo macchinario sarà uguale a:

$$Saving = saving retooling \% * costo macchina (€)$$

Quindi:

$$Saving = 20\% (index 1) * 680 € = 136 €$$

Una volta analizzato lo status di ogni singolo macchinario, la Heat Map permetterà di avere una visione d'insieme dell'intero stabilimento.

Come è possibile notare dalla Figura 9, che presenta la valutazione di quattro macchinari di uno stabilimento, le macchine di colore verde, ovvero quelle che hanno ottenuto un punteggio pari a "3", sono quelle alle quali corrisponde un alto valore di *saving*, a differenza

di quelle di colore rosso (valore dell'indice finale pari a "1"), alle quali corrisponde un basso valore di *saving*.



Figura 10. Layout finale – Heat Map

7 Optimal Planning Tool

7.1 Premessa

L'obiettivo di questo studio è quello di descrivere un problema di pianificazione strategica per l'allocazione delle capacità produttive tramite un modello di programmazione lineare. Prima di formulare il problema, è stata identificata e definita la nomenclatura di indici, dati, variabili e vincoli generici.

L'Optimal Planning Tool può essere utilizzato per trovare la combinazione ottimale di plant e capacità produttive addizionali in previsione di un incremento della domanda di motori turbo e aspirati.

Il software, elaborato per fini didattici di tesi in azienda, faciliterà lo sviluppo di un modello di programmazione lineare. Tale strumento sarà di supporto all'azienda per permettere di identificare potenziali soluzioni di studi di capacità.

L'intento è quello di trovare il footprint ideale composto dagli stabilimenti della regione Europa (EMEA) e Latino America (LATAM), in modo tale che l'offerta sia sufficiente per soddisfare la domanda dell'intera area, rispettando i limiti dei costi di investimento e budget ed i vincoli di capacità produttiva.

Fine ultimo di questo progetto è quindi quello di effettuare una valutazione degli investimenti, conducendo un'analisi di lungo periodo, e di valutare le possibili decisioni che potrebbero cambiare gli assetti produttivi attuali. Nella fattispecie, l'investimento industriale da prendere in considerazione corrisponde all'impiego di risorse finanziarie volto ad acquisire capacità produttive aggiuntive rispetto a quelle già esistenti.

7.2 Ricerca Operativa

La ricerca operativa è un approccio scientifico che permette di pianificare e gestire i problemi (aziendali) al fine di supportare i *decision makers* di un'impresa ed aiutarli a prendere la migliore decisione. Questo approccio prevede l'applicazione di metodi ai differenti livelli di

decisione, siano essi strategici, tattici o operazionali, e trasforma le informazioni in decisioni attraverso modelli matematici.

La ricerca operativa nasce nel corso della Seconda Guerra Mondiale nel dipartimento operativo dell'armata britannica e si sviluppa nei decenni successivi attraverso l'introduzione della Programmazione Lineare e del Simplex Method (Dantzig 1947). Il processo permette di identificare le differenze tra lo stato attuale delle cose e quello desiderato, e di prendere delle decisioni al fine di gestire queste differenze nel miglior modo possibile. Attraverso la Ricerca Operativa, il processo è formalizzato: è costituito da dei modelli, da metodi risolutivi generali e metodi specifici di soluzione.

I problemi trattati devono essere sufficientemente complessi e lo sforzo economico e di analisi deve essere opportunamente giustificato. Gli step che devono essere seguiti sono:

1. Identificare e descrivere il problema
2. Determinare un set di ipotesi e strategie
3. Definire i criteri di valutazione delle strategie
4. Valutare le strategie
5. Considerare una strategia come metodo risolutivo
6. Sviluppare la specifica strategia di soluzione
7. Valutare i risultati

L'approccio può essere di tipo qualitativo o quantitativo: nel primo caso i risultati finali saranno strettamente legati all'esperienza ed al senso pratico dei decision makers; nel caso di un approccio quantitativo invece, è richiesto un bagaglio di conoscenze e metodi specifici, nonché uno staff altamente qualificato.

L'approccio quantitativo viene quindi utilizzato per risolvere problemi complessi, difficili da definire, spesso di tipo economico. In questi casi infatti è richiesta una profonda analisi scientifico-matematica prima di poter prendere una decisione. La domanda che ci si pone è: *“Come spingere le decisioni gestionali per la pianificazione della produzione?”* Allo stesso modo i domini di applicazione sono numerosi: finanza, forecasting, project management, produzione (pianificazione della produzione, production mix, utilizzazione delle risorse e loro allocazione, gestione del magazzino e delle scorte), design, gestione e ottimizzazione dei sistemi logistici, gestione della catena del valore (ordini, stock, produzione, inventario, spedizioni, trasporti, distribuzione...).

Metodi e modelli sono ciò che permette di raggiungere i risultati. Un modello è caratterizzato dalla descrizione del problema, da alcune variabili decisionali, dal metodo risolutivo e dai risultati. L'approccio generale alla soluzione è:

1. Osservazione
2. Definizione del problema
3. Costruzione del modello
4. Soluzione e analisi
5. Implementazione

Si utilizzano i modelli al fine di capire e valutare l'ambiente e seguirne i cambiamenti. Il modello rientra nel sistema realistico, sottoinsieme del sistema reale. I modelli analitico-matematici, che sono quelli che verranno utilizzati per gli studi di questo progetto di tesi, possono essere di tipo descrittivo (statistici, economici) oppure operativi (programmazione lineare e ottimizzazione). Negli studi successivi, i modelli di ricerca operativa saranno utilizzati per risolvere problemi di pianificazione della produzione.

7.2.1 Il problema dei trasporti come punto di partenza

Per lo studio dell'Optimal Planning Tool, il problema da analizzare e risolvere può essere ricondotto all'ambito dei *Transportation Problems*. Questo problema è stato introdotto per la prima volta nel 1941 da Hitchcock, ed è caratterizzato da alcuni elementi principali:

- Origine (Offerta): tutto ciò che rientra nelle disponibilità iniziali, quali ad esempio l'origine per un sistema di trasporti, le capacità produttive per un sistema di produzione, l'offerta, nel senso più generale del termine, per un'analisi di mercato.
- Destinazione (Domanda): è riconducibile alla richiesta del problema. Nel caso di un problema di trasporti, la destinazione è il luogo in cui fare arrivare la merce. Nel caso di un sistema produttivo, la destinazione corrisponde alla domanda del mercato che deve essere soddisfatta.
- Costi unitari di trasporto: sono i costi logistici del problema. Possono essere costi di trasporto, di produzione, di stoccaggio etc.
- Obiettivo: muovere i prodotti dall'origine alla destinazione al minimo costo. Corrisponde alla funzione obiettivo, generalmente di tipo economico.

- Ogni problema avrà le sue ipotesi di partenza, ad esempio la capacità dei veicoli o degli stabilimenti produttivi, i costi doganali etc.

Tutti i modelli di ottimizzazione impiegati per analizzare e risolvere i problemi aziendali presentano alcuni elementi ricorrenti e fondamentali:

1. Parametri che descrivono il problema
2. Funzione obiettivo: misura usata per valutare la fattibilità delle soluzioni e scegliere tra loro quella migliore per il caso in esame. Generalmente è correlata a misure economiche, ad esempio la minimizzazione dei costi, la massimizzazione dei profitti etc.
3. Azioni atte a modificare lo status del sistema: variabili decisionali.
4. Relazioni tra parametri e variabili: quantità di risorse necessarie a produrre un'unità di prodotto.
5. Limiti e vincoli

Un buon modello deve essere semplice, completo, robusto, realistico ed adattabile alle differenti situazioni. I modelli possono essere di vario tipo; deterministici o stocastici, statici o dinamici, con variabili intere o continue, con parametri lineari o non lineari. Anche i metodi risolutivi a disposizione sono differenti, e si distinguono fondamentalmente in metodi *Esatti* e metodi *Euristici*. I primi forniscono la soluzione del modello matematico. La dimensione del problema è limitata. Con i secondi, detti anche approssimati, si ottiene invece una “buona” soluzione in un tempo limitato. Il metodo trovato è l'unico metodo possibile quando il modello è molto grande o complesso.

I modelli di programmazione lineare sono quindi impiegati per identificare le decisioni, rappresentate da variabili decisionali, chiarire lo scopo del problema tramite una o più funzioni obiettivo e identificare le restrizioni a cui è sottoposto il problema esprimendo i vincoli come combinazioni delle variabili. Obiettivo e vincoli sono una combinazione lineare delle variabili. Lo scopo finale è quello di dare alla Produzione un supporto decisionale a livello strategico, tattico e operativo attraverso soluzioni operative standard, ma adattabili, di volta in volta, alle differenti condizioni.

7.3 Il problema

Di seguito vengono riportate le informazioni relative al Business Case, con l'obiettivo di descrivere il problema tramite un modello di programmazione lineare e farne un'analisi della sensitività.

Come introdotto nei paragrafi precedenti, oggi il settore automobilistico deve attenersi ai continui cambiamenti del mercato, dovuti anche alle nuove normative ambientali che hanno un forte impatto sulle richieste della clientela. Per riuscire a far fronte alla variabilità della domanda, ogni grande impresa che opera in questo settore deve essere in grado di compiere pianificazioni strategiche della produzione che le consentano di variare quella che è la propria gamma produttiva e non perdere quote di mercato.

Un gruppo come FCA, deve riuscire a coordinare, valutare e regolare i propri piani di produzione, cosa che spesso risulta essere molto complicata in quanto non sono pochi i fattori che devono essere presi in considerazione. Ogni stabilimento ha infatti una capacità produttiva specifica, dei costi logistici (outbound), Dazi Doganali, Costo del materiale diretto ed il costo di trasformazione.

Per soddisfare la domanda del mercato, è necessario impiegare al meglio il budget disposizione, valutando la possibilità di incrementare le capacità produttive attuali e rispondendo a determinati vincoli relativi agli specifici investimenti. Si devono trovare e valutare le possibili combinazioni di capacità produttive, con i rispettivi incrementi di capacità, creando quindi nuovi scenari, per soddisfare tutte le condizioni sopra elencate.

Gli obiettivi da conseguire possono essere classificati in due categorie: di budget e di soddisfacimento della domanda., prevedendo la minimizzazione del costo degli investimenti e del rischio, ed il massimo livello di servizio.

Nel caso in esame, l'obiettivo finale è quello di trovare la combinazione ottimale di capacità produttive aggiuntive per ogni stabilimento coinvolto nello studio, minimizzando i costi di investimento correlati a tali incrementi. Si vuole dunque trovare un piano di produzione ideale in grado di soddisfare la domanda, considerando gli incrementi di capacità produttiva degli impianti esistenti e rispettando i vincoli di budget.

Modificando i valori target (economici e produttivi) si effettuerà un'analisi di sensitività della soluzione. In accordo con le caratteristiche di ogni stabilimento, è necessario quindi

elaborare un progetto in grado di soddisfare i requisiti con una ottimizzazione delle risorse a disposizione.

Per ragioni di tipo logistico, non si cercheranno infinite soluzioni, ma un numero contenuto di combinazioni possibili al fine di rendere chiara la differenza tra le alternative significative più estreme.

Il punto di partenza di questo studio è la valutazione degli stabilimenti produttivi esistenti che, per ragioni di riservatezza, verranno indicati con nomi fittizi. Tali stabilimenti saranno quindi:

1. Plant A
2. Plant B
3. Plant C
4. Plant D
5. Plant E

I dati a disposizione su ogni stabilimento sono i seguenti:

- Tipo di motore che ogni stabilimento può produrre: motore turbo (T) o aspirato (N);
- Data di inizio della produzione (Start Date of Production);
- Capacità attuale di ogni stabilimento;
- Potenziale capacità addizionale per ogni stabilimento: per ogni plant sono state elaborate quattro differenti proposte di investimento, alle quali corrispondono quattro differenti asset produttivi;
- Investimento sul processo relativo al potenziale incremento di capacità;
- Costi di trasformazione, con distinzione tra fissi e variabili;
- Costi logistici, differenti per ogni destinazione (EMEA, LATAM);
- Dazi Doganali;
- Costo del materiale diretto
- Investimenti sostenuti dai fornitori per ampliare i propri impianti;

Al fine di analizzare al meglio la domanda del mercato, sono stati evidenziati due differenti scenari corrispondenti ai due tipi di motore: uno scenario per il motore aspirato (N) ed uno

scenario per il motore turbo (T). In particolare, per il motore turbo viene fatta la distinzione tra il motore T_x ed il motore T_y , dove “x” e “y” rappresentano il numero di cilindri.

Il primo scenario, relativo ai motori aspirati, corrisponde ad una domanda complessiva di 200 mila unità, di cui 100 mila sono richieste dal Plant Veicolo EMEA 1, e 100 mila sono richieste dal Plant Veicolo EMEA 5.

Per quanto riguarda i motori turbo (secondo scenario) la domanda complessiva ammonta a 400 mila unità, di cui 100 mila destinate al Plant Veicolo EMEA 3, 40 mila al Plant Veicolo EMEA 4, 80 mila al Plant Veicolo EMEA 2, 110 mila al Plant Veicolo LATAM 4 e 70 mila al Plant Veicolo LATAM 3.

Per facilitare i calcoli, sono state elaborate le seguenti assunzioni:

- Ciascuno stabilimento deve essere considerato per capacità complessiva (attuale ed aggiuntiva) superiore a 200 mila unità.
- Gli status sono mutuamente esclusivi: per ogni stabilimento, esistono differenti proposte, tra di loro mutuamente esclusive. Questo vuol dire che se per lo stabilimento A esistono 4 diverse proposte, e per esempio si prende in considerazione la proposta n°1, allora le altre tre proposte verranno automaticamente escluse dallo scenario. Questa esclusività non esiste invece tra proposte di stabilimenti differenti, e dunque uno scenario potrebbe presentare la proposta n°1 per lo stabilimento A e contemporaneamente la proposta n°2 per lo stabilimento B.
- Si devono considerare status differenti come dei candidati differenti, ognuno dunque con il suo relativo valore di investimento
- La domanda totale corrisponde a 200k motori aspirati e 400k motori turbo.

Bisogna inoltre prendere in considerazione alcuni vincoli che condizionano l'esattezza dei risultati:

- Escludere uno stabilimento se la domanda per la produzione di motori è già stata soddisfatta dalla produzione di un altro stabilimento.
- Vincoli di capacità massima

Lo studio è stato elaborato per fini didattici, per aiutare e facilitare quello che sarà lo studio effettivo con i dati sensibili e per permettere una più rapida ed intuitiva comprensione della problematica.

7.3.1 Il Risolutore Excel

Il solver di Excel è uno strumento utile per determinare, in base alla domanda (annuale), come allocare le capacità produttive e, se necessario, aggiungerne di nuove. La maggior parte delle aziende desidera intraprendere progetti che contribuiscano ad ottenere il maggior *valore attuale netto* (NPV), soggetti a risorse limitate (in genere capitale e lavoro). L'azienda deve decidere se intraprendere o meno ciascun progetto. Nella fattispecie, FCA deve prendere decisioni su potenziali incrementi delle capacità produttive dei propri stabilimenti in Europa e in America Latina.

Nelle situazioni di modellazione nelle quali o si fa o non si fa qualcosa, il metodo più impiegato consiste nell'utilizzare delle celle variabili binarie. Una cella variabile binaria è sempre uguale a 0 o 1. Quando una cella variabile binaria che corrisponde ad un progetto è uguale a 1, si esegue il progetto. Se una cella variabile binaria che corrisponde a un progetto è uguale a 0, non si esegue il progetto. Di norma si imposta il Risolutore per utilizzare un intervallo di celle variabili binarie aggiungendo uno o più vincoli. Come sempre con un modello di Risolutore, si inizia identificando una cella obiettivo, le celle variabili, e i vincoli.

In un caso generale, gli elementi principali necessari supportare le procedure di calcolo del risolutore potrebbero essere i seguenti:

- Cella obiettivo: massimizzare il valore di NPV generato dai progetti selezionati.
- Celle variabili: si cerca una variabile binaria (0 o 1) per ogni progetto.
- Vincoli.

In questo modo, è possibile calcolare il VAN di tutte le alternative e la cella obiettivo è lineare perché è calcolata sommando i termini che seguono la forma (cella variabile) * (costante) e poiché i vincoli di utilizzo delle risorse sono calcolati confrontando la somma di (celle variabili) * (costanti) con una costante.

7.4 Il valore attuale netto

Il VAN, ovvero il valore attuale netto, è uno dei principali metodi impiegati per la valutazione degli investimenti. Prima di analizzare la formula del VAN e di applicarla al caso pratico, è necessario introdurre il concetto di investimento industriale e di attualizzazione.

Un'impresa che dispone di un certo capitale investibile, deve valutare se tale investimento possa permettere di ottenere un capitale maggiore di quello iniziale, e dunque un guadagno. Per quantificare il guadagno prospettico si procede con il metodo dell'attualizzazione, che permette di misurare quanto vale oggi un flusso che avverrà in futuro. La capitalizzazione è invece il processo di crescita del valore di un capitale finanziario investito. Negli investimenti industriali, la necessità è quella di muoversi a ritroso nel tempo, ovvero di confrontare l'esborso di oggi con le entrate future. L'operazione aritmetica che permette di tradurre le entrate future nel valore che hanno oggi, da T_n a T_0 , è l'operazione opposta alla capitalizzazione, e prende il nome di attualizzazione. Tale operazione calcola quanto vale oggi, prima che tutti gli interessi sul capitale siano maturati, un flusso che accadrà nel futuro.

Per prima cosa è necessario introdurre il concetto di *montante* (M), che equivale alla somma del capitale inizialmente investito e degli interessi che su di esso maturano. Il montante all'anno 1 (M_1) corrisponde al totale che l'investitore si ritrova dopo un anno e corrisponde, analiticamente alla seguente formula:

$$M_1 = K_0 + I = K_0 + i * K_0 = (1 + i)K_0$$

Dove K_0 corrisponde al capitale inizialmente investito, e I rappresenta gli interessi attivi maturati su di esso ($i * \text{capitale iniziale}$). Se prendiamo come esempio un flusso che avverrà fra un anno, si può partire dalla formula del montante M_1 , ricavando K_0 che coincide con il valore attuale:

$$K_0 = VA = \frac{M_1}{(1 + i)}$$

Nel caso più generico, considerando un flusso che avverrà fra n anni, si calcola l'inversa della funzione M_n , depurando quindi il flusso finale di tutti gli interessi che hanno permesso di realizzarlo, e ottenendo il valore attuale $VA (k_0)$.

$$VA = \frac{M_n}{(1+i)^n} = M_n \frac{1}{(1+i)^n} = K_0$$

Il valore attuale ottenuto è la traduzione in euro attuali di un ricavo, un costo o qualsiasi altro flusso monetario che si prevede avverrà tra n anni, attraverso il tasso di interesse i . Il termine

$$\frac{1}{(1+i)^n}$$

corrisponde al *fattore di attualizzazione*. Moltiplicando un flusso futuro per il suo fattore di attualizzazione è possibile tradurlo in valori odierni, e sommarlo ai flussi che avvengono oggi. Questo procedimento permette di ragionare sul singolo flusso; un investimento industriale deve considerare tuttavia una serie di flussi che accadranno nel futuro come conseguenza del singolo flusso avvenuto nel presente. Risulta quindi necessario fare un bilancio complessivo di tutti i flussi che avvengono in tempi diversi; ognuno di questi flussi deve essere attualizzato con il corretto fattore di attualizzazione.

$$VA = \frac{M_1}{(1+i)} + \frac{M_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{M_n}{(1+i)^n} = \sum_{t=1}^n \frac{M_t}{(1+i)^t}$$

Nel caso di investimenti industriali, i flussi possono essere considerati costanti nel tempo, ad esempio nel caso in analisi in cui si prevede di aumentare la capacità produttiva per produrre e vendere, grazie a questo investimento, un numero fisso di pezzi. La formulazione può quindi essere semplificata, ponendo M fisso uguale a:

$$M_t = M$$

Portando tale valore fuori dalla sommatoria, il valore attuale corrisponderà al prodotto tra il flusso (costante) e la somma dei fattori di attualizzazione.

$$VA = M \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t}$$

Noto il VA è possibile procedere alla valutazione dell'investimento, e comprendere se è conveniente o meno. Il metodo preso in esame in questo studio è quello del Valore Attuale Netto (VAN, che in inglese si indica come Net Present Value NPV), con il quale ci si domanda se i flussi futuri, attualizzati al presente, siano sufficienti a coprire l'esborso per l'investimento K_0 . Si confronta quindi l'esborso iniziale con il valore attuale dei flussi futuri, o meglio, se il valore attuale netto, calcolato sottraendo l'esborso iniziale al valore attuale dei flussi futuri, è positivo o negativo. Il VAN deriva dunque dalla sommatoria di tutti i flussi di cassa, incluso l'anno zero, il cui fattore di attualizzazione è pari a uno:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_{CT}}{(1+i)^t} \gtrless 0$$

Il VAN applica la procedura dell'attualizzazione a tutti i flussi derivanti dall'investimento; se la sommatoria risulta maggiore di zero allora l'investimento è conveniente, se è minore di zero non è conveniente, se è uguale a zero è indifferente. Esplicitando le componenti del VAN, è possibile evidenziare quelle che sono le fasi del progetto di investimento:

$$VAN = K_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_{CT}}{(1+i)^t} + \frac{E_n}{(1+i)^n}$$

Dove:

- K_0 Rappresenta l'esborso iniziale ed è dunque un flusso negativo;
- FC_t Rappresenta l'insieme di flussi generati dall'investimento stesso;
- n corrisponde alla durata dell'investimento;
- i è il tasso di attualizzazione;
- E_n Comprende le partite di chiusura, ovvero le eventuali operazioni straordinarie riguardanti soltanto l'ultimo anno.

Il VAN calcola dunque la somma algebrica dei flussi complessivi (esborsi iniziali ed effetti dell'investimento); se il risultato è maggiore di zero, allora l'investimento risulta essere conveniente.

Nel caso in esame, poiché si vuole fare una valutazione su più possibili soluzioni alternative, per trovare quella ottimale, è necessario fare un'analisi di *Investimenti Alternativi*, ovvero investimenti che rispondono in modo diverso alla stessa esigenza. L'impresa viene posta

davanti alla scelta tra più alternative possibili per raggiungere un proprio obiettivo strategico, ma non può cumularle. Si deve quindi cercare la strada che permette un maggior guadagno o che implica un minor costo. Il caso sotto esame è quello in cui gli investimenti alternativi sono tutti della stessa durata. In una situazione simile la valutazione è semplice: si sceglie l'investimento che genera il VAN più grande.

7.4.1 Determinazione del VAN – il calcolo applicato da FCA

Per entrare più nel concreto, questo paragrafo sarà utile a comprendere come, a partire questi concetti preliminari, si possano stimare correttamente le cifre da inserire nella formula del VAN, seguendo quella che è la procedura adottata dal Gruppo FCA.

La vera difficoltà non consiste nel calcolo del VAN in sé, bensì nella valutazione delle singole variabili che entrano in gioco in questo calcolo, e dalle loro previsioni che possono essere più o meno affidabili.

Risulta quindi necessario definire tutti i parametri che vengono considerati nella formula, ovvero:

- K_0 : esborso iniziale dell'investimento.
- n : durata del progetto;
- i : il tasso di attualizzazione;
- FC_t : insieme di flussi generati dall'investimento;

Come spiegato precedentemente, l'investimento è un input da spalmare in base agli anni di contabilità stimati (entrate positive e pagamenti anticipati). I flussi incrementali possono essere divisi in “Costi e ricavi incrementali” derivanti solo dall'investimento incrementale, e “Variazioni NWC”, ovvero input che devono essere realizzati per compensare gli investimenti contabilizzati ma che devono ancora essere pagati, i ricavi che devono ancora essere incassati o i costi che devono ancora essere pagati.

L'esborso iniziale K_0 deve essere considerato un flusso negativo, in quanto rappresenta l'esborso per la realizzazione dell'investimento. Tale esborso può non avvenire interamente in un unico istante, ma può essere realizzato in più anni e, in tal caso, anche i flussi necessari per la realizzazione dell'investimento devono essere attualizzati. Ogni flusso di cassa implicato nell'operazione dovrà essere portato al momento zero, ovvero quello in cui

avviene il primo flusso relativo alla realizzazione dell'investimento: i flussi vengono inseriti nella valutazione nel momento in cui accadono.

Il valore di K_0 non si limita sempre agli esborsi per la realizzazione di un bene strumentale. Alcuni investimenti aumentano il livello generale di attività dell'impresa, per esempio quando riguardano l'introduzione di una nuova linea di prodotti, investimenti pubblicitari per allargare i mercati, o, come nel caso in esame, l'aumento della capacità produttiva di uno stabilimento. Se questo investimento induce quindi un aumento delle vendite, questo ha un effetto sulle voci che compongono il capitale circolante netto.

In generale K_0 deriva dalla somma di due elementi: l'esborso per la realizzazione dell'investimento e l'eventuale aumento di capitale circolante se l'investimento comporta un aumento di vendite oltre ad un risparmio di costi:

$$k_0 = k_I + \Delta CC$$

La valutazione della durata dell'investimento non è da trascurare, in quanto una maggiore o minore estensione del progetto e dell'arco temporale in cui dovrà essere operativo può variare di molto l'entità del VAN.

Il tasso di attualizzazione i è il valore che l'impresa utilizza per calcolare i fattori di attualizzazione e si determina a partire dal costo del denaro per l'impresa stessa. La letteratura suggerisce due strade alternative per determinarlo:

- Metodo del costo marginale;
- Metodo del costo medio.

Il Gruppo FCA utilizza il secondo metodo, ovvero inserisce nella formula di calcolo del VAN il cosiddetto WACC (weighted average cost of capital), ovvero il costo medio ponderato del capitale. In particolare, nella formula applicata sono presenti:

- i (*capitale*): percentuale di rendimento del capitale proprio atteso dagli azionisti: [i (*capitale*) = risk free (obbligazioni) + $\beta \times$ (premio di rischio di mercato)]
- i (*debiti*): percentuale di costo del debito (principalmente oneri finanziari che considerano la detrazione fiscale)

Tale metodo calcola il tasso di attualizzazione come media ponderata di tutti i costi del denaro delle singole risorse finanziarie per l'impresa. La media considerata si riferisce alla situazione ante investimento.

La scelta di questo metodo trova la sua giustificazione nella pratica aziendale, dove il reperimento dei fondi è volto alla ricerca del mantenimento di un mix equilibrato delle fonti di finanziamento fra capitale sociale, i finanziamenti di breve e di lungo termine.

Il *Costo Medio del capitale* corrisponde dunque al costo del capitale proprio e al costo del debito, ponderati con le condizioni di indebitamento dell'impresa.

7.5 Analisi e studio dei risultati ottenuti

Riprendendo quelli che sono gli elementi a disposizione per questo studio, gli stabilimenti produttori dei motori turbo e aspirati sono 5: i Plant A, B e D producono entrambi i tipi di motore, lo stabilimento C produce solo motori aspirati ed infine il Plant E produce solo motori turbo, T_x e T_y .

Ogni stabilimento ha una capacità produttiva specifica, così come specifici costi logistici, di produzione, di manodopera e di trasformazione.

I nuovi scenari richiedono 200k unità di motori aspirati e 400k unità di motori turbo. Nella fattispecie, i 200k motori T_x sono destinati al Plant Veicolo EMEA 1 (100k unità) e al Plant Veicolo EMEA 5 (100k unità), mentre i motori turbo sono destinati al Plant Veicolo EMEA 3 (100k unità, di cui 50k T_x e 50k T_y), al Plant Veicolo EMEA 4 (40k unità T_y), al Plant Veicolo EMEA 2 (80k unità T_x), al Plant Veicolo LATAM 4 (110k unità T_y) ed al Plant Veicolo LATAM 3 (70k unità T_y). Inoltre, ogni stabilimento deve essere considerato per capacità complessiva (current + additional) maggiore o uguale a 200 unità.

L'obiettivo che si vuole raggiungere, almeno in questa prima fase dello studio, è di tipo strettamente economico, ovvero la minimizzazione del valore attuale netto relativo agli investimenti. In una fase più avanzata verranno presi in considerazione anche il contesto sociale, politico e culturale dei paesi in cui operano gli stabilimenti considerati, al fine di ottenere una soluzione più precisa e puntuale, non solo dal punto di vista finanziario ma anche strategico e gestionale.

Al fine di calcolare il costo totale di ogni investimento, per poter poi fare un confronto tra le diverse alternative, la prima operazione effettuata ha permesso di ricavare l'ammontare dell'investimento calendarizzato per il 2018, il totale della sua conversione costo per unità, e di arrivare al calcolo del costo totale. Lo stesso calcolo è stato effettuato per i quattro anni successivi, fino al 2022, ed è stato infine valutato il costo totale dell'investimento al termine dei cinque anni considerati.

Il primo passo per l'utilizzo del Solver Excel è quello di creare dei fogli elettronici per l'analisi e la soluzione del problema di ottimizzazione; si richiede infatti la conversione della formulazione del problema in un foglio elettronico utilizzabile dal software. All'interno del foglio elettronico devono quindi essere presenti i dati, le variabili, le funzioni di vincolo, e la funzione obiettivo. Al fine di permettere una visualizzazione ed individuazione dei parametri e dei dati più efficace, il foglio elettronico è stato diviso in quattro sezioni principali: Dati di ingresso, Variabili di decisione, Funzione obiettivo, Vincoli.

7.5.1 I dati di ingresso

Si tratta di inserire in una tabella Excel i valori numerici che devono essere utilizzati nel modello. In questo specifico caso, i dati inseriti sono stati precedentemente elaborati al fine di rendere più semplice la formulazione della funzione obiettivo. In particolare, sono stati eseguiti cinque step preliminari che hanno permesso di ricavare il costo totale di investimento di tutte le possibili alternative proposte.

I calcoli relativi ai cinque passaggi eseguiti per ricavare il costo totale di investimento possono essere descritti come segue.

1. L'investimento sui cinque anni presi in considerazione viene spalmato secondo una regola interna:
 - 2018: 15% dell'investimento totale
 - 2019: 60% dell'investimento totale
 - 2020: 10% dell'investimento totale
 - 2021: 10% dell'investimento totale
 - 2022: 5% dell'investimento totale
2. Tot. Conversion = sommatoria di tutti i costi coinvolti nell'operazione: costi di trasformazione, costi logistici, inbound e outbound, costi del materiale diretto.

3. Per poter calcolare il costo totale annuo dell'investimento, il Tot. Conversion cost/unit è stato moltiplicato per la quantità di prodotti richiesti in quell'anno (Domanda annua).
4. Sommatoria dell'investimento calendarizzato per quell'anno e del Total Conversion cost dello stesso anno.
5. Il costo effettivo dell'investimento totale sarà uguale alla somma del costo degli investimenti dei cinque anni.

In figura è riportata la tabella su foglio di calcolo Excel sulla quale sono stati inseriti i dati di ingresso relativi ai valori di capacità ed investimento per quattro differenti scenari, su un orizzonte temporale di cinque anni, degli stabilimenti considerati.

		Yearly cost				
Plant	NA/TC	2022				Total
		Inv. Calend. [€/M]	Tot Conversion Cost/unit [€/u]	Tot. Conv cost [€/y]	Tot. cost [€/y]	
Plant A 1	N	4,4	903	180540,0	184,9	990,7
Plant A 1	Tx/Ty	0	1783	713272,0	0,0	0,0
Plant A 2	N	0	804	160840,0	0,0	0,0
Plant A 2	Tx/Ty	5,65	1895	757992,0	763,6	3903,0
Plant A 3	N	0	804	160840,0	0,0	0,0
Plant A 3	Tx/Ty	14,55	1883	753272,0	767,8	4057,4
Plant A 4	N	2,28	904	180840,0	183,1	949,8
Plant A 4	Tx/Ty	16,72	1894	757672,0	774,4	4122,8

Tabella 7. Dati di ingresso – Plant A – Year 2022

Per ciascuno scenario, e successivamente per ognuno dei cinque stabilimenti, sono quindi riportati i valori dell'investimento calendarizzato, del costo unitario e totale annuo, e del costo totale al termine dei cinque anni.

L'ultima cella, ovvero quella corrispondente all'ammontare del costo totale dell'investimento all'anno 2022, è quella che verrà poi impiegata per i calcoli successivi, e che fornirà quindi i dati di ingresso veri e propri necessari per l'utilizzo del risolutore e per l'impostazione della funzione obiettivo.

7.5.2 Le celle variabili (variabili di decisione)

Le celle variabili rappresentano il valore delle variabili di decisione del modello. Al momento dell'utilizzo del Risolutore, queste celle sono considerate come incognite (risultano infatti come celle vuote) e come output conterranno il valore ottimo della soluzione.

Nella fattispecie, le celle variabili corrispondono agli incrementi di capacità produttiva possibili per ogni stabilimento. La decisione da prendere non è quanto produrre sul singolo plant, ma se utilizzare o meno un determinato plant, considerando le relative proposte/investimenti. Data questa impostazione del problema, le celle variabili sono binarie: l'output di queste celle sarà uguale a "1" se si utilizza il plant, e sarà uguale a "0" se invece si decide di non utilizzare quello stabilimento.

Plant	Capacità	Costo Tot. Normalizzato	Celle variabili
Plant A 1	200	4,9535	0
Plant A 2	0	0	0
Plant A 3	0	0	0
Plant A 4	200	4,749	0
Plant B 1	200	6,1525	0
Plant B 2	200	5,576	0
Plant B 3	0	0	0
Plant B 4	0	0	0
Plant C 1	200	6,34527	0
Plant C 2	0	0	0
Plant C 3	0	0	0
Plant C 4	0	0	0
Plant D 1	200	5,73251	0
Plant D 2	0	0	0
Plant D 3	0	0	0
Plant D 4	200	5,54927	0

Tabella 8. Celle variabili - prima del lancio del Risolutore

7.5.3 Celle obiettivo

La cella obiettivo contiene il valore della funzione obiettivo, ed è una funzione dei dati presenti nelle celle variabili. La procedura di ottimizzazione utilizzata per la programmazione lineare è il metodo del simplesso. Tale metodo, uno fra i più utilizzati per la risoluzione dei problemi di programmazione lineare, permette di passare da una soluzione di base di un problema, sia esso di minimizzazione (come nel caso analizzato) o di massimizzazione, ad un'altra soluzione di base, riducendo o incrementando il valore della

funzione obiettivo, fino a quando non si raggiunge il suo valore minimo, o massimo. Grazie a questo algoritmo del simpleso è quindi sufficiente considerare solo le soluzioni di base del problema, al fine di ricercare la soluzione ottima.

Come in ogni problema di programmazione lineare, la forma standard in cui scrivere la funzione è la seguente:

$$\begin{aligned} \min & c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \\ & x_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Molto diffusa è anche la forma matriciale equivalente della funzione obiettivo:

$$\begin{aligned} \min & \bar{c}^T \bar{x} \\ & A\bar{x} = \bar{b} \\ & x \geq \bar{0} \end{aligned}$$

dove:

- $\bar{x}$ è il vettore colonna n -dim
- $\bar{c}^T$ è il vettore riga n -dim
- A è la matrice $m * n$
- $\bar{b}$ è il vettore colonna m -dim

Nella fattispecie, la funzione obiettivo è la somma dei prodotti delle colonne *Capacità*, *Costo Totale Normalizzato* e *Celle variabili* per ogni plant, ovvero si tratta di assegnare alla cella Funzione Obiettivo (FO) la formula:

$$\sum_{i=A_1}^{D_4} \text{Capacità}_i * \text{Costo Totale Normalizzato}_i * \text{Cella Variabile}_i$$

e di impostare, nel risolutore, la funzione “min”, per indicare che si tratta di un problema di minimizzazione:

$$\min \sum_{i=A_1}^{D_4} \text{Capacità}_i * \text{Costo Totale Normalizzato}_i * \text{Cella Variabile}_i$$

7.5.4 Celle vincoli

Per quanto riguarda i vincoli del problema, si possono presentare due possibili situazioni.

Nella prima situazione il vincolo i.mo è nella forma:

$$\bar{a}^i \bar{x} \leq b_i$$

dove $\bar{a}^i$ corrisponde all'i.ma riga di A.

A questo punto si aggiunge una *variabile di slack* $y_i \geq 0$, ed il vincolo diventa:

$$\bar{a}^i \bar{x} + y_i = b_i$$

Nella seconda situazione il vincolo i.mo è nella forma:

$$\bar{a}^i \bar{x} \geq b_i$$

A questo punto si sottrae una *variabile di surplus* $y_i \geq 0$, ed il vincolo diventa:

$$\bar{a}^i \bar{x} - y_i = b_i$$

Per risolvere il problema dei vincoli nell'impostazione nel risolutore, si tratta di creare delle celle che contengano le formule che definiscono il "left hand side" (l.h.s.) dei vincoli. Il right hand side = r.h.s del vincolo deve essere un valore numerico e deve essere contenuto in un'altra cella.

Nel caso in esame, la cella vincolo è la somma dei prodotti delle colonne *Capacità* e *Celle variabili* per ogni singolo plant e scenario, e la cella "Vincolo" presenterà dunque la formula:

$$\sum_{i=A_1}^{D_4} Capacità_i * Cella Variabile_i$$

e, nel risolutore, verrà impostato il suo limite massimo ponendo tale cella minore o uguale al suo vincolo massimo di capacità, che sarà differente a seconda che si tratti di un motore N o dei motori T_x e T_y (ci si trova nella prima situazione, variabili di slack).

Con le variabili binarie, risulta molto semplice impostare vincoli di esclusività: se, per esempio, è possibile utilizzare solo un impianto di tipo A, è necessario specificare che la somma delle variabili relative agli impianti A sia minore o uguale a "1", e quindi che al

massimo una di quelle variabili sia uguale a “1”. In tal modo scenari differenti per lo stesso stabilimento risulteranno tra loro mutuamente esclusivi.

Una volta completati i fogli di calcolo con i Dati di ingresso, le Celle Variabili, le Celle Obiettivo e le Celle Vincolo, è stato possibile impostare il risolutore e ottenere i risultati ottimali per i due casi in esame. L'uso di Excel come foglio elettronico per una descrizione del modello, può essere utilizzata per verificare le conseguenze di diversi possibili cambiamenti nelle scelte aziendali, cercando di valutarne quindi a priori le conseguenze e scegliendo le migliori alternative possibili.

La tabella costruita consente di fare semplici analisi di possibili scenari, con la possibilità di modificare manualmente di dati di ingresso. In tal caso cambieranno anche le soluzioni ammissibili e le funzioni obiettivo associate.

Nella fattispecie, se si modificassero le capacità aggiuntive e si andassero quindi a modificare i possibili scenari relativi ai cinque stabilimenti in esame, si otterrebbero nuovi valori di investimento e dunque la soluzione ottimale sarebbe diversa.

Questo tipo di approccio è anche noto come “*What if..?*” (letteralmente “*Che succede se...?*”) e la sua flessibilità costituisce l'aspetto che rende l'uso di fogli elettronici un utile supporto alle decisioni strategiche aziendali. Il modello in forma tabellare è utile quindi per determinare la soluzione ottima mediante un algoritmo di ottimizzazione.

7.5.5 Motori aspirati (N)

Nel caso dei motori aspirati, i dati forniti prevedevano per ogni scenario la stessa proposta di capacità produttiva, ovvero 200 mila unità, che corrisponde esattamente alla quantità di motori richiesta.

Per quanto riguarda la Cella Vincolo, corrispondente ad una matrice Somma-Prodotto delle *Celle Capacità* e delle *Celle variabili*, è bastato imporre nel risolutore che tale valore, ottenuto tramite la formula

$$\sum_{i=A_1}^{D_4} \text{Capacità}_i * \text{Cella Variabile}_i$$

corrispondesse esattamente a 200 mila unità, in modo tale da soddisfare la domanda totale. Per evitare che più scenari relativi al medesimo stabilimento potessero risultare

contemporaneamente nella soluzione finale, è stato imposto, sempre tramite i vincoli del risolutore, che la somma delle variabili binarie relative agli scenari di ogni singolo stabilimento non fosse mai superiore al valore di “1”. In tal modo è stato possibile garantire che gli stabilimenti fossero tra loro mutuamente esclusivi.

Impostando dunque il risolutore con gli opportuni valori di Celle variabili (binarie) e vincoli, è stata selezionata la cella FO spuntando il comando “min”: l’obiettivo da raggiungere era infatti la minimizzazione del costo totale di investimento, tenendo in considerazione gli incrementi di capacità.

A questo punto il risolutore è perfettamente in grado di risolvere il problema e di proporre la soluzione ottimale. Una volta lanciato il risolutore infatti, si verifica che il valore di alcune celle risulta modificato. In particolare le celle di decisione contengono il valore della soluzione (ottima) determinata dal Solutore, mentre la cella obiettivo contiene il corrispondente valore della funzione obiettivo. Anche il valore del l.h.s dei vincoli viene calcolato utilizzando il valore corrente delle variabili di decisione.

Come si evince dalla figura sottostante, il risolutore ha proposto come soluzione ottima quella dello scenario 4 del Plant A, che corrisponde ad un incremento di capacità di 200 mila unità in uno degli stabilimenti EMEA, al costo complessivo di 949,80 k€.

Plant	Capacità	Costo Tot. Normalizzato	Celle variabili	FO
Plant A 1	200	4,9535	0	949,80 €
Plant A 2	0	0	0	
Plant A 3	0	0	0	
Plant A 4	200	4,749	1	
Plant B 1	200	6,1525	0	
Plant B 2	200	5,576	0	
Plant B 3	0	0	0	
Plant B 4	0	0	0	
Plant C 1	200	6,34527	0	
Plant C 2	0	0	0	
Plant C 3	0	0	0	
Plant C 4	0	0	0	
Plant D 1	200	5,73251	0	
Plant D 2	0	0	0	
Plant D 3	0	0	0	
Plant D 4	200	5,54927	0	

Tabella 9. Soluzione ottimale - motori N

7.5.6 Motori Turbo (T_X e T_Y)

Nel caso dei motori T_X e T_Y , per i differenti scenari esistono proposte di capacità produttiva di 200 o di 400 mila unità, mentre la quantità totale richiesta dal mercato ammonta a 600 mila unità. Non è più sufficiente dunque trovare la proposta di investimento più economica ed in grado di soddisfare la domanda, come nel caso dei motori aspirati, ma è necessario trovare la combinazione ottimale di capacità incrementali di più stabilimenti che producono contemporaneamente i motori turbo (garantendo il rapporto di mutua esclusività tra di essi) al minimo costo totale.

Come nel caso dei motori aspirati, per quanto riguarda la Cella Vincolo, corrispondente ad una matrice Somma-Prodotto delle *Celle Capacità* e delle *Celle variabili*, è bastato imporre nel risolutore che tale valore, ottenuto tramite la formula

$$\sum_{i=A_1}^{D_4} \text{Capacità}_i * \text{Cella Variabile}_i$$

corrispondesse esattamente a 600 mila unità, in modo tale da soddisfare la domanda totale.

Anche in questo caso, al fine di evitare che più scenari relativi al medesimo stabilimento potessero risultare contemporaneamente nella soluzione finale, è stato imposto, sempre tramite i vincoli del risolutore, che la somma delle variabili binarie relative agli scenari di ogni singolo stabilimento non fosse mai superiore al valore di “1”. In tal modo è stato possibile garantire che gli stabilimenti fossero tra loro mutuamente esclusivi.

Impostando dunque il risolutore con gli opportuni valori di Celle variabili (binarie) e vincoli, è stata selezionata la cella FO spuntando il comando “min”: l’obiettivo da raggiungere era infatti la minimizzazione del costo totale di investimento, tenendo in considerazione gli incrementi di capacità.

Il risolutore, una volta lanciato, ha proposto come soluzione ottima quella dello scenario 3 del Plant A, che corrisponde ad un incremento di capacità di 400 mila unità in uno degli stabilimenti EMEA, e dello scenario 4 del Plant D, che corrisponde ad un incremento di capacità di 200 mila unità in uno degli stabilimenti LATAM, al costo complessivo di 7.978,87 k€.

Il valore del l.h.s dei vincoli, calcolato utilizzando il valore corrente delle variabili di decisione, ha dato il seguente risultato:

Celle Vincolo	600
Plant A	1
Plant B	0
Plant D	1
Plant E	0

Tabella 10. Celle vincolo - motori Tx e Ty

I risultati completi sono mostrati nella tabella 5.

Plant	Capacità	Costo Tot. Normalizzato	Celle Variabili	FO
Plant A 1	0	0	0	7.978,87 €
Plant A 2	200	19,5148	0	
Plant A 3	400	10,1434	1	
Plant A 4	400	10,3069	0	
Plant B 1	0	0	0	
Plant B 2	200	20,0988	0	
Plant B 3	200	20,7408	0	
Plant B 4	400	10,3634	0	
Plant D 1	0	0	0	
Plant D 2	0	0	0	
Plant D 3	0	0	0	
Plant D 4	200	19,60753	1	
Plant E 1	0	0	0	
Plant E 2	0	0	0	
Plant E 3	200	22,91304522	0	
Plant E 4	0	0	0	

Tabella 11. Soluzione ottimale - motori Tx e Ty

Tutti i software di programmazione lineare forniscono un numero di informazioni aggiuntive oltre al valore ottimo delle variabili di decisione e della funzione obiettivo.

In particolare, il Solver di Microsoft Excel produce tre fogli opzionali che sono il Rapporto valori, il Rapporto sensibilità e il Rapporto limiti.

7.5.7 Considerazioni finali

Analizzando i risultati ottenuti dal risolutore di Excel, è possibile fare alcune considerazioni. La soluzione che il Solver ha proposto per i motori aspirati è quella di aggiungere una capacità produttiva aggiuntiva di 200 mila unità nello stabilimento A, accogliendo la proposta di investimento “Plant A4”.

Per quanto riguarda la soluzione relativa ai motori turbo, essa prevede di aggiungere capacità produttiva di 400 mila unità nello stabilimento A, accogliendo la proposta di investimento “Plant A3”, e di aggiungere capacità produttiva pari a 200 mila unità nello stabilimento D, accogliendo la proposta di investimento “Plant D4”.

Questi ovviamente sono solo i risultati matematici ottenuti tramite uno strumento di calcolo che non può fare considerazioni di tipo gestionale e strategico, ma può soltanto facilitare e indirizzare le scelte aziendali finali.

A questo punto lo stratega può valutare quelli che sono i risultati ottenuti e prendere le decisioni.

Nel caso del Plant A, per esempio, poiché il costo totale normalizzato della proposta di investimento 3 (per i motori turbo) si differenzia di poco dalla proposta 4 (10,1434 contro 10,3069), e considerando che la proposta “Plant A4” sia anche stata proposta come migliore soluzione per la capacità produttiva aggiuntiva di motori aspirati, lo stratega potrebbe decidere di investire per 200 mila unità di motori aspirati nello stabilimento A, accogliendo la proposta di investimento “Plant A3”, di produrre 400 mila unità di motori turbo nello stesso stabilimento e con la stessa opzione (“Plant A3”), e di investire sull’opzione “Plant D4” per le restanti 200 mila unità di motori turbo, come proposto dal risolutore.

7.6 Rapporto di valori

Il Rapporto valori è diviso in tre sezioni: funzione obiettivo, celle variabili, vincoli. Per quanto riguarda le prime due sezioni, sono riportati i valori iniziali ed i valori ottenuti dal Risolutore.

Nella sezione dedicata ai vincoli, per ogni vincolo oltre al valore del l.h.s. e alla relativa formula (in formato Excel) vengono fornite indicazioni sullo stato. In particolare lo stato di

un vincolo può essere Vincolante o Non Vincolante. Si intende che il vincolo è rispettivamente attivo (ovvero soddisfatto all'uguaglianza) o non attivo (ovvero soddisfatto con la disuguaglianza stretta) nella soluzione ottima determinata dal Risolutore.

L'ultima colonna della sezione dedicata ai vincoli Tolleranza è la differenza (slack) tra il valore del l.h.s e il valore del r.h.s. Questa informazione è di interesse quando i vincoli si riferiscono ad una risorsa limitata (come nel caso dell'esempio di allocazione ottima delle risorse). In questo caso infatti la Tolleranza indica quanta parte della risorsa disponibile non è stata utilizzata.

7.6.1 Rapporto di valori Motori N

Risultato: è stata trovata una soluzione. Tutti i vincoli e le condizioni di ottimalizzazione sono stati soddisfatti. Il Motore Risolutore utilizzato per la risoluzione del problema è il motore Simplex LP. Il tempo di risoluzione è stato di 0,031 s, con tre iterazioni totali e zero problemi secondari. Le opzioni del risolutore sono state:

- Tempo massimo: Illimitato
- Iterazioni: Illimitate
- Precisione: 0,000001,
- Proporzioni: automatiche
- Numero massimo problemi secondari: illimitato
- Numero massimo soluzioni intere: Illimitato
- Tolleranza interi 1%
- Risolvi senza vincoli sugli interi
- Presumi non negative

Essendo questo un caso molto simile a quello di “allocazione ottima delle risorse”, i vincoli si riferiscono ad una risorsa limitata, e la Tolleranza specificata nell’ultima colonna della tabella in basso indica quanta parte della risorsa disponibile non è stata utilizzata. Si può notare che le celle in cui il valore della tolleranza è uguale al valore “1”, sono proprio quelle relative agli stabilimenti che non sono stati scelti dal risolutore come soluzioni ottimali, e che quindi hanno ancora a disposizione l’intera capacità produttiva proposta.

Lo stato del vincolo del Plant A risulta essere vincolante proprio perché, avendo deciso di allocare le capacità produttive aggiuntive in uno degli scenari del Plant A, gli altri tre scenari non possono più essere scelti. Allo stesso modo, è vincolante la “Cella Vincolo” relativa alla massima capacità possibile.

Cella	Nome	Valore della cella	Formula	Stato	Tolleranza
\$D\$30	Cella Vincolo Celle variabili	200	\$D\$30=200	Vincolante	0
\$D\$31	Plant A Celle variabili	1	\$D\$31<=1	Vincolante	0
\$D\$32	Plant B Celle variabili	0	\$D\$32<=1	Non vincolante	1
\$D\$33	Plant C Celle variabili	0	\$D\$33<=1	Non vincolante	1
\$D\$34	Plant D Celle variabili	0	\$D\$34<=1	Non vincolante	1
\$D\$2:\$D\$28=Binarie					

Tabella 12. Rapporto Valori Motori N – vincoli

7.6.2 Rapporto di valori Motori T_x e T_y

Risultato: È stata trovata una soluzione. Tutti i vincoli e le condizioni di ottimizzazione sono stati soddisfatti. Il Motore Risolutore utilizzato per la risoluzione del problema è il motore Simplex LP. Il tempo di risoluzione è stato di 0,047 secondi, con un’iterazione totale e quattordici problemi secondari. Le opzioni del risolutore sono state:

- Tempo massimo: Illimitato
- Iterazioni: Illimitate
- Precisione: 0,000001,
- Proporzioni: automatiche
- Numero massimo problemi secondari: illimitato
- Numero massimo soluzioni intere: Illimitato
- Tolleranza interi 1%
- Risolvi senza vincoli sugli interi
- Presumi non negative

Così come per i motori aspirati, anche nel caso dei motori i vincoli si riferiscono ad una risorsa limitata, e la Tolleranza fornisce un indicatore chiave di quanta parte della risorsa non utilizzata sia ancora disponibile. In questo caso gli stati vincolanti sono quelli del vincolo del Plant A e del Plant D, ovvero quelli risultati come soluzioni ottimali.

Cella	Nome	Valore della cella	Formula	Stato	Tolleranza
\$D\$35	Celle Vincolo Celle Variabili	600	\$D\$35=600	Vincolante	0
\$D\$36	Plant A Celle Variabili	1	\$D\$36<=1	Vincolante	0
\$D\$37	Plant B Celle Variabili	0	\$D\$37<=1	Non vincolante	1
\$D\$38	Plant D Celle Variabili	1	\$D\$38<=1	Vincolante	0
\$D\$39	Plant E Celle Variabili	0	\$D\$39<=1	Non vincolante	1
\$D\$3:\$D\$33=Binarie					

Tabella 13. Rapporto Valori Motori Tx e Ty – vincoli

7.7 Limiti dell'Optimal Planning Tool – Fattori di rumore e contesto generale

L'op. ha l'enorme vantaggio di utilizzare un algoritmo per selezionare tra infinite opzioni di capacità e trovare la combinazione che rappresenta l'ottimo.

Tuttavia, tra i limiti attuali di questo strumento si evincono almeno tre categorie di fattori di rumore che sono rappresentati da:

1. Fattori legati alle specificità di una determinata region/paese
2. Fattori impattanti l'evoluzione della domanda
3. Fattori relativi alle peculiarità specifiche di un determinato sito industriale

7.7.1 Fattori legati alle specificità di una determinata region/paese

Tra i fattori specifici legati alla singola region, il tool non tiene conto di:

- Instabilità dello scenario socio-politico di un determinato paese candidato.
- Fattore inflazione
- Il tasso di cambio viene considerato fisso per tutto l'intervallo temporale dell'investimento
- Introduzione di dazi non previsti al momento della pianificazione dell'investimento
- Normative locali e vincoli amministrativi (imposizioni su import/export)

Queste valutazioni sono comunque tenute in considerazione da chi sviluppa le strategie, sia in fase di preselezione del sito, sia in fase di analisi dei risultati del simulatore.

In tal senso il simulatore rappresenta comunque uno strumento di supporto che potrebbe permettere, nei suoi sviluppi futuri, l'abbinamento di pesi di carattere quali-quantitativi che

rappresentino in una misura ragionevolmente ponderata su un modello da elaborare, l'effetto dei fattori sopra elencati.

7.7.2 Fattori impattanti l'evoluzione della domanda

Tra gli studi al momento in essere per migliorare la bontà delle soluzioni del simulatore, c'è anche la costruzione di un modello che contenga la variabilità della domanda.

Il modello parte da serie storiche di previsione della domanda di un determinato prodotto, per definirne le potenziali oscillazioni future, tuttavia non tiene conto dell'impatto del legislatore su possibili evoluzioni o modifiche della normativa vigente che possono repentinamente condizionare il mercato.

7.7.3 Fattori relativi alle peculiarità specifiche di un determinato sito industriale

Quando si comparano tra di loro le varie opzioni prese in considerazione, l'Optimal Planning Tool itera il processo di comparazione di singoli moduli fino ad arrivare all'individuazione di un ottimo basato su un modello quantitativo. In tal senso diventa molto difficile inserire considerazioni di carattere più ampio per ciascun singolo modulo, che non siano catturabili attraverso un parametro numerico o una funzione che ne rappresenti l'andamento nel tempo. Questi fattori sono caratteristici di ogni singolo sito e possono assumere dimensioni e aspetti estremamente variegati.

Uno dei più importanti tra questi aspetti è senza dubbio il livello di isolamento del sito produttivo, sia in termini di parco-fornitori locali che di attiguità con altri prodotti/processi con cui condividere i costi fissi. Nel momento in cui un sito rappresenta una cosiddetta "cattedrale nel deserto", intervengono diversi fattori di rischio collegati sia alla variabilità della domanda, sia all'attendibilità della stima dei costi.

Quando la domanda crolla, diventa molto difficile, per chi gestisce il sito, riuscire a mantenere in vita un processo produttivo che si debba accollare la totalità dei costi fissi.

Anche in una situazione meno drastica in cui la domanda non diminuisce rapidamente nel tempo, l'assenza di prodotti attigui a quello appena allocato impedisce lo sfruttamento di potenziali sinergie con risorse di varie categorie.

Ultimo ma non meno importante è il rischio di non garantire la curva di apprendimento stabilita in fase di progetto legata al fatto che la popolazione dei dipendenti, e più in particolare degli operai, potrebbe non avere esperienza. Questo si riflette in un ritardo nella tempistica di lancio produttivo.

Un ulteriore fattore è la possibilità di espandere gli spazi disponibili del sito, cosa che potrebbe diventare necessaria nel momento in cui ci fossero forti incrementi della domanda.

Il livello di isolamento ed il grado di espandibilità sono al momento oggetto di studio per poter ampliare la capacità del risolutore di identificare l'ottimo, ma anche in questo caso si potrebbe trattare di parametri quali-quantitativi che entrerebbero all'interno dell'algoritmo sotto forma di vincoli di penalità.

8 Coerenza tra short term e long term

Al termine delle analisi di breve e lungo termine, il pianificatore ripercorre le soluzioni ottenute e ne valuta la coerenza. Gli strumenti disponibili per fare ciò sono sicuramente ancora una volta l'analisi dei costi complessivi, la sostenibilità delle soluzioni di breve termine dal punto di vista dei rischi (obsolescenza dei prodotti, accordi con la forza lavoro su extra turni) e l'analisi delle tempistiche.

Uno degli aspetti fondamentali da tenere in considerazione è l'armonia tra le soluzioni. Uno scenario di breve che comporti un investimento completamente a perdere una volta introdotta la strategia di lungo, rappresenterebbe uno spreco di capitale. D'altro canto, è sempre possibile, attraverso i business case, comparare la somma di scenari di breve e lungo termine prescelti, in modo da comprenderne l'andamento dei costi.

Per quanto riguarda la sostenibilità invece, esistono diverse strategie che indicano talune soluzioni migliori di altre, ad esempio paesi con consolidata storia di accordi flessibili sull'apertura impianto possono garantire un minor rischio nel supportare scenari in cui diventino necessari gli extra-shift. Al contempo, siti multi-prodotto offrono una maggiore robustezza nelle scelte di banking, perché permettono di anticipare produzione su prodotti maturi, riservando capacità su quelli emergenti.

Un altro fattore fondamentale nel concatenamento della strategia di breve con quella di lungo termine è il rispetto delle tempistiche, che viene verificato e validato dall'intero team di progetto e, nel caso in cui la soluzione ottima in termini di costo non rientri nei tempi previsti, bisognerà reiterare il processo di simulazione. Al fine di valutare le tempistiche nel modo più corretto, l'analisi si sposta da un orizzonte annuale, ad uno mensile e infine settimanale.

L'aumento del livello di dettaglio ottenuto riducendo l'orizzonte temporale permette sicuramente un complessivo abbassamento dei rischi una volta che si decida di intraprendere l'una o l'altra soluzione.

Conclusioni

La ricerca di una maggiore sinergia tra gli stabilimenti Fiat Chrysler Automobiles, nonché la necessità di flessibilità e strategie unitarie per rispondere a esigenze di una clientela mondiale sono stati i punti di partenza per lo sviluppo di questo progetto di tesi.

Garantire un elevato livello di servizio ai clienti, fornendo prodotti di qualità, con rapidi tempi di risposta e a costi contenuti, creando sinergie tra i differenti stabilimenti in tutto il mondo: è questo l'obiettivo che l'impresa, con l'aiuto di strumenti a supporto delle scelte aziendali, mira a raggiungere.

È a tale scopo che sono stati proposti tre modelli prototipali di strumenti di calcolo volti a supportare la ricerca e lo sviluppo delle corrette strategie di allocazione delle capacità produttive.

Lo studio che è stato svolto ed esposto in questa trattazione rientra nell'ambito del "Supporto alla Produzione", ovvero quel processo di pianificazione, programmazione e supporto riferito alle attività di produzione.

Nel caso specifico, ci si riferisce a tutto ciò che richiede la preparazione di un programma generale di produzione, con relativa valutazione delle capacità produttive esistenti e future, disponibilità della manodopera, analisi dei costi e gestione delle scorte dei materiali in lavorazione.

Il problema dal quale si è partiti per sviluppare il progetto di tesi è quello che sorge quando una nuova domanda e nuove esigenze della clientela, influenzate ad esempio da nuove normative ecologiche ed ambientali, spingono l'azienda a cercare differenti strategie per riuscire ad adattare le proprie capacità produttive ai cambiamenti del mercato, al fine di mantenere un elevato livello di servizio ai clienti.

I tre strumenti realizzati sono quindi nati con lo scopo di rispondere principalmente a tre domande:

1. Esiste la disponibilità di prodotti simili a quelli richiesti nelle altre regions?
2. Esiste, attualmente, capacità disponibile in altre regions?
3. Esistono sinergie con altre regions (investimenti, bridge, alternative)?

Sono stati realizzati: uno strumento in grado di calcolare il *banking* per utilizzare al massimo le risorse esistenti e soddisfare la domanda sul breve periodo; un foglio di calcolo in grado di supportare le scelte strategiche di investimento per l'allocazione di capacità produttive aggiuntive, sviluppando un piano a lungo termine; una mappatura dei macchinari disponibili che permetta di comprenderne lo stato di salute al fine di convertirli e riutilizzarli adattandoli alle nuove richieste evitando ulteriori investimenti.

Gli strumenti disponibili per analizzare le possibili soluzioni alternative ottenute e valutarne la coerenza sono l'analisi dei costi complessivi, la sostenibilità delle soluzioni di breve termine dal punto di vista dei rischi e l'analisi delle tempistiche. È necessario che vi sia armonia tra le soluzioni proposte, e che le strategie di breve e lungo termine siano coerenti tra di loro. Uno scenario di breve che comporti un investimento completamente a perdere una volta introdotta la strategia di lungo, rappresenterebbe uno spreco di capitale.

I progetti sviluppati in azienda per questa tesi sono stati incentrati tanto sul breve periodo, per quanto riguarda l'implementazione del calcolo del *banking*, quanto sul lungo periodo, per quanto riguarda analisi future di allocazione delle capacità produttive e delle risorse, tramite criteri e metodi di gestione e controllo dell'avanzamento della pianificazione della produzione.

Per sviluppare la strategia di allocazione sono stati seguiti due metodi operativi. Il primo consiste nell'applicare uno *stretching* di quella che è la capacità produttiva degli stabilimenti presenti nel perimetro di analisi, al fine di sfruttarla al massimo e di impiegare tutte le risorse produttive a disposizione. Questa tecnica è anche detta *Squeeze the Lemon*, e si può avvalere anche dell'utilizzo del *Banking*.

Il secondo metodo consiste invece in un incremento della capacità produttiva, quindi un investimento, considerando scenari di lungo termine.

Uno degli strumenti a supporto dell'investimento è proprio la *Heat Map*, che permette di evidenziare quali zone dello stabilimento (quali macchine) siano effettivamente convertibili/riutilizzabili e quali no. Per poter costruire la *Heat Map* è necessario prendere in considerazione diversi aspetti e caratteristiche delle macchine, quali ad esempio l'età, il rischio di obsolescenza, la sua flessibilità, etc.

Ogni regione costruisce una o più proposte di investimento di capacità produttiva considerando le opportunità fornite dalla *Heat Map*. Una volta costruite tutte le opzioni, si

può passare all'*Optimal Planning Tool*, strumento che permette di individuare, tra le diverse proposte, quella più conveniente. Tramite un Business Case sarà possibile individuare la soluzione ottimale. Ovviamente le combinazioni possibili sono infinite; per ridurre il range di alternative vengono impostati determinati limiti, e la soluzione ottimale sarà compresa tra due casi estremi: produco nel mercato in cui vendo / produco tutto dove costa meno.

I risultati proposti coinvolgono la responsabilità per l'immagazzinaggio delle scorte negli stabilimenti di produzione e il coordinamento, con la massima flessibilità, dell'eventuale anticipazione delle attività di produzione e spostamento geografico tra le operazioni di produzione e quelle di distribuzione fisica.

È possibile riassumere i KPIs dell'intero progetto di tesi in tre elementi fondamentali:

- Conformità delle strutture agli standard globali
- Percentuale di riutilizzo degli asset – capacità produttive attuali
- Livello degli investimenti in relazione all'incremento di capacità applicato

Grazie a FCA Group ho avuto la possibilità di comprendere, tramite numeri reali, la situazione in cui opera un'impresa global, e di contribuire con questo progetto di tesi a studiare e sviluppare nuovi modelli prototipali di strumenti matematici di supporto alle scelte strategiche aziendali.

Bibliografia

- Yamashina H., Eroico F., Massone L., Pawlikowski G., Rossi S., Baffoni C.A., Gobetto M., Ballotta E. - Fiat Group Automobiles (2007). Guida metodologica al sistema di produzione adottato da Fiat Group Automobiles.
- Fiat-GM Powertrain Facts & Figures. 2017.
- Maurizio Schenone – Politecnico di Torino. Slides corso di *Programmazione della produzione e Logistica*.
- Guido Perboli – Politecnico di Torino. Slides corso di *Ricerca Operativa*.
- Eleonora Atzeni – Politecnico di Torino. *Slides corso di Sistemi di Produzione Innovativi*
- Wallace Hopp and Mark Spearman – *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, third edition, 2008.
- Elena Ragazzi – Politecnico di Torino - Appunti di Economia ed Organizzazione Aziendale *Parte 1: Il concetto economico di impresa* (Anno Accademico 2016-2017).
- R. Tadei, F. Della Croce – *Elementi di Ricerca Operativa*
- R. Tadei, F. Della Croce, A. Grosso – *Fondamenti di Ottimizzazione*, Progetto Leonardo, Editrice Esculapio, Bologna, 2005

Appendice A - Acronimi

TPS Toyota Production System

JIT Just In Time

TQC Total Quality Control

LRP Long Range Plan (from portfolio management)

PO Operative Plan (from supply chain)

PVA Product Value Added (based on regular manufacturing costs)

WCM World Class Manufacturing

WCT World Class Technology

KPI Key Performance Indicators

LP linear problem

MIP Mixed Integer Problem

Appendice B - Algoritmo del simplesso

Il metodo del simplesso è uno tra i più classici metodi di risoluzione di problemi di programmazione lineare, e consente il passaggio da una soluzione di base di un problema, sia esso di minimizzazione o massimizzazione, ad un'altra soluzione di base al fine di ridurre o aumentare progressivamente il valore della funzione obiettivo, fino a raggiungere, se esiste, il suo minimo o massimo.

La forma standard per risolvere un problema di programmazione lineare è la seguente:

$$\begin{aligned} \min & c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \\ & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \\ & x_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

Si assume $b_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, m$

Molto diffusa è anche la forma matriciale equivalente della funzione obiettivo:

$$\begin{aligned} \min & \bar{c}^T \bar{x} \\ & A\bar{x} = \bar{b} \\ & \bar{x} \geq \bar{0} \end{aligned}$$

dove:

- $\bar{x}$ è il vettore colonna n -dim
- $\bar{c}^T$ è il vettore riga n -dim
- A è la matrice $m * n$
- $\bar{b}$ è il vettore colonna m -dim

Per convertire un problema di programmazione lineare dalla sua forma generica a quella standard, è necessario mettere in conto eventuali modifiche della funzione obiettivo, dei vincoli e delle variabili.

Nel caso di un problema di massimo, per quanto riguarda la funzione obiettivo, questa può essere trasformata nel modo seguente:

$$\max \bar{c}^T \bar{x} = \min - \bar{c}^T \bar{x}$$

Per i vincoli invece, possono essere considerati due casi possibili:

1. L'i-esimo vincolo è nella forma

$$\bar{a}^i \bar{x} \leq b_i$$

dove $\bar{a}^i$ corrisponde all'i.ma riga di A. A questo punto si aggiunge una *variabile di slack* $y_i \geq 0$, ed il vincolo diventa:

$$\bar{a}^i \bar{x} + y_i = b_i$$

2. Nella seconda situazione il vincolo i-esimo è nella forma:

$$\bar{a}^i \bar{x} \geq b_i$$

A questo punto si sottrae una *variabile di surplus* $y_i \geq 0$, ed il vincolo diventa:

$$\bar{a}^i \bar{x} - y_i = b_i$$

Infine, per quanto riguarda le variabili, se il problema presenta delle variabili x_i libere, queste possono essere scritte come differenza di due variabili non negative, ovvero:

$$x_i = u_i - v_i \quad \text{con } u_i \geq 0, v_i \geq 0$$

e, successivamente, si elimina la variabile x_i per sostituzione.

Un'alternativa a questo metodo, che permette di eliminare una variabile libera, consiste nel ricavare l'espressione di tale variabile da uno dei vincoli del problema, ed eliminare tale vincolo dal problema stesso. A questo punto si sostituisce l'espressione laddove compare la variabile libera nel problema e si risolve il problema risultante, che si trova quindi in forma standard. Il valore ottimo della variabile libera può allora essere trovato sostituendo nella sua espressione i valori ottimi delle variabili del problema risolto.

A questo punto, una volta impostata la forma standard di un problema di programmazione lineare, è possibile definire quello che è noto come "Algoritmo del simplesso".

Per ipotesi, sia dato un problema di programmazione lineare nella sua forma standard:

$$\min \bar{c}^T \bar{x}$$

$$A\bar{x} = \bar{b}$$

$$\bar{x} \geq \bar{0}$$

una sua soluzione ammissibile di base ed il tableau in forma canonica, e si aggiunga una riga per indicare i costi ridotti r_j , $j = 1, \dots, n$ e da $-z_0$ (valore, cambiato di segno, della funzione obiettivo calcolato con la soluzione ammissibile di base).

	x_1	x_2	$\dots$	x_m	x_{m+1}	x_{m+2}	$\dots$	x_j	$\dots$	x_n	
x_1	1	0	$\dots$	0	$y_{1,m+1}$	$y_{1,m+2}$	$\dots$	y_{1j}	$\dots$	y_{1n}	y_{10}
$\vdots$	0	1		0	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
x_m	0	0		1	$y_{m,m+1}$	$y_{m,m+2}$	$\dots$	y_{mj}	$\dots$	y_{mn}	y_{m0}
	0	0	$\dots$	0	r_{m+1}	r_{m+2}	$\dots$	r_j	$\dots$	r_n	$-z_0$

La soluzione ammissibile di base varrà:

$$x_i = \begin{cases} y_{i0} \geq 0 & 1 \leq i \leq m \\ 0 & m+1 \leq i \leq n \end{cases}$$

Di seguito la giustificazione dell'aggiunta della riga relativa ai costi ridotti.

La funzione obiettivo

$$z = \bar{c}^T \bar{x} = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$$

può essere vista come un ulteriore vincolo del problema. Aggiungendo z tra le variabili del problema, si ottiene la funzione

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n - z = 0$$

che può essere considerata come un ulteriore vincolo del problema.

Una soluzione di base del sistema con un vincolo in più avrà $m+1$ componenti, ovvero le precedenti più la variabile z .

Eseguendo una serie di operazioni di pivot, il valore della funzione obiettivo sarà uguale a:

$$z = z_0$$

Per minimizzare z si può agire sul valore di z_0 aumentando le variabili per le quali $r_j < 0$. Sia x_q una variabile non “in base” per la quale $x_q < 0$. Per fare entrare in base la variabile x_q si deve individuare, se esiste, la variabile che deve uscire dalla base.

A questo punto, se nella colonna a_q della variabile candidata ad entrare in base, tutti gli elementi sono minori o uguali a zero, allora il politopo delle soluzioni ammissibili è illimitato, e quindi il valore ottimo della funzione obiettivo tende a $-\infty$ (ottimo non limitato).

Differentemente, se esiste almeno un elemento positivo, esce la variabile corrispondente alla riga con il minimo rapporto $\frac{y_{i0}}{y_{iq}}$ (con $y_{iq} > 0$), che rappresenta il valore che assumerà la nuova variabile in base.

Sia x_p la variabile attualmente in base tale per cui si è trovato il minimo rapporto $\frac{y_{p0}}{y_{pj}}$.

La nuova soluzione ammissibile di base sarà ottenuta facendo entrare in base x_q ed uscire x_p .

Il nuovo valore della funzione obiettivo sarà:

$$z^1_0 = z_0 + \left(\frac{y_{p0}}{y_{pq}}\right)r_q < z_0$$

Appendice C - Sostenibilità e nuove Normative Europee

“La cultura della nostra organizzazione globale si basa sulla ferma convinzione che profitto e sviluppo sostenibile non si escludano a vicenda.

Per noi la misura del successo va oltre i risultati economici e include le esigenze delle comunità locali e di tutti gli stakeholder interni ed esterni al Gruppo. Guidati da valori che coniugano aspetti di business e responsabilità ambientale, lavoriamo costantemente per garantire che le attività e i risultati che otteniamo possano generare valore a lungo termine.”

Sergio Marchionne, John Elkann – Lettera agli azionisti

Raggiungere i risultati economici attesi è il traguardo che ogni impresa mira a raggiungere, ma deve essere contestualizzato nel settore in cui essa opera, considerando vincoli e limiti, forze e opportunità. Ad oggi, il principale limite che impatta sul settore Automotive è quello delle norme anti-inquinamento. Gli obiettivi economici devono quindi essere conformi alle norme del contesto in cui si opera, e tutte le azioni volte a raggiungerli devono essere rispettose dell'ambiente e della società di cui fanno parte. Nello svolgimento del proprio operato l'impresa non solo deve impiegare le risorse in modo efficace (raggiungendo i propri obiettivi) ed efficiente (impiegando fattori nel modo più economico possibile), cercando di evitare la produzione di output indesiderati come l'inquinamento e i rifiuti, ma anche gestire quelli che sono gli input e gli output ambientali. Le nuove normative europee hanno un alto livello di sensibilità proprio sul tema dell'inquinamento e delle emissioni. Si presuppone, entro il 2020, di ridurre del 20% l'emissione di CO₂ e del 15% quella degli altri inquinanti.

È evidente che queste regolamentazioni impattino fortemente il settore automotive, ed è per questo che società come FCA devono attenersi a tali norme, sviluppando nuovi progetti di sostenibilità con l'intento di creare valore in modo responsabile attraverso l'integrazione di aspetti economici, ambientali e sociali nelle proprie decisioni aziendali. FCA ha creato, a questo scopo, una metodologia volta a monitorare i processi del Gruppo nel suo percorso di sviluppo sostenibile. In particolare il Gruppo sostiene gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (Sustainable Development Goals - SDG) fissati dalle Nazioni Unite nell'Agenda, che seguono come direttrici prioritarie la riduzione dell'impatto ambientale dei prodotti e dei processi produttivi, la valorizzazione delle persone e della loro salute e sicurezza, la

salvaguardia di tutti gli utenti della strada, il miglioramento della *customer experience*, l'impegno a promuovere e diffondere comportamenti responsabili lungo tutta la catena di fornitura e il supporto alle comunità locali. Valutazioni di importanti società di rating di sostenibilità hanno riconosciuto i risultati ottenuti dal Gruppo a livello internazionale, posizionando FCA tra le aziende leader.

Tre sono le aree principali sulle quali si focalizzano gli obiettivi di sostenibilità di FCA:

- Riduzione dell'impatto ambientale lungo tutto il ciclo di vita del veicolo, dalle materie prime al riciclo a fine vita, con lo scopo di ridurre le emissioni di CO₂ e delle altre sostanze inquinanti, così come il livello di rumore, aumentando al contempo l'efficienza energetica del veicolo.
- Promozione di veicoli sicuri e connessi.
- Aumento della competitività del prodotto, attraverso il miglioramento continuo delle prestazioni, del comfort e della qualità percepita e l'uso di tecnologie innovative nei processi produttivi, garantendo allo stesso tempo la sostenibilità economica dei risultati.

Il Bilancio di Sostenibilità 2017 del Gruppo illustra i risultati, in termini numerici, ottenuti nel corso dell'ultimo anno. Sono stati consegnati 4,7 milioni di veicoli in tutto il mondo, con una continua riduzione dell'impatto ambientale dei processi produttivi. Negli ultimi sette anni, le emissioni di CO₂ degli stabilimenti mass-market di carrozzeria e stampaggio sono state ridotte del 33%, è stato utilizzato il 37% di acqua in meno ed è stato generato il 58% in meno di rifiuti per ogni veicolo prodotto.

Il dipartimento di Ricerca e Sviluppo focalizza il proprio impegno sulla progettazione di veicoli sempre più sostenibili: motori più efficienti, migliore aerodinamica, alleggerimento del veicolo, nuove soluzioni per la sicurezza e la qualità del prodotto. L'intento finale di queste azioni sono, come già detto, la riduzione dei consumi e delle emissioni di CO₂, ed includono il lancio della tecnologia mild hybrid eTorque Assist sulla nuova Jeep Wrangler.

Sempre nell'ottica di uno sviluppo sostenibile, il Gruppo ha rafforzato la sua collaborazione con Waymo, società di auto a guida autonoma di Google: è stata integrata la sua tecnologia nel minivan ibrido Chrysler Pacifica ed è stato supportato il lancio del primo servizio al mondo di guida senza conducente. Le attività globali di FCA supportano la transizione verso

un'economia circolare e contribuiscono al raggiungimento dei Sustainable Development Goals (SDG) delle Nazioni Unite.

Secondo le stime del settore, si prevede che le vendite dei veicoli elettrici raggiungeranno circa 7,5 milioni di unità entro la fine del 2020, crescendo ad un CAGR del 19% per i periodi 2014-20. I mercati chiave per HEVs includono gli Stati Uniti, l'Europa occidentale e il Giappone, anche se il mercato cinese in rapida crescita è anche previsto di sperimentare una domanda relativamente forte di questi carburanti efficienti e di veicoli rispettosi dell'ambiente. L'aumento dei costi energetici e l'aumento delle normative sulle emissioni aumenteranno probabilmente la domanda veicoli ibrido-elettrici (HEVs), poiché i motori ibridi sono più efficienti in termini di consumo di carburante e meno inquinanti dei motori convenzionali a benzina e diesel. Disparità di costo tra HEV e veicoli leggeri convenzionali sono previsti che diminuiranno all'aumentare dei volumi di produzione. I mercati principali per HEVs saranno gli Stati Uniti, l'Europa occidentale e Giappone, anche se ci si aspetta anche il mercato cinese in rapida crescita sperimentare una domanda relativamente forte per questi veicoli efficienti dal punto di vista del consumo di carburante e rispettosi.

Tra i cambiamenti normativi più significativi che FCA dovrà affrontare nei prossimi anni ci sono le sempre più severe regolamentazioni sul risparmio di carburante e le emissioni di gas serra. Questi includono le disposizioni del *Corporate Average Fuel Economy* (CAFÉ - l'economia del combustibile medio aziendale), sotto l'*Energy Independence and Security Act* del 2007 (EISA). Inoltre, lo Stato della California, attraverso la California Air Resources Board (CARB), sta attuando il proprio programma per regolare la conformità delle emissioni dei veicoli che richiede un ulteriore risparmio di carburante. Alcuni stati aggiuntivi e province canadesi hanno anche adottato variazioni delle emissioni della California standard. Tali severi regolamenti adottati in tutto il Nord America potrebbero comportare costi aggiuntivi per lo sviluppo del prodotto, test e operazioni di produzione di FCA.

Appendice D - Toyota e la produzione snella

*“The longer an article is in the process of manufacture
and the more it is moved about, the greater the ultimate cost.”*

Henry Ford

Il sistema di produzione snella è nato dalle idee dei padri fondatori di Toyota nel 1930 in Giappone.

Questo sistema produttivo ha subito e continua a subire ancora oggi numerose trasformazioni, tanto in ambito automobilistico quanto in ogni altra industria nella quale vi sia un processo di produzione e assemblaggio. Si tratta di un vero e proprio modello per qualsiasi settore industriale, e i principi cardine di questa filosofia sono rimasti invariati.

Toyota ha sviluppato internamente strumenti semplici ma efficaci e allena costantemente i membri del proprio team per implementarli in tutti gli aspetti della produzione e della progettazione del proprio veicolo. Ad esempio, Toyota ha sviluppato i metodi Kaizen e del miglioramento continuo attraverso il quale elimina gli sprechi che aggiungono costi senza aggiungere valore, non importa quanto sia piccolo.

Per comprendere al meglio il concetto di Lean Production, è importante coglierne i principi sui quali si fonda nell’ambito del contesto storico nel quale si sono sviluppati.

L’evoluzione dell’industria automobilistica può essere schematizzata in tre momenti principali, ovvero l’invenzione dell’automobile nel 1880, la nascita del sistema di produzione di massa di Henry Ford nel 1910, e la nascita del sistema di produzione snella di Toyota nel 1933.

Con Henry Ford nacque la prima linea di assemblaggio automobilistico organizzata ad alto livello: tutti gli elementi del sistema produttivo, quali la forza lavoro, i macchinari e i materiali, vengono organizzati per la prima volta in modo tale da seguire un sistema di tipo continuativo, noto come “sistema del nastro trasportatore”.

Ricorrendo alle tecniche della produzione di massa, Ford iniziò ad occuparsi anche dell’assemblaggio di velivoli bombardieri, producendo, durante la Seconda Guerra Mondiale, velivoli per l’armata statunitense. Il suo tipo di produzione attirò l’attenzione di tanti, tra cui quella di un industriale giapponese.

La famiglia Toyoda, impegnata in quel periodo nella produzione di telai, decise ad emulare la potenza industriale americana, creò una divisione all'interno della propria compagnia, dedicata alla produzione automobilistica.

A partire da quel momento Toyoda capì subito l'importanza di avere una propria identità forte e significativa, basata sull'immagine e sul suo impatto: è per questo motivo che nel 1936 cambiò il suo nome in "Toyota", che letteralmente vuol dire "affusolato", e rievoca la caratteristica dell'automobile.

Sebbene l'obiettivo iniziale di Toyota fosse quello di riprendere il modello di produzione di massa sviluppato da Ford, quest'ambizione richiedeva ingenti capitali per l'approvvigionamento dei materiali, che la compagnia non possedeva. È per questo motivo che Toyota iniziò ad elaborare una nuova idea di sistema produttivo, basata su una drastica riduzione dei volumi, l'eliminazione totale delle giacenze in magazzino e l'adozione di un meccanismo di fornitura dei componenti nel momento in cui fossero richiesti. Si tratta dei metodi "Just-in-case" e, più tardi, "Just-in-time".

Queste nuove filosofie di produzione devono la loro nascita a Ohno e Shingo, che per primi gettarono le basi del sistema Toyota, con l'obiettivo principale di garantire la massima soddisfazione del cliente, minimizzando gli sprechi. La produzione snella non è una metodologia basata sulla riduzione dei costi, ma è un vero e proprio modo di pensare e di operare.

Il processo "lean" è caratterizzato da cinque elementi cardine, nei quali risiedono i principi cardine della filosofia:

1. Comprendere quale sia il valore che il consumatore attribuisce al prodotto;
2. Realizzare una mappatura del flusso di valore, eliminando quelle che solo le attività non a valore aggiunto;
3. Far sì che il flusso di valore sia continuo e scorrevole;
4. Seguire le procedure di produzione di un sistema "pull";
5. Eliminare tutti gli sprechi tramite un ciclo ripetitivo destinato al miglioramento continuo di tutte le operazioni

In termini più matematici, la logica Lean mira ad attaccare quelle che sono le variazioni presenti nei processi produttivi. I benefici che questa metodologia può apportare ad un

sistema di produzione sono quindi la riduzione dei tempi ciclo, minori costi di gestione, tempi di consegna più rapidi, migliore reattività e assistenza ai clienti, migliore qualità e maggiori margini di profitto.

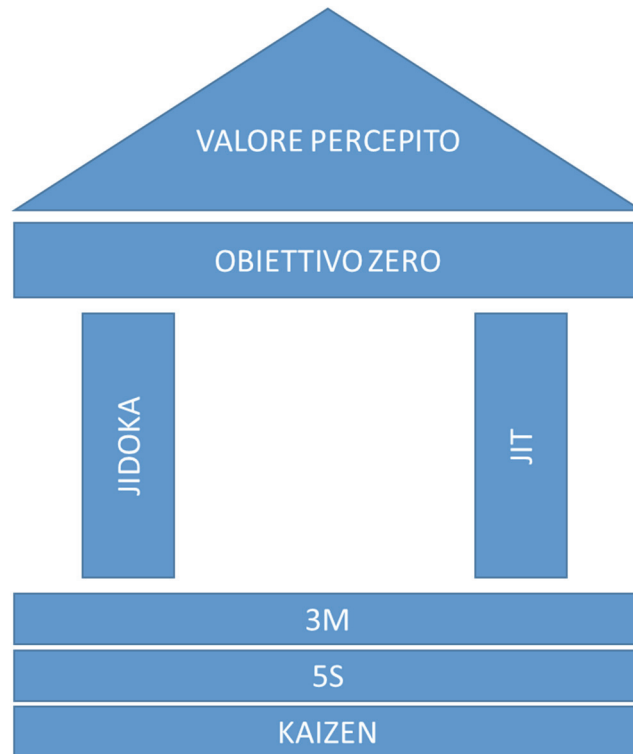


Figura 11 – Casa della Lean Production

Come si può notare dalla figura 11, il sistema di lean production trova sostegno nei due pilastri rappresentati dal sistema del Just In Time e dal concetto di Jidoka, mentre le sue basi si poggiano sul concetto di Kaizen. Il fine ultimo di questo sistema è il valore percepito dal consumatore, da raggiungere attraverso il perseguimento dell'*obiettivo zero*, ovvero l'eliminazione di tutti gli sprechi, ricondotti a sette categorie principali.