



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea triennale in Economia e Commercio

I SOFTWARE AVANZATI DI PIANIFICAZIONE
DELLA PRODUZIONE: IL CASO DEI SISTEMI APS

ADVANCED PRODUCTION PLANNING SOFTWARE:
THE CASE OF APS SYSTEMS

Relatore:

Prof. Aldo Bellagamba

Rapporto Finale di:

Giovanni Tassoni

Anno Accademico 2018/2019

*Ai miei genitori e alle mie sorelle,
fonte di ispirazione e costante punto di riferimento.*

INDICE

Introduzione	5
Capitolo 1 Il sistema informativo per la gestione della produzione	7
1.1 I sistemi di supply chain planning e di supply chain execution	7
1.2 I sistemi SCE (Supply Chain Execution) e MES (Manufacturing Execution System)	8
1.3 I sistemi Warehouse Management System (WMS).....	11
1.4 Il configuratore di prodotto.....	12
Capitolo 2 I sistemi APS.....	15
2.1 La supply chain planning matrix e i moduli di planning del sistema APS.....	15
2.2 Dal sistema MPR a quello APS	21
2.3 Integrazione tra sistemi APS e ERP.....	27
2.4 Modello logico del sistema APS.....	32

Capitolo 3 Case history EVCO S.p.A: dalle previsioni di vendita alla schedulazione della produzione.....	35
3.1 Il contesto di riferimento.....	35
3.2 Obiettivi principali.....	36
3.3 Sviluppo del progetto.....	37
3.4 Benefici ottenuti.....	39
Conclusioni	41
Bibliografia	43
Sitografia	44

INTRODUZIONE

Il contesto competitivo in cui le aziende si trovano ad operare è notevolmente mutato negli ultimi anni. Esse infatti non operano più in contesti isolati ma fanno parte di una catena molto più ampia costituita da una grande varietà di attori, i quali, interagendo tra loro, danno vita ad un processo produttivo integrato che parte dal fornitore di materie prime e termina con il cliente finale. Questo, unitamente ad una maggiore personalizzazione dei prodotti richiesti, ad un accorciamento del ciclo di vita del prodotto ed alla richiesta di tempi di consegna sempre più brevi, ha richiesto una gestione della supply chain molto più accurata, condivisa e integrata.

Nel tempo è stato dimostrato come l'approccio di gestione "a fabbisogno", per quanto complesso, non è esente da criticità e dal rischio di generare piani infattibili: l'acuirsi della competizione, soprattutto nel garantire tempi di risposta sempre più brevi, con gamme sempre più ampie di prodotti di notevole complessità, ha posto in evidenza alcuni limiti *strutturali* dei sistemi MRP. Molto spesso infatti, le ipotesi di fondo sulle quali si basano i sistemi MRP, si rivelano irrealistiche quando calate in contesti in cui è necessario rispondere tempestivamente alle richieste dei clienti, garantendo contemporaneamente l'efficienza dei reparti produttivi e mantenendo bassi livelli di stock sia a livello semilavorati, sia a livello materie prime e componenti.

A partire da questa considerazione è bene andare a sottolineare in particolare un approccio al problema della gestione del sistema di produzione che si è sviluppato negli anni. Questo approccio, oggetto della tesi, cerca di utilizzare tutte le possibilità di calcolo e di comunicazione offerte dall'ITC per ovviare ai difetti dei sistemi di gestione "a fabbisogno", complicando quindi le logiche di calcolo al fine di riuscire a modellizzare e ottimizzare una realtà (un sistema di produzione) sempre più complessa.

L'obiettivo della seguente tesi è dunque quello di offrire, in un primo momento, una visione d'insieme dei sistemi informativi di supporto al *supply chain management*. Nel secondo capitolo verrà dedicato ampio spazio ai sistemi *Advanced Planning and Scheduling (APS)*, ossia i sistemi informativi che supportano i processi di pianificazione di una *supply chain* intra-organizzativa.

Per concludere, nell'ultimo capitolo, si prenderà in esame il *case history* del progetto di pianificazione e schedulazione della produzione realizzato in EVCO SpA, azienda italiana di riferimento nel settore dell'elettronica, andando a presentare le caratteristiche e i risultati del progetto di pianificazione e schedulazione della produzione realizzato in azienda con l'obiettivo di migliorare la precisione delle date di consegna, gestire i materiali mancanti e aumentare l'efficienza dei processi eliminando i colli di bottiglia in produzione.

Capitolo 1

IL SISTEMA INFORMATIVO PER LA GESTIONE DELLA PRODUZIONE

1.1 I sistemi di supply chain planning e di supply chain execution

In termini generali, i sistemi informativi di supporto al *supply chain management*, si articolano in due grandi categorie:

- i sistemi di *supply chain planning*, i quali supportano i processi di pianificazione della *supply chain*.
- i sistemi di *supply chain execution*, che hanno invece lo scopo di gestire i processi esecutivi della *supply chain*.

Prendendo in considerazione i sistemi informativi di *supply chain planning*, ampio rilievo hanno i sistemi *Advanced Planning and Scheduling* (APS), ossia i sistemi informativi che supportano i processi di pianificazione di una *supply chain* intra-organizzativa (Stadtler, Kilger, 2007).

Quando si parla di *supply chain intra-organizzativa* si intende una *supply chain* composta da unità produttive o di stoccaggio che appartengono alla stessa azienda, mentre la *supply chain inter-organizzativa* è costituita da unità produttive o di stoccaggio di aziende diverse (Taylor, 2004).

La *supply chain intra-organizzativa* ha, di fatto, dei confini che coincidono con quelli del sistema produttivo e, sebbene sia limitata ad un'unica azienda, presenta numerosi elementi di complessità.

Alcuni di essi derivano dalla struttura topologica della *supply chain* (n° clienti, n° fornitori, n° unità produttive ecc.), altri sono legati alle fonti di incertezza (tempi di fornitura, domanda, capacità produttiva disponibile).

Dunque, è di facile intuizione che i processi di pianificazione della *supply chain* richiedano strumenti informatici di supporto in grado di elaborare algoritmi aventi elevata complessità computazionale, ma si rimanda al prossimo capitolo per la trattazione di questi sistemi di *planning*.

Prendendo invece ora in considerazione i sistemi di *supply chain execution* (SCE), è bene andare a trattare l'integrazione tra tali sistemi e i sistemi di pianificazione e approfondire alcuni moduli, in particolare il modulo di gestione dei processi esecutivi di produzione (*Manufacturing Execution System*, MES), il modulo di gestione dei magazzini (*Warehouse Management System*, WMS) e il modulo di *configurazione dei prodotti*.

1.2 I sistemi SCE (Supply Chain Execution) e MES (Manufacturing Execution System)

Come già accennato, rimandando la trattazione dei sistemi informativi di *supply chain planning* al prossimo capitolo, per completare il quadro dei sistemi

informativi di supporto alla gestione della *supply chain*, è necessario introdurre il concetto di sistema di *Supply Chain Execution* (SCE), *Supply chain Event Management* (SCEM) e *Manufacturing Execution System* (MES).

I sistemi SCE si focalizzano sul monitoraggio e controllo dei processi operativi. Essi vanno a colmare il gap che vi è tra le decisioni prese in ambito APS e il mondo esecutivo, ossia quello in cui le decisioni vengono implementate.

Questi sistemi sono dunque fondamentali in quanto, da un lato, consentono la rilevazione di “anomalie” nel funzionamento della *supply chain* e, dall’altro, forniscono dati sempre più aggiornati ai sistemi APS.

Tra le varie funzionalità del SCE è bene ricordare: il *tracking* dei materiali, il rilevamento dello stato delle risorse (macchine, operai, mezzi di trasporto), l’avanzamento dei cicli di lavorazione, l’analisi di magazzino, la saturazione delle risorse.

I sistemi SCEM si posizionano all’interfaccia tra i sistemi APS e i sistemi SCE. Essi leggono i dati operativi dal sistema SCE, li confrontano con i piani APS ed emettono segnali di *alert* in presenza di uno scostamento fra dato pianificato e dato effettivo.

I segnali di *alert* vengono poi immediatamente inviati al sistema APS, il quale interviene andando a calcolare un nuovo piano che tiene conto delle mutate condizioni operative.

I MES, infine, costituiscono lo strato *software* di interconnessione tra i sistemi di pianificazione della produzione e i sistemi di controllo di fabbrica (es. PLC, SCADA). Essi non svolgono soltanto una funzione di traduzione delle informazioni utile per la comunicazione con i livelli informatici superiori, ma hanno soprattutto il compito di controllare e migliorare i diversi aspetti che influenzano i processi produttivi, in modo tale da raggiungere una maggiore flessibilità, minori costi di produzione e dunque maggiori profitti.

Il controllo sul processo viene esercitato efficacemente, rispondendo tempestivamente ai cambiamenti che avvengono al livello di fabbrica, grazie alla disponibilità di dati raccolti in tempo reale dai sistemi informatici di controllo di livello inferiore.

È necessario porre in evidenza che il disporre tempestivamente di dati e informazioni di qualità, è un fattore necessario ma non sufficiente affinché i sistemi decisionali e di controllo possano intervenire al meglio nella regolazione dei processi produttivi: i dati devono infatti essere impiegati combinandoli opportunamente con le conoscenze e le capacità acquisite.

I sistemi MES trovano applicazione in molti settori industriali (Kletti, 2007).

In genere vi sono delle soluzioni per ogni mercato, in quanto, in base al settore di applicazione, sono richieste delle funzionalità specifiche le quali dipendono dai differenti settori produttivi, dai requisiti commerciali e dalle eventuali regolamentazioni presenti. I settori in cui trovano principalmente applicazione i

sistemi MES sono quello farmaceutico, *automotive*, chimico, della carta, dei metalli industriali, dei beni di largo consumo.

1.3 I sistemi Warehouse Management System (WMS)

La mancanza di un attento controllo sull'inventario è spesso causa della maggior parte delle inefficienze all'interno di un magazzino. Proprio per cercare di eliminare tali inefficienze è necessaria l'adozione di un sistema di controllo tramite il quale andare a monitorare e valutare ogni attività compiuta nel magazzino stesso.

Il *Warehouse Management System (WMS)* è uno strumento che supporta le *operation* nell'ambito distributivo permettendo una sincronizzazione di queste con i processi produttivi, di acquisto e di servizio al cliente. Lo scopo con il quale viene progettato un WMS è quello di andare a fornire una visibilità in tempo reale delle scorte, di coordinare le attività lavorative e garantire un buon utilizzo dello spazio all'interno del magazzino in modo che le operazioni di *ricezione, picking e spedizione* vengano svolte con accuratezza ed efficienza superiore rispetto ad un qualsiasi sistema manuale.

Appaiono dunque molto chiari quelli i benefici derivanti dall'adozione di questo software; tuttavia la sfida più ardua rimane quella di andare ad identificare e quantificare realmente quali sono i benefici, nonché definire i requisiti di sistema necessari affinché questi siano raggiunti.

1.4 Il configuratore di prodotto

Il configuratore di prodotto è un applicativo di supporto alla gestione degli ordini che svolge fondamentalmente tre funzioni:

1) Guidare la fase di *compilazione dell'ordine* del cliente in modo da generare configurazioni di prodotti fattibili. In questo modo si vanno ad eliminare i frequenti errori che si commettono con la compilazione manuale della documentazione relativa agli ordini di vendita e si riducono drasticamente i tempi di creazione della documentazione tecnica con indubbio beneficio in termini di servizio al cliente.

2) Generare in automatico la *distinta base* connessa alla commessa acquisita, in modo tale da poter effettuare simulazioni di preventivazione di tempi e costi, basandosi su dati standard. Questa funzionalità si basa su regole di combinazione delle varianti, su formule che consentono di determinare i coefficienti di utilizzo dei componenti e su formule di determinazione dei tempi di ciclo, che vengono impostate preliminarmente, prima dell'utilizzo dello strumento stesso;

3) Generare in automatico *cicli produttivi* ed ordini di lavorazione necessari alla realizzazione dell'ordine cliente, agevolando, anche in questo modo, l'abbattimento dei tempi connessi alla redazione della documentazione.

Il configuratore di prodotto è adatto a contesti in cui è possibile definire dati standard (regole, formule) di combinazione delle varianti.

Il contesto di applicazione più adeguato è *l'Assemble to Order (ATO)* dove l'azienda produce il prodotto su ordine del cliente, il quale lo può scegliere

all'interno di una gamma ampia di alternative, tutte ottenute combinando diversamente un ridotto numero di componenti gestiti a scorta nel punto di disaccoppiamento. In questo caso è possibile definire le regole di composizione della distinta base, in funzione delle specifiche di prodotto che il cliente formula.

In sintesi, nell'ATO:

- è possibile definire regole standard di configurazione;
- è difficile (e potenzialmente fonte di errori) l'attività di configurazione manuale o visiva del prodotto desiderato dal cliente;
- è poco efficiente gestire tutte le possibili distinte base di prodotto a sistema.

Nei contesti *Make To Stock (MTS)* invece il configuratore non trova applicazione, dal momento che il prodotto finito viene prodotto su previsione e la varietà di prodotto finito è di solito contenuta rispetto ai contesti ATO.

Nei contesti *Make To Order (MTO)*, infine, la varietà di prodotto è molto ampia e l'attività di configurazione manuale o visiva del prodotto è molto difficile in quanto anche i livelli più bassi di distinta sono realizzati su commessa del cliente; proprio per questo motivo è difficile definire regole standard di configurazione con le quali far operare la configurazione automatica da parte di un software e dunque il configuratore di prodotto trova difficile applicazione.

La progettazione di un configuratore di prodotto richiede un notevole sforzo di modellazione da parte dell'azienda. Occorre infatti definire il set di dati che costituiranno il *database* del configuratore, ossia i dati relativi agli oggetti del

configuratore, alla loro distinta base e alle regole che li governano, ma non è questa la sede per la loro trattazione.

Capitolo 2

I SISTEMI APS

Per APS si intende un applicativo software che supporta il processo decisionale per la creazione di piani di produzione e acquisti. Attraverso algoritmi matematici evoluti permette di simulare l'intera fabbrica anticipando possibili problemi e reagendo in tempo per risolverli prima che si verifichino. Questo strumento consente al pianificatore di datare in tempo reale e in modo affidabile le commesse per mantenere un elevato livello di *on-time delivery*; gestire i carichi delle risorse per mantenere un elevato livello di saturazione massimizzando l'efficienza; allineare la produzione con gli acquisti per evitare mancanti e bilanciare i magazzini con le effettive necessità produttive; individuare in modo preventivo i materiali critici e i colli di bottiglia e ridurre i *lead time* di produzione.

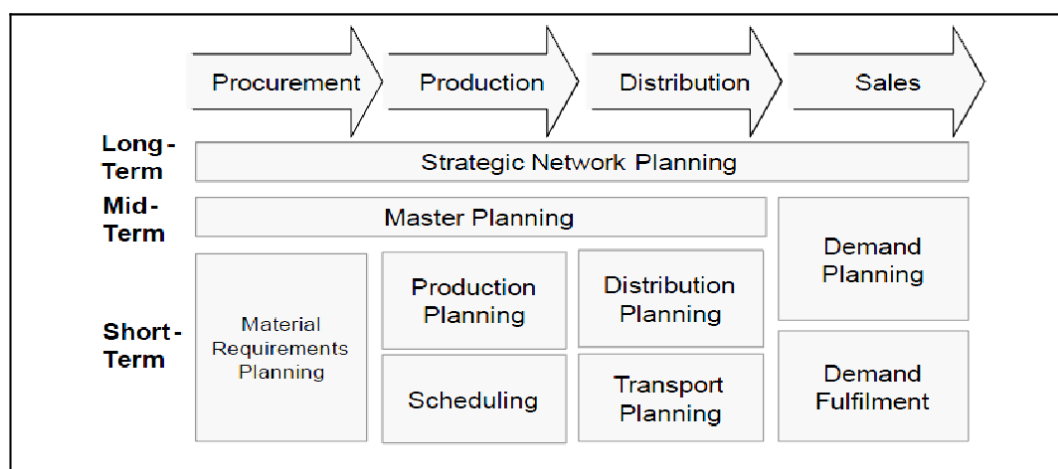
I piani generati da un APS sono di una qualità elevatissima e richiedono anche molta meno attività manuale per il loro mantenimento da parte dell'operatore.

2.1 La supply chain planning matrix e i moduli di planning del sistema APS

La *supply chain planning matrix* illustra le attività di pianificazione della *supply chain* (Stadtler, Kilger, 2007) che sono supportate dal sistema APS. Queste attività vengono classificate in base all'orizzonte temporale della decisione e in base al processo di *supply chain* supportato.

Nella figura 2.1, all'incrocio tra un processo di *supply chain* (colonna) e un orizzonte temporale (riga), si trova una specifica attività di pianificazione, cui corrisponde un modulo specifico di un sistema APS.

Figura 2.1 SUPPLY CHAIN PLANNING MATRIX



Fonte: Fleischmann & Meyr, Planning Hierarchy, Modeling and Advanced Planning Systems, 2003

Come si osserva nella figura, i sistemi APS supportano tutti i processi di una *supply chain intra-organizzativa*, ossia il processo di acquisto, produzione, distribuzione e vendita.

Per quanto riguarda l'asse di classificazione relativo all'orizzonte temporale, è utile osservare che la validità di un piano di *supply chain*, è ristretta ad un orizzonte temporale predefinito (Anthony, 1965):

- *Pianificazione di lungo termine*: le decisioni di questo livello sono chiamate strategiche perché determinano i prerequisiti per lo sviluppo di una *supply chain* nel futuro; esse infatti supportano la progettazione della *supply chain* e hanno un impatto sul lungo termine (orizzonte pluriennale);

- *Pianificazione di medio termine*: le attività di pianificazione propriamente dette si muovono nel dominio definito dalla pianificazione di lungo termine, ossia operano data la rete di fornitura, produttiva e distributiva; queste attività definiscono le quantità aggregate che dovranno fluire lungo la *supply chain* in un orizzonte compreso tra i 6 e i 24 mesi, lavorando su *time bucket* aggregati (settimana, mese);

- *Pianificazione (o programmazione) di breve termine*: è il livello di pianificazione di maggior dettaglio; questo livello di pianificazione definisce le disposizioni (di acquisto, produzione, distribuzione) che vengono inviate ai processi operativi; l'orizzonte temporale è compreso tra il giorno e il mese e la rappresentazione del tempo è continua (dettaglio di modellizzazione massimo).

È necessario a questo punto andare a prendere in considerazione tutti i vari moduli APS.

Il modulo APS votato alla progettazione della *supply chain* è lo *strategic network planning*. Come si osserva nella *figura 2.1*, tale modulo supporta la definizione di tutta la *supply chain*, a monte e a valle, andando a definire la rete di fornitura, la

localizzazione delle unità produttive e il dimensionamento della rete distributiva. Tale modulo si occupa di risolvere problemi di *location-allocation*, ossia supporta la decisione di “dove” collocare le unità produttive o di stoccaggio della *supply chain* e di stabilire la loro “destinazione” in termini, ad esempio, di quali codici produrre in un certo *plant* o quali codici mantenere a scorta in un certo magazzino.

A livello di pianificazione di medio termine, troviamo il modulo *master planning* che, come lo *strategic network planning*, abbraccia i tre processi di acquisto, produzione e distribuzione. La ragione di ciò deve essere ricercata nell’obiettivo stesso del modulo, il quale si occupa di definire i *target* di acquisto, produzione, distribuzione per il medio termine, quanto a volumi di acquisto, volumi produttivi, volumi distributivi. Questi target non possono che essere definiti da un modulo unico, il *master planning*, che nel suo modello consideri contestualmente (ossia in modo “*concurrent*”) i vincoli dei tre processi di *supply chain*. Se ad esempio il *master planning* si limitasse a definire il piano di produzione ignorando completamente il piano di acquisto, potrebbe accadere che, una volta rilasciato, tale piano risulti infattibile perché il fornitore, che avrebbe dovuto alimentare i reparti produttivi, è sovra-saturo. È indubbia dunque l’utilità di un modulo che “*orchestri*” i flussi di tutti e tre i processi.

È da sottolineare il fatto che il modulo di *master planning* potrebbe risolvere i tre problemi di pianificazione (acquisto, produzione e distribuzione) in modo sequenziale, anziché “*concurrent*”: in base ad una logica sequenziale, sarebbe

definito prima il piano di distribuzione, che diventerebbe vincolo per la produzione, il cui piano diventerebbe a sua volta vincolo per gli acquisti. Questo approccio tuttavia, nonostante potrebbe condurre a piani fattibili e nonostante dia luogo a problemi di complessità inferiore rispetto all'altro approccio, può rilevarsi sub-ottimale in quanto riduce lo spazio delle soluzioni ammissibili esplorate dall'algoritmo di pianificazione. Come si vedrà nel prossimo paragrafo infatti, nei sistemi APS la potenza di calcolo consente l'utilizzo dell'approccio "concurrent", che è indubbiamente da preferirsi all'approccio sequenziale.

Una volta orchestrati i flussi di materiali nel medio termine, ciascun processo elabora piani di maggior dettaglio attraverso i moduli di *materials planning*, *production planning* e *distribution planning*. Questi moduli risolvono il problema di pianificazione utilizzando modelli aventi un dettaglio maggiore a livello di aggregazione temporale, di articoli e di risorse. Se ad esempio il modello del modulo di *master planning* considera uno stabilimento produttivo come un'unica risorsa avente una certa capacità produttiva disponibile nel *time bucket*, il *production planning* considera invece un modello più fine, in cui tutte le differenti risorse produttive "collo di bottiglia" dello stabilimento sono prese in considerazione. Chiaramente, ciascuno dei tre moduli (*materials planning*, *production planning* e *distribution planning*) dovrà formulare un piano di dettaglio che nel complesso sia coerente con quello aggregato e formulato dal *master planning*. Se ciò accade, allora la sincronizzazione dei flussi all'interno della *supply*

chain è assicurata. Se invece ciò non fosse possibile (il piano di dettaglio risulta non fattibile), allora il *master planning* verrà chiamato a modificare il piano complessivo (approccio *closed loop*) per aumentare i gradi di libertà del processo di pianificazione di dettaglio.

Il massimo livello di dettaglio del processo di pianificazione degli acquisti viene raggiunto con il *materials planning*, il quale formula le proposte di acquisto che verranno valutate dal responsabile degli acquisti. Essendo i fornitori una risorsa esterna, non è necessario un dettaglio aggiuntivo. Diversamente accade per i processi di produzione e di distribuzione: in entrambi i casi, le risorse (macchine mezzi di trasporto) richiedono un livello di dettaglio aggiuntivo rispetto al *production planning* e al *distribution planning*. Questo livello di dettaglio è necessario per decidere l'allocazione del singolo compito (*job* di lavorazione, unità di carico) alla risorsa, ed è gestito rispettivamente dal modulo di *scheduling* per il processo produttivo e dal modulo di *transport planning* per il processo distributivo.

La pianificazione infine delle vendite è svolta da due moduli APS: il *demand planning* e il *demand fulfillment*. Il primo modulo si occupa di elaborare le previsioni di domanda che alimentano la pianificazione *push* della *supply chain*. Il secondo modulo si occupa invece di preventivare la data di consegna a fronte di una richiesta del cliente; per effettuare la stima, il modulo considera le quantità disponibili in magazzino, i piani di *supply chain* già decisi e, se tutto ciò non fosse

sufficiente, valuta la fattibilità di lanciare ordini di produzione *ad hoc* tirati (*pull*) dalla richiesta del cliente.

2.2 Dal sistema MRP a quello APS

L'innovazione più importante nel mondo della pianificazione di sistemi manifatturieri, dall'introduzione dei sistemi MPR (anni '70) ad oggi, è rappresentata probabilmente dai sistemi APS. Essi infatti sposano le potenzialità offerte dai moderni sistemi di elaborazione, con le più sofisticate tecniche euristiche e/o di ottimizzazione e/o di intelligenza artificiale sviluppate dai ricercatori nelle discipline di ricerca operativa e gestione della produzione industriale.

Storicamente la prima applicazione di sistema informativo nell'area tecnico produttiva è stato il sistema MRP (*material requirement planning*), ossia il sistema che consente, una volta noto il piano di vendita in un orizzonte temporale, di andare a definire i fabbisogni tempificati di prodotti finiti, sotto-assiemi, componenti e materie prime. Tale applicazione rappresenta tuttora, soprattutto nei sistemi informativi integrati (o ERP, *Enterprise Resources Planning*), la *spina dorsale* del sistema informativo di qualsiasi azienda manifatturiera, in quanto, molte applicazioni, (ad esempio la contabilità industriale) condividono i dati tecnici specifici di MRP (anagrafiche, distinte) o produttivi in generale (cicli, dichiarazioni di avanzamento ecc).

L'acuirsi della competizione, soprattutto nel garantire tempi di risposta sempre più brevi con gamme sempre più ampie di prodotti di notevole complessità, ha posto in evidenza alcuni limiti *strutturali* dei sistemi MRP. Molto spesso infatti le ipotesi di fondo sulle quali si basano i sistemi MRP si rilevano irrealistiche quando calate in contesti in cui è necessario rispondere tempestivamente alle richieste dei clienti, garantendo contemporaneamente l'efficienza dei reparti produttivi e mantenendo bassi livelli di *stock* sia a livello semilavorati, sia a livello materie prime e componenti.

Inoltre la procedura MRP è sempre stata una procedura *batch* "pesante" dal punto di vista dell'impegno del sistema informativo, dato che richiede di elaborare contestualmente un elevato volume di dati (ordini, previsioni, anagrafiche, cicli, distinte, consuntivazioni di produzione, saldi dei magazzini, ordini ai fornitori ecc.), fatto che ha sempre ostacolato un utilizzo "interattivo" della procedura o il suo utilizzo in modalità simulativa, testando cioè le reazioni del sistema al mutare dello scenario di riferimento (ad esempio introduzione di nuovi ordini o variazioni nei *lead time*).

Infine, prendendo in considerazione il principale difetto dell'MRP, bisogna sottolineare il fatto che non risolve automaticamente le situazioni di infattibilità (mancanza di capacità produttiva o mancanza di materiali), dato che non considera contestualmente i vincoli di capacità e materiali, ma si limita a segnalare le criticità, assumendo che il pianificatore possa apportare le opportune azioni correttive.

La crescita del volume di dati da gestire, derivante da una crescita di gamma e complessità dei prodotti, ed i limitati tempi di reazione imposti molto spesso dal mercato, rendono quasi impossibile l'approccio teorico insito nella procedura MRP e hanno quindi spinto le aziende a ricercare soluzioni alternative che permettessero di superare, appunto, le limitazioni dell'approccio MRP.

Una valida alternativa è rappresentata dall'approccio APS al problema della pianificazione e programmazione della produzione, il quale mette in discussione due principi di fondo della tradizionale architettura MRP:

- *modalità di raggiungimento della soluzione*: a differenza dei sistemi MRP e di tutti gli algoritmi di schedulazione della produzione, i quali sono basati su tecniche euristiche e ottimizzanti e che prevedono un approccio in cui è il sistema di schedulazione a prendere decisioni, nel senso che risolve compiutamente i problemi di dimensionamento (cosa e quanto produrre) e allocazione degli ordini di produzione nel tempo (quando produrre) e nello spazio (dove produrre, con quali risorse produttive), lasciando al pianificatore solo il compito di validare la soluzione elaborata dal sistema, gli APS assumono che il sistema informativo sia solo un supporto al decisore e sono pertanto classificabili come sistemi DSS (*Decision Support System*, Bracchi et al., 2010). Dunque, è possibile affermare che il *focus* dei sistemi APS non è sulla ricerca esasperata di complesse modellizzazioni e tecniche di soluzione dei problemi, quanto sulla ricerca di soluzioni che favoriscano

l'interattività, l'accesso a un grande volume di informazioni, la valorizzazione delle soluzioni impostate dal decisore e la velocità di simulazione;

- *approccio al problema*: i sistemi MRP e i tradizionali sistemi di schedulazione sono sistemi basati su un approccio gerarchico *top-down* e centralizzato. Viene quindi assunto che esista un unico ente a cui competono tutte le decisioni di programmazione (l'elaborazione MRP è unica per tutti gli item gestiti da un'azienda), e il processo di elaborazione della soluzione parte dai prodotti finiti e si trasmette fino ai livelli più profondi delle distinte base (materie prime e componenti di acquisto), propagando quindi “verso il basso” i vincoli derivanti dalle decisioni di dimensionamento e allocazione degli ordini presi per un dato livello della distinta base. Nei sistemi APS più sofisticati il grado di accentrimento o decentralizzazione delle decisioni è configurabile, è cioè modellizzabile (mediante la parametrizzazione del sistema) sia una situazione di controllo rigidamente centralizzato, sia una situazione in cui ogni reparto (o al limite ogni macchina) ha autonomia decisionale, e il sistema APS in questo caso funge, oltre che da supporto alle singole programmazioni, da garante della congruenza complessiva delle decisioni prese; in un sistema APS, in funzione delle specifiche criticità, è inoltre parametrizzabile anche la direzione di elaborazione: è cioè possibile ottenere una soluzione, oltre che con il tradizionale approccio *top-down*, anche “partendo dal basso” (cioè decidere cosa è meglio produrre in funzione delle disponibilità di materie prime, componenti e semilavorati) o “gestendo

contestualmente” i vincoli legati alla capacità produttiva e alla disponibilità dei materiali (mediante sofisticati algoritmi risolutivi).

I sistemi APS, permettendo di ottenere soluzioni effettivamente validate su tutti i vincoli significativi (come minimo: capacità delle risorse e disponibilità dei materiali) e di approcciare il problema con un’ottica di analisi *what-if* piuttosto che con un’ottica di ottimizzazione “chiusa”, rappresentano dunque un’evoluzione significativa del “concetto” di pianificazione e programmazione.

A questo punto, comprese le potenzialità offerte dai sistemi APS, è opportuno chiedersi quale caratteristica rende tali sistemi informativi così performanti. La risposta a questo interrogativo è che l’APS è *RAM resident*, ossia le sue funzioni di elaborazione lavorano caricando tutti i dati in RAM, senza necessità di accedere al disco fisso durante l’elaborazione. Questo rende ogni operazione di lettura e scrittura dei dati migliaia di volte più veloce rispetto ai sistemi informativi tradizionali.

Dal punto di vista gestionale, l’eccellenza tecnologica dei sistemi APS ha tre tipi di ripercussioni. Tuttavia, prima di esplicitare quali siano queste tre ripercussioni è bene andare a considerare il fatto che i sistemi APS risolvono problemi di ottimizzazione complessi utilizzando soprattutto algoritmi di tipo euristico che operano con logica *branch and bound*. Come è noto, la bontà della soluzione trovata da un algoritmo di questo tipo (ossia la sua distanza dalla soluzione ottima) non peggiora all’aumentare del tempo di calcolo, mentre all’aumentare della

complessità computazionale del problema da risolvere il tempo di calcolo aumenta. Tutto ciò premesso, le ricadute gestionali della tecnologia *RAM resident* sono le seguenti:

- *faster solution*: a parità di complessità dell'algoritmo di calcolo e di bontà della soluzione trovata dall'algoritmo, il risultato è disponibile in meno tempo rispetto a un sistema tradizionale. Altrimenti detto, il pianificatore della *supply chain* aspetterà meno tempo per ottenere i risultati della pianificazione. Avere la soluzione in tempi più rapidi abilita, inoltre, ad un utilizzo simulativo del sistema APS: il decisore non soddisfatto della bontà della soluzione ottenuta, modifica i parametri del modello (ad esempio simula modalità di trasporto alternative) e lancia una nuova pianificazione (ossia lancia un nuovo *run* dell'algoritmo di calcolo), a parità di tempo di elaborazione complessivo;

- *better model*: la maggiore velocità di calcolo abilita l'utilizzo di algoritmi aventi maggiore complessità computazionale. La complessità computazionale di un algoritmo è correlata alla dimensione del problema (numero di variabili, di parametri, di vincoli). Peraltro, tanto più un modello è complesso, tanto più riesce ad essere "preciso" perché aderente al sistema reale modellato: esso modella cioè tutte le variabili e i vincoli rilevanti del sistema reale. Infine, avere a disposizione un modello più preciso solleva il pianificatore dalla necessità di post-processare il piano proposto dal sistema APS. Il post-processamento si rende infatti necessario

quando il piano proposto dal sistema APS risulti infattibile nella realtà perché il modello in base al quale è stato formulato trascura vincoli rilevanti;

- *better solution*: a parità di tempo di elaborazione complessivo, più veloce è l'algoritmo di calcolo, migliore sarà la bontà della soluzione trovata, dal momento che l'algoritmo avrà più tempo a disposizione per indagare la regione ammissibile del problema. Questo ha naturalmente ricadute positive sugli obiettivi di efficienza (costi) ed efficacia (livello di servizio) perseguiti dal modello di ottimizzazione.

Le tre ripercussioni sopra descritte si devono naturalmente intendere in *trade-off* tra loro. In fase di implementazione di un sistema APS, si dovrà decidere “come” utilizzare l'incremento di capacità computazionale. Normalmente la prima scelta ricade sull'aumento dell'aderenza tra modello logico e realtà modellata (*better model*), dal momento che solitamente le aziende decidono di intraprendere un progetto di implementazione di un sistema APS per soddisfare fabbisogni informativi non ricoperti.

2.3 Integrazione tra sistemi APS e ERP

Diversi sono i fabbisogni informativi che sono soddisfatti dai sistemi ERP e i sistemi APS.

ERP è un sistema informativo aziendale, concepito come un insieme di moduli e sotto-moduli che consentono di adattare l'implementazione alle specifiche dell'azienda (Bracchi *et al.*, 2010). Esso supporta in *toto* i fabbisogni informativi

dei processi operativi di un'azienda manifatturiera o di servizi. Le sue caratteristiche sono:

- *database condiviso* da tutti i moduli informativi: ciò rende possibile la sincronizzazione tra processi indipendenti, aumenta l'efficienza nella gestione dei dati, garantisce la consistenza degli stessi;

- *integrazione nativa* tra i moduli funzionali: i moduli del sistema ERP sono integrati in modo efficiente ed efficace;

- *gestione del flusso di lavoro (workflow)*: l'implementazione di un sistema ERP presuppone l'esecuzione di un'attività di analisi e riprogettazione dei processi aziendali volta a eliminare eventuali loro criticità; i processi, una volta ottimizzati, sono pronti per essere "automatizzati" dal sistema ERP; è opportuno qui sottolineare che la riprogettazione dei processi non è normalmente fatta "da zero", ma mira piuttosto ad allineare i processi aziendali con i modelli di processo preimpostati all'interno del sistema ERP. Questo, se da un lato è garanzia di seguire modelli di eccellenza (*best practice*), dall'altro pone molti vincoli al ridisegno del processo;

- *unico ambiente applicativo dal punto di vista dell'utilizzatore*: l'interfaccia grafica dei moduli funzionali del sistema ERP è la medesima. Dunque, l'utente aziendale è in grado di passare da un modulo all'altro senza problemi.

Il sistema ERP è dunque, date le sue caratteristiche, la risposta più efficace all'esigenza delle aziende di supportare i processi operativi garantendo:

- una gestione integrata delle informazioni;
- un controllo centralizzato (almeno in ambito economico-finanziario);
- un processo di globalizzazione logistico-produttiva (gestione di unità produttive distribuite, anche all'estero, con scambi di prodotti fra gli stabilimenti);
- un opportuno livello di decentramento delle decisioni (ad esempio, programmazione della produzione dei reparti).

Tra i processi operativi supportati dai moduli del sistema ERP, ci sono naturalmente quelli di *supply chain execution*: gestione degli acquisti, della produzione, dei trasporti. Tali moduli sono indispensabili in una realtà manifatturiera e sono peraltro complementari alla copertura dei sistemi APS.

I sistemi ERP offrono anche una *limitata copertura* dei fabbisogni di pianificazione in area *supply chain*: essi presentano ad esempio i moduli di *materials planning*, di *production planning*, di *distribution planning*. Tali moduli, però, lavorano con modelli logici semplificati, che non tengono ad esempio conto di situazioni multi-stabilimento, della possibilità di utilizzare risorse alternative o componenti alternativi (di fatto implementano il tradizionale ciclo di pianificazione). Tali moduli, dunque, si rivelano non adeguati a soddisfare i fabbisogni informativi di pianificazione di *supply chain* complesse.

È necessario quindi, per un'azienda che debba gestire una *supply chain* complessa, di disporre di un sistema ERP per la gestione dei processi operativi aziendali, in congiunzione con un APS per la pianificazione della *supply chain*. Il

sistema APS, per poter operare, avrà bisogno di accedere alle informazioni contenute nel database del sistema ERP (ed esempio distinta base, cicli di lavorazione, risorse) e di restituire al sistema ERP i piani di supply chain una volta definiti. Si rende quindi necessario un adeguato interfacciamento tra i due sistemi.

In termini generali vi sono due approcci di integrazione: interfaccia “*ai morsetti*” ed interfaccia “*add on*”, che corrispondono a scelte informatico-gestionali diametralmente opposte,

Nel caso di interfaccia “*ai morsetti*”, l’APS è un’unica *suite* che comunica in lettura e scrittura con l’ERP, sostituendolo nelle fasi di pianificazione e controllo; nel caso invece dell’interfaccia “*add on*”, gli applicativi APS sono in numero maggiore di uno e ciascuno di essi è direttamente interfacciato con il sistema ERP, sostituendo o integrando funzionalità ERP, così da aggiungere valore.

Tuttavia, nella pratica, la modalità di integrazione effettivamente adottata dall’azienda è la risultante di più fenomeni, solo in parte riconducibili all’area informatico-gestionale.

Esistono, in linea generale, quattro possibili architetture di integrazione tra sistemi APS e sistemi ERP (Knolmayer *et al* 2009):

- *architettura 1:1*. È possibile riscontrare questo tipo di architettura in due situazioni: nel caso “semplice” di azienda *mono-plant*, oppure nel caso di azienda *multi-plant*, in cui i diversi *plant* non abbiano specificità tali da richiedere applicativi APS *ad hoc* e dunque un unico sistema APS riesce a soddisfare *in toto* i

fabbisogni informativi di pianificazione. Nel primo caso, il sistema APS sarà soprattutto focalizzato sul processo di pianificazione della produzione; nel secondo caso, il sistema sarà votato a supportare tutti i processi *source, make e deliver*, in funzione della complessità della *supply chain*.

- *architettura N:1*. In questa architettura, che è la più frequente, sono presenti più APS e un unico ERP. Questa configurazione si ha nel caso di *supply chain multi-plant* ove siano presenti specifici requisiti di pianificazione per ogni *site*. I diversi *site* richiedono dunque modelli di pianificazione differenti, corrispondenti ad altrettanti moduli APS. In questa architettura, il sistema APS localizzato presso il *plant* viene utilizzato soprattutto per la programmazione di breve (*scheduling, transport planning*). In aggiunta, laddove i flussi di materiale tra diversi *plant* siano importanti, uno degli N sistemi APS potrà essere dedicato al coordinamento degli scambi di materiali tra diversi *plant*.

- *Architettura 1:N*. In questo caso un unico sistema APS si interfaccia con più sistemi ERP. Questa situazione, in realtà molto rara, può essere il frutto di un'operazione di *Merge & Acquisition (M&A)*, durante la quale si siano unite due società aventi un differente sistema ERP. In questa situazione, sono possibili più casi: se ognuna delle due società presenta *supply chain* a sé e non ci sono, a valle della riorganizzazione dei processi, flussi di materiali tra le due aziende, allora ciascuna delle due adotterà una certa configurazione (ad esempio 1:1) indipendentemente dall'altra. Laddove invece i flussi di materiali siano rilevanti (ad

esempio le due aziende utilizzano lo stesso tipo di componente, i cui acquisti vengono centralizzati a valle dell'operazione *M&A*, oppure un'azienda produce un codice che viene impiegato nella produzione dell'altra azienda), allora è opportuno prevedere un unico APS centrale, che si occupi di orchestrare i flussi di materiale tra i diversi *plant*.

- *Architettura N:N*. Quest'ultima rappresenta una combinazione delle precedenti architetture.

2.4 Modello logico del sistema APS.

Nella fase di implementazione di un sistema APS in una realtà aziendale, è necessario andare a definire il modello logico della *supply chain* su cui opereranno gli algoritmi APS.

Il modello logico è un insieme di oggetti e di regole che li governano. Esempi di oggetti sono i prodotti, i clienti, gli impianti, le macchine, i fornitori. Esempi di regole sono le priorità (ad esempio il cliente A è più importante del cliente B), i limiti di capacità (ad esempio ore macchina, spazio, volumi di fornitura), gli obiettivi di ottimizzazione (ad esempio minimizzare i costi, massimizzare il livello di servizio).

Il modello logico viene costruito attraverso un processo di “semplificazione” della realtà, ossia identificando nel sistema reale tutti e soli gli elementi rilevanti ai fini della pianificazione.

Si osservi che, quand'anche un'imprecisa semplificazione portasse a includere nel modello vincoli non attivi, l'ammissibilità della soluzione non verrebbe comunque inficiata. Viceversa, una macchina "*collo di bottiglia*" dovrà certamente essere inserita nel modello logico, pena la validità del piano calcolato dal sistema APS. Chiaramente il modello logico deve essere rivisto periodicamente, in modo da poterlo correggere qualora elementi esclusi dal modello dovessero diventare vincoli attivi. Una volta definito il modello logico, questo viene utilizzato dalle funzioni di elaborazioni (algoritmi) del sistema APS. Tali funzioni di elaborazione operano rispettando il seguente flusso:

- calcolo della domanda indipendente;
- confronto tra la domanda indipendente e le risorse disponibili;
- utilizzo di tecniche euristiche e ottimizzanti per cercare di soddisfare la domanda con le risorse disponibili;
- identificazione dei gap tra domanda indipendente e risorse disponibili e analisi di adeguamenti di capacità;
- allocazione delle risorse alla domanda utilizzando criteri di priorità (ad esempio sui clienti, sui prodotti, sulle risorse).

Capitolo 3

CASE HISTORY EVCO S.p.A: DALLE PREVISIONI DI VENDITA ALLA SCHEDULAZIONE DELLA PRODUZIONE

L'obiettivo di questo capitolo è quello di andare a descrivere l'evoluzione del progetto intrapreso in EVCO S.p.A. ed in particolare quelle che sono state le tappe che hanno condotto l'azienda ad arrivare a questo punto dell'evoluzione.

3.1 Il contesto di riferimento

Evco SpA opera nel settore dell'elettronica, in particolare l'azienda progetta e produce sistemi di controllo e regolazione elettronici, sistemi di supervisione e monitoraggio remoto, relativi servizi ed accessori. Evco realizza sia soluzioni standard, disponibili a catalogo, che custom, dedicate ai mercati della refrigerazione, del condizionamento dell'aria, del riscaldamento industriale e del catering. La sede principale è a Sedico (BL), ma presenta anche una serie di filiali commerciali all'estero in Europa, America e Asia.

Negli ultimi anni l'azienda si è trovata ad operare in un mercato sempre più frammentato, per via anche del fatto che Evco offre prodotti con un'ampiezza di gamma molto elevata. Punto di forza e fattore competitivo dell'azienda è infatti la presenza di un catalogo prodotti molto esteso e completo che permette di far fronte

alle molteplici esigenze dei clienti finali. La logica di risposta al mercato di Evco è prevalentemente di tipo *Make To Order* (su commessa). Una particolarità del processo produttivo di Evco è legata alla necessità di dichiarare una data di consegna affidabile al cliente entro 24 ore dal ricevimento della richiesta-cliente e rispettarla per non incorrere in penali. Nel processo di produzione di Evco, inoltre, particolarmente critico è il *lead time* degli approvvigionamenti, che presenta tempi molto lunghi (fino a 6/8 mesi). In questo contesto diventa critico poter anticipare gli ordini di acquisto effettuando delle previsioni sulle vendite. Inoltre, a livello di processo produttivo, vi è la presenza di un *collo di bottiglia* rappresentato dal reparto macchine SMD che costituisce una fase strategica dei processi di lavorazione di Evco. Programmare in modo efficiente queste lavorazioni e questi impianti significa aumentare l'efficienza dell'intero flusso produttivo con benefici che coinvolgono sia le attività interne sia quelle esterne, determinando nel loro complesso un aumento del livello di servizio al cliente.

3.2 Obiettivi principali

Per far fronte alle esigenze in termini di flessibilità e tempi di consegna derivanti dal proprio modello produttivo, in Evco era emersa la necessità di introdurre un sistema APS per la pianificazione della produzione nel breve periodo volto a garantire in particolare la verifica di fattibilità delle richieste cliente e la loro

datazione (modulo *Demand Fulfillment*) e la definizione del piano di produzione più “fattibile” dal punto di vista dei materiali e dei carichi delle risorse. In particolare, la direzione di Evco si era posta i seguenti obiettivi:

- migliorare il processo di datazione, aumentando sia la precisione delle date di consegna sia la tempestività con la quale la data viene confermata;
- anticipare le richieste di acquisto dei materiali/ componenti con *lead-time* molto lunghi e ridurre i materiali mancanti;
- ottimizzare l'utilizzo delle macchine SMD per rendere più efficiente l'intero processo produttivo.

A completamento della soluzione di pianificazione e schedulazione della produzione, Evco si era inoltre posta l'obiettivo di gestire i processi di raccolta dati e consuntivazione in reparto attraverso un sistema MES (*Manufacturing Execution System*).

3.3 Sviluppo del progetto

Sulla base delle esigenze e degli obiettivi preposti, Tecnest ha implementato la soluzione FLEX APS e MES. La soluzione FLEX APS applica un modello che implementa i seguenti processi:

- *sales forecast* per prevedere le richieste di acquisto dei materiali critici: sulla base delle previsioni di vendita e degli impegni cliente che erodono le previsioni, il

sistema è in grado di generare il piano di acquisto dei materiali e componenti. Tali proposte sono l'input per la creazione degli ordini di acquisto.

- Pianificazione della produzione con utilizzo di 2 diversi elaboratori: da un lato l'elaborazione MRP, con l'obiettivo di individuare i materiali mancanti tenendo conto delle previsioni e degli impegni clienti confermati e confermare il piano di acquisto e di produzione all'interno di un orizzonte "congelato" e, dall'altro l'ATP-*Available To Promise / Demand Fulfillment*. Quest'ultimo ha l'obiettivo di datare e approvare gli ordini clienti nuovi, in modo che essi non utilizzino disponibilità già assegnate a impegni clienti confermati.

Schedulazione a capacità finita, in particolare del reparto SMD che rappresenta il *collo di bottiglia* del processo produttivo e determina pertanto il *takt time* per tutti i reparti a valle. Le operazioni degli Ordini di Produzione vengono programmate con logiche tendenti a massimizzare l'utilizzo degli impianti gestendo i *setup* quanto possibile in tempo mascherato. La Schedulazione si avvale di «regole euristiche» con l'obiettivo della ricerca del modello produttivo più efficiente nel rispetto di alcuni parametri tecnici e temporali di riferimento posti dal modello aziendale. Tecnicamente:

- vengono creati dei raggruppamenti di ordini (*batch*) in base al minor numero di componenti di tipo diverso, fino al completamento del *batch* stesso;

- di ogni *batch* viene calcolato il tempo di lavorazione e di attrezzaggio, dati che dipendono dal numero di componenti e dalla loro diversità rispetto al *batch* precedente;

- è possibile verificare quali caricatori sono stati utilizzati per ogni *batch*, anche con l'obiettivo di definire un set coerente di preparazione per gli operatori coinvolti in tale attività.

A completamento della soluzione di pianificazione FLEX APS, in reparto è stata implementata la soluzione FLEX MES per la dichiarazione delle presenze e degli avanzamenti in produzione, l'analisi dati e monitoraggio di rese e scarti di produzione, l'analisi delle skills delle persone e la verifica in tempo reale dei materiali mancanti in magazzino. Il sistema presenta inoltre funzionalità di *Performance Analysis* per il calcolo di specifici KPI e la creazione di *dashboard role-based*.

3.4 Benefici ottenuti

Grazie alla flessibilità e scalabilità della *suite* FLEX il nuovo sistema informativo implementato da Tecnest in Evco permette di gestire, con un'unica piattaforma applicativa, tutti i processi relativi alla pianificazione e schedulazione della produzione e al monitoraggio e raccolta dati in fabbrica.

Il sistema ha permesso di ottenere benefici in termini di:

- PUNTUALITA': aumento del 26% dell'*On-time delivery*;

- EFFICIENZA: anticipo nell'individuazione delle fasi critiche tenendo conto dei *colli di bottiglia* del processo produttivo con conseguente aumento di produttività del sistema;

- RAPIDITÀ DI RISPOSTA AL MERCATO: maggiore precisione nella definizione delle date di consegna, aumento performance produttive, eliminazione sprechi e riduzione costi, miglioramento continuo.

CONCLUSIONI

La sfida che le aziende manifatturiere affrontano oggi, è ambiziosa e richiede di portare a livelli ancora più elevati una produzione già in molti casi massimizzata.

Gli impianti di ultima generazione rischiano di non portare vantaggio competitivo senza processi di governo adeguati, e questi a loro volta perdono efficacia se non sono adeguatamente supportati da strumenti software che permettano all'uomo di prendere decisioni in modo rapido e affidabile. Per affrontare queste sfide, sempre più aziende hanno affiancato ai software gestionali delle soluzioni specializzate. Gli strumenti più indicati per ottimizzare la produzione come abbiamo visto sono gli *Advanced Planning System* (APS). Questi estendono le potenzialità dei sistemi gestionali alla simulazione dei possibili scenari futuri, aumentando significativamente anche la velocità di risposta, l'accuratezza e la centralizzazione del dato. Dotandosi di questo strumento, le aziende sono in grado prendere decisioni in modo rapido e sicuro, basandosi su dati affidabili e facili da elaborare.

Gli APS sono inoltre in grado di offrire benefici in tre aree: economica, organizzativa e di comunicazione. Dal lato economico infatti vi è un rapido aumento della competitività grazie a una sensibile diminuzione dei costi di produzione e di magazzino, all'aumento di produttività e al consistente miglioramento del livello di servizio al cliente. Dal punto di vista organizzativo, l'adozione di sistemi APS consente di ottimizzare la produzione, di ridurre i tempi

di *set-up* e i *lead time*, di adeguare le risorse alla domanda eliminando i mancati e di disporre del prodotto o del materiale giusto al momento giusto.

I benefici dal lato comunicativo riguardano invece l'eliminazione dei silos informativi. Gli APS, infatti, permettono di racchiudere in un unico luogo le informazioni riguardanti la pianificazione della produzione della *Supply Chain*. Una condivisione dell'informazione univoca che consente un perfetto allineamento tra reparti e funzioni aziendali.

Le soluzioni APS sono dunque il supporto e l'alleato indispensabile per le aziende che hanno l'ambizione di cogliere al meglio le opportunità dell'industria 4.0.

BIBLIOGRAFIA

Stadler H., Kilger C., 2007, *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 4^a ed., Springer, Berlin.

Taylor D.A., 2004, *Supply chains. A manager's guide*, Addison-Wesley, Boston.

Kletti J., 2007, *Manufacturing Execution System – MES*, Springer, Berlin.

Anthony R.N., 1965, *Planning and Control Systems: A Framework for Analysis*, Harvard Business School Division of Research, Boston [trad. it. *Il sistema di pianificazione e controllo: schema di analisi*, Etas, Milano 1967].

Knolmayer G., Mertens P., Zeier A., Dikersbach J.T., 2009, *Supply Chain Management Based on SAP System: Architecture and Planning Process*, Springer, Berlin.

Bracchi G., Francalanci C., Motta G., 2010, *Sistemi informativi d'impresa*, McGraw-Hill, Milano.

Yuri Mauergauz, 2016, *Advanced planning and scheduling in manufacturing and supply chains*, Springer, Singapore.

Zijm H., Klumpp M., Regattieri A., Heragu S., 2019, *Operations, Logistic and Supply Chain Management*, Springer.

SITOGRAFIA

www.tecnest.it

www.cybertec.com