



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI

RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE

***Analisi dei processi aziendali per l'elaborazione di una
strategia di miglioramento dei flussi produttivi ed
approccio statistico per l'elaborazione di un modello
di previsione delle vendite***

SINTESI

RELATORI

Prof. Gionata Carmignani
Dipartimento di Ingegneria dell'Energia,
dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni

Prof. Marco Romito
Dipartimento di Matematica

IL CANDIDATO

Anna Laura Landi
a.lauralandi@gmail.com

Analisi dei processi aziendali per l'elaborazione di una strategia di miglioramento dei flussi produttivi ed approccio statistico per l'elaborazione di un modello di previsione delle vendite

Anna Laura Landi

Sommario

Questo lavoro di tesi è frutto di un tirocinio presso la CAEN Spa, una delle più importanti aziende italiane per la produzione di strumenti per la ricerca sulla fisica nucleare.

L'elaborato tratterà del problema delle giacenze di magazzino, con focus su come ridurre le scorte di sicurezza mettendo in pratica metodi, strategie e strumenti imparati durante il percorso di studi universitario.

Inizialmente verranno descritte l'azienda e la situazione *AS-IS* alla data di inizio del tirocinio, descrivendo i processi e le criticità riscontrate. Successivamente ci sarà una parte *TO-BE* dedicata all'analisi e alle proposte di miglioramento svolte con due metodi differenti:

- Metodo statistico
- Miglioramento di processo

L'obiettivo del tirocinio era fornire dei suggerimenti di miglioramento che verranno implementate dall'azienda in futuro.

Abstract

This thesis work is the result of an internship at CAEN Spa, one of the most important Italian companies for research on nuclear physics.

The paper will deal with the problem of warehouse stocks, with a focus on how to reduce safety stocks by putting into practice methods, strategies and tools learned during university studies.

Initially, the company and the *AS-IS* situation at the internship start date will be described, describing the processes and criticalities encountered. Subsequently there will be a *TO-BE* part dedicated to the analysis and improvement proposals carried out with two different methods:

- Statistical method
- Process improvement

The goal of the internship was to provide suggestions for improvement that will be implemented by the company in the future.

1. Introduzione

Questo elaborato è il risultato di un tirocinio presso la CAEN Spa, importante azienda leader per la produzione di strumenti per la ricerca sulla fisica nucleare.

La tesi tratterà la gestione del magazzino, che è diventato uno degli aspetti fondamentali dell'organizzazione.

L'obiettivo del tirocinio era fornire dei suggerimenti di miglioramento che verranno implementati dall'azienda in futuro.

Tenendo conto di tale scopo, dopo aver analizzato la situazione AS-IS dei processi dell'azienda, si è proceduto con l'analisi e la formulazione di proposte per il TO-BE, utilizzando due metodologie:

- Un modello di previsione statistica: è stata analizzata una serie storica con l'obiettivo di prevedere in maniera più puntuale gli acquisti necessari e ridurre di conseguenza le scorte di sicurezza;
- Miglioramento di processo: nello specifico sono state riscontrate delle criticità del reparto di test e collaudo, la risoluzione delle quali permetterebbe di velocizzare il processo e aumentare l'indice di rotazione delle merci in magazzino.

2. Storia

CAEN Spa è un'azienda che offre una gamma completa di sistemi di alimentazione e moduli front end e acquisizione dati che soddisfano gli standard IEEE, acronimo di *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (Istituto degli ingegneri Elettrici ed Elettronici), per la fisica nucleare e delle particelle.



3. Analisi AS-IS dei processi

Il processo produttivo della CAEN Spa consiste nei seguenti sottoprocessi:

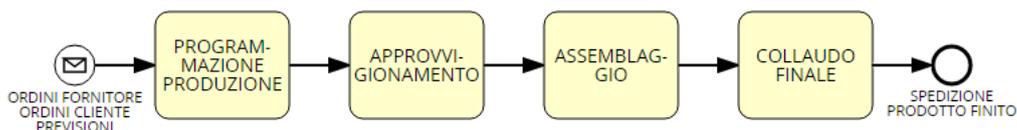


Figura 1 Processo produttivo

3.1 Programmazione della produzione

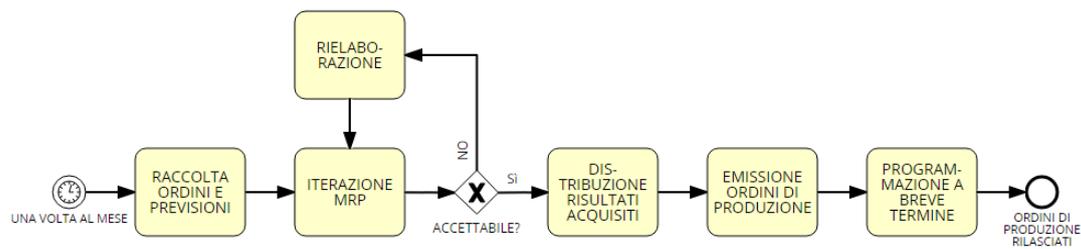


Figura 2 Programmazione della produzione

L'attività di programmazione è divisa in due fasi: una a medio termine e una a breve termine. La **programmazione a medio termine** definisce un piano di produzione della durata di un anno, basata sulle previsioni della direzione operativa e sugli ordini acquisiti dai clienti. Viene svolta mensilmente con l'ausilio del motore MRP del sistema gestionale che elabora i dati in ingresso fornendo fabbisogni di materie prime e di lavorazioni.

La **programmazione a breve termine** consiste nell'assegnazione e distribuzione del lavoro ai reparti e nella predisposizione degli ordini di lavorazione con un orizzonte temporale inferiore al mese. Viene svolta quotidianamente prendendo in esame tutti gli Ordini di Produzione in stato Confermato che hanno data di inizio compresa nelle successive due settimane.

3.2 Assemblaggio

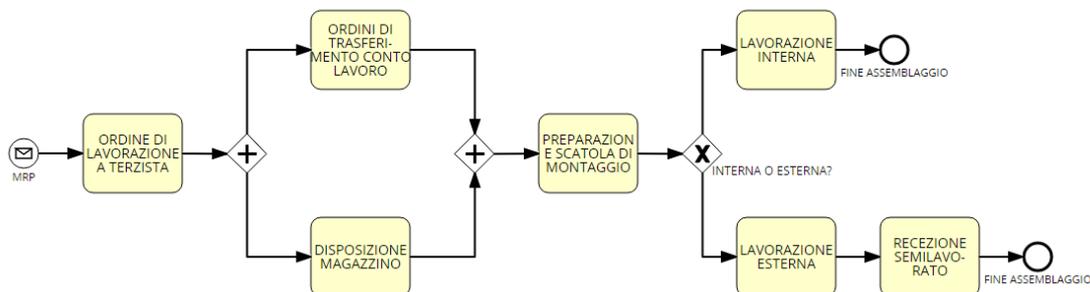


Figura 3 Assemblaggio

3.2.1 Ordine di lavorazione

La Programmazione e Controllo della Produzione provvede ad emettere l'Ordine di Conto Lavoro per l'acquisto della lavorazione e dà disposizione al Magazzino di Produzione per l'invio della materia prima al fornitore di lavorazione.

Il terzista dispone di tutta la documentazione archiviata sul database condiviso.

3.2.2 Preparazione scatola di montaggio e spedizione per lavorazione

Durante questa fase viene fisicamente composta la scatola di montaggio dei semilavorati dagli addetti del Magazzino di Produzione.

È compito di Magazzino di Spedizione registrare i movimenti della materia prima sul sistema informatico, produrre i DDT e procedere fisicamente alla spedizione o alla consegna nel caso il vettore sia il fornitore stesso.

3.2.3 Lavorazione interna/esterna

La lavorazione può essere fatta internamente presso il reparto Assemblaggio o presso fornitori di lavorazione in funzione della tipologia di lavorazione e della disponibilità di risorse.

Questi svolgono la lavorazione richiesta sulla base degli ordini di conto lavoro e di tutta la documentazione richiamata. La lavorazione consiste nell'assemblaggio su circuito stampato di componenti elettronici SMD e PTH, nel montaggio di parti meccaniche, nel cablaggio e nell'assiemaggio di sotto parti elettroniche precedentemente assemblate, ispezioni ottiche e collaudi funzionali.

3.2.4 Ricezione semilavorato

La ricezione del semilavorato viene svolta in Magazzino di Produzione dal personale addetto, che svolge i controlli previsti e annota i risultati sui Verbali della Produzione.

Al termine delle attività di controllo il materiale può essere movimentato come conforme o non conforme.

3.3 Collaudo finale

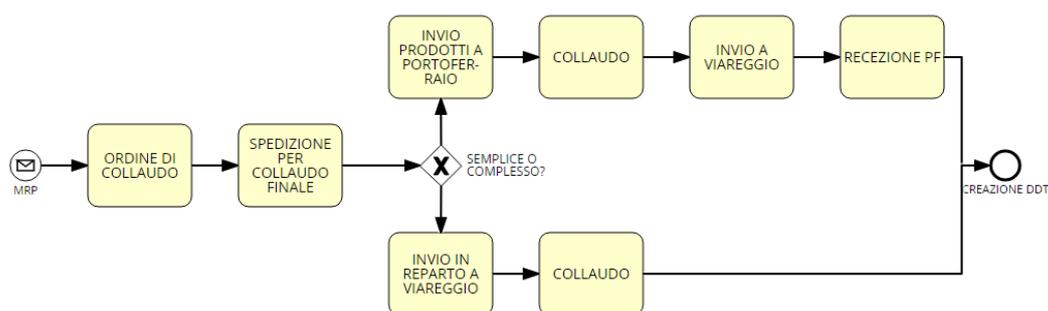


Figura 4 Collaudo finale

3.3.1 Ordine collaudo finale

La Programmazione e Controllo della Produzione emette l'ordine per l'esecuzione del collaudo finale.

3.3.2 Spedizione per collaudo finale

Durante questa fase viene fisicamente preparato il materiale e spedito o consegnato al fornitore.

Gli addetti del Magazzino di Produzione preparano il materiale seguendo l'elenco degli Ordini di Trasferimento, mentre gli addetti del Magazzino di spedizione registrano i movimenti degli articoli sul sistema informatico, producono i DDT e spediscono o consegnano il materiale.

3.3.3 Collaudo finale

Il responsabile del reparto, in base agli Ordini di Conto Lavoro ricevuti, assegna i prodotti da collaudare agli addetti.

Nel caso in cui si tratti di un prodotto per il quale esiste già un processo produttivo validato, l'addetto esegue il collaudo su ogni prodotto come previsto dalle procedure di test. Le prove svolte vengono registrate su un documento di report e gli eventuali interventi di riparazione vengono registrati in un verbale.

Al termine del collaudo il responsabile del reparto TEST comunica al Magazzino di Spedizione l'evasione dell'Ordine di Conto Lavoro.

Nel caso di prodotti per i quali non esiste un processo produttivo validato, R&S in collaborazione con il TEST rilascia il prodotto svolgendo le prove necessarie a verificare la conformità ai criteri di accettazione definiti nella documentazione di progettazione. Anche questa attività di rilascio viene registrata nel verbale sopracitato.

4. Criticità osservate

4.1 Gestione del magazzino

I lead time di produzione, considerando anche l'approvvigionamento delle materie prime, sono di diverse settimane (17 per i prodotti considerati), a seconda del prodotto considerato, mentre, per questo tipo di azienda e lavorazioni, dovrebbe essere di circa 60 giorni.

Per questo motivo l'azienda tiene a stock di sicurezza le materie prime e i semi lavorati, con un magazzino che ammonta attualmente a 5 milioni €. In parte è giustificato dall'ampio catalogo composto da migliaia di prodotti in espansione ogni anno, ma comunque molto elevato.

4.2 Processi di collaudo

È stato analizzato e cronometrato un processo di collaudo ed è stato riscontrato una discordanza tra il tempo effettivamente necessario e quello stimato nel loro software ERP,

comportando un problema di gestione delle attività. Inoltre l'operatore ha dovuto interrompere le attività a causa di non conformità riscontrate, per occuparsi della risoluzione delle stesse, impiegando due ore in più. L'operatore ha affermato che si riscontrano spesso problemi di questo tipo e che sono tenuti a risolvere le non conformità al momento. Mettendo da parte il prodotto a propria discrezione nel caso sia necessario troppo tempo.

Si è riscontrato inoltre che i reparti di testing sono sovra saturi e questo comporta un rallentamento della produzione.

5. Strategia di miglioramento con analisi statistica

È stata eseguita un'analisi statistica cercando il modello di previsione più adatto.

L'idea è quella di prevedere il fabbisogno delle materie prime sulla base dei dati di vendita, perché sono l'unico dato che incanala informazioni esterne e non di sole scelte aziendali.

Le attività da svolgere per l'analisi di previsione del fabbisogno sono:

- Determinare una singola materia prima, successivamente all'implementazione del modello sarà poi possibile ripetere l'analisi per le altre materie prime
- Percorrere le distinte base fino ad individuare tutti i prodotti finiti che contengono la materia prima scelta
- Realizzare una serie storica delle vendite con i dati aggregati dei prodotti finiti selezionati
- Analizzare la serie storica con cadenza mensile.

È stata creata una serie storica aggregata, considerando le vendite di tutti i prodotti finiti che contenevano un prodotto comune: un condensatore.

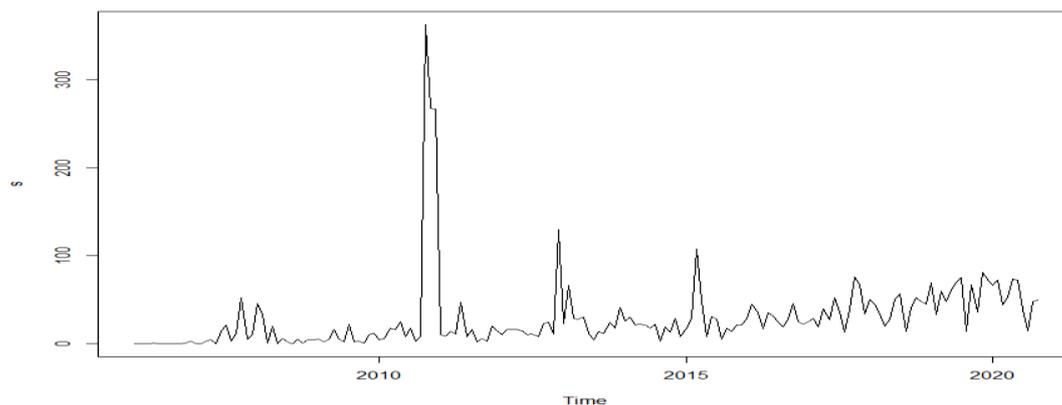


Figura 5 Serie storica

Per svolgere l'analisi, ci sono due metodi principali: smorzamento esponenziale (Holt-Winters) e metodi auto regressivi.

L'idea di fondo è quella di trovare un modello che segue la serie storica al netto del rumore. Se l'analisi è buona allora la previsione sarà affidabile. Per ogni metodo è stata eseguita anche

la *cross-validation*, ossia un insieme di metodi per misurare la performance di un modello predittivo.

5.1 Metodo Holt-Winters: Smorzamento esponenziale

Procediamo con il metodo Holt-Winters senza considerare né trend né stagionalità, quindi il modello di smorzamento esponenziale.

Questo metodo serve per minimizzare i residui e permette di avere un'analisi più fedele.

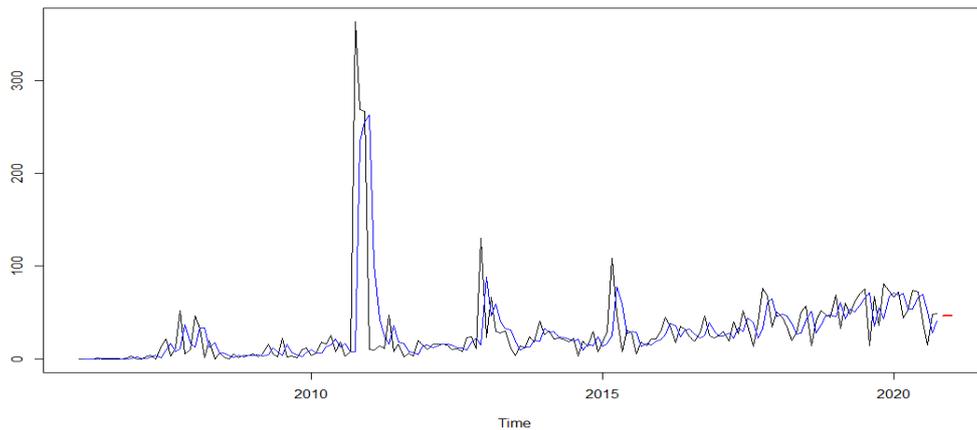


Figura 6 Previsione con smorzamento esponenziale

Nella Figura 6 è possibile individuare in nero la serie originale, in blu lo smorzamento esponenziale e in rosso la previsione, che risulta costante.

5.2 Metodi regressivi per serie storiche

Con i metodi auto regressivi si cerca di analizzare la serie per fare delle previsioni prendendo come fattore in uscita la serie stessa e come fattore in ingresso la struttura della serie.

Eseguiamo l'auto regressione con il metodo *least squares*.

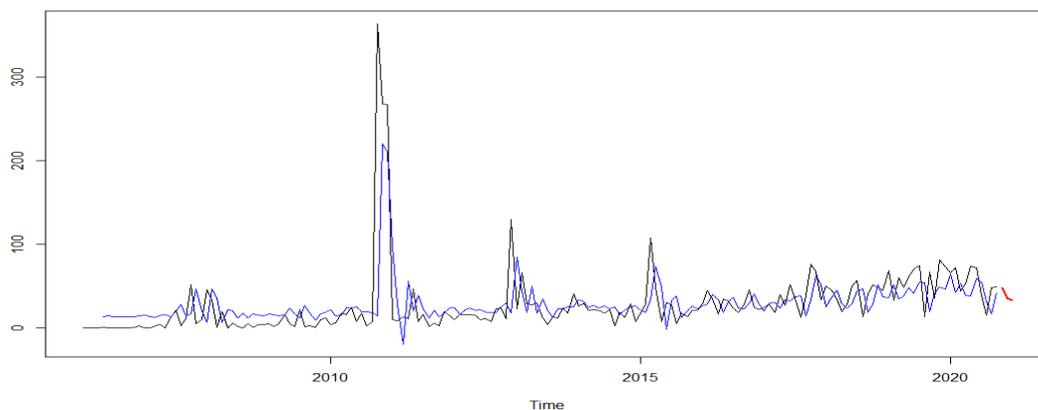


Figura 7 Previsione con least squares

Nella Figura 7 è possibile individuare in nero la serie originale, in blu l'auto regressione *least squares* e in rosso la previsione, che risulta decrescente.

Eseguiamo l'auto regressione con il metodo Yule-Wlaker.

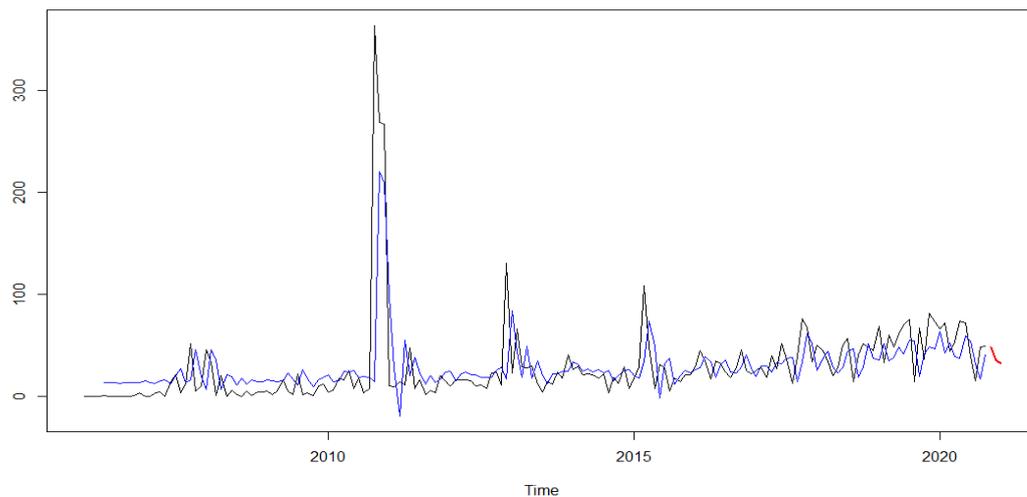


Figura 8 Previsione con Yule-Walker

Come si può notare dalla Figura 8, non ci sono evidenti cambiamenti tra i due metodi.

5.3 Confronto fra modelli

Confrontiamo ora i modelli per stabilire quale tra quelli visti finora è quello più adatto ad analizzare e prevedere la nostra serie storica.

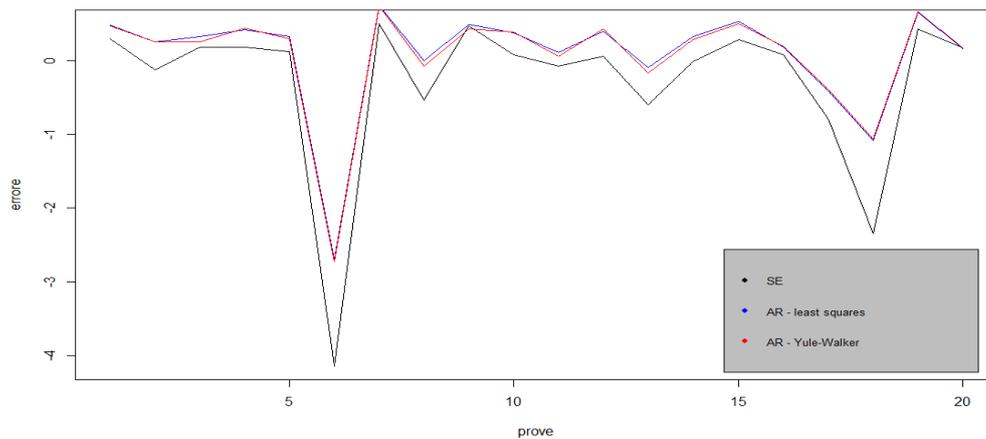


Figura 9 Confronto fra modelli

- SE: 1.115997
- AR – least squares: 0.7508022
- AR – YW: 0.7507691

Come possiamo vedere dai risultati, il metodo auto regressivo Yule-wlaker presenta l'errore più basso, ed è paragonabile al metodo dei *least squares* che verrà quindi escluso dalle successive comparazioni.

Successivamente sono stati analizzati la varianza spiegata, la distribuzione normale e i quantili, in tutte e tre i confronti è risultato il migliore il metodo di auto regressione di Yule-Walker, come ci aspettavamo considerato che ha l'errore più basso.

5.4 Cross-validation a più mesi per Auto regressione con Yule-Walker

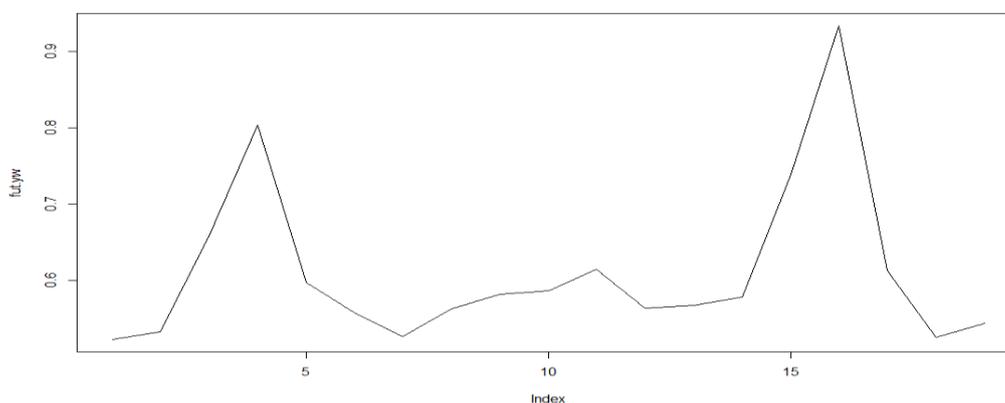


Figura 30 Cross-validation con YW

Nella previsione a 12 mesi, l'errore relativo medio è 0.6114415 con deviazione standard 0.106491.

5.5 Conclusioni

Dalle analisi fatte il metodo migliore risulta quello del modello di auto regressione con il metodo Yule-Walker. A questo punto è possibile continuare l'analisi con questo modello, individuando e studiando l'andamento di un prodotto attraverso dati di prodotti finiti aggregati per affinità, dove per affinità si intende prodotti che contengono la stessa materia prima che si è deciso di analizzare.

6. Strategia di miglioramento per processo

L'azienda può contare su due reparti di collaudo principali: CAEN Test e CAEN Portoferraio.

Si è tenuto conto delle seguenti considerazioni:

- Lavoro medio di 7,5 h giornaliero
- Rendimento dell'80%, quindi ogni operatore lavora per 6 h al giorno.

I dati fanno riferimento al mese di settembre 2020 che conta 22 giorni lavorativi.

Il reparto Test ha 13 operatori e conta quindi 1716 ore di lavoro totali, di cui che il 63% vengono dedicate ad attività non relative alla produzione e vendita dei prodotti finali.

Il reparto di Portoferraio ha 5 operatori quindi 660 ore di lavoro totali, di cui il 35% sono "ore extra".

Le tabelle seguenti riassumono le varie attività svolte nei reparti.

Le "ore extra" fanno riferimento a operazioni di supporto alla progettazione per progetti non ancora terminati, operazioni relative a non conformità rilevate durante le fasi di collaudo dei prodotti finiti e riparazioni per prodotti rientrati in azienda.

Tabella 1 Tempi reparto Test

Totale TEST	638:45:00
Produzione	380:30:00
Progettazione	256:45:00
Assemblaggio	01:30:00
Ore totali lavorate	1716:00:00
Ore per extra	1077:15:00

Tabella 2 Tempi reparto Portoferraio

Totale PORTOFERRAIO	428:30:00
Produzione	325:30:00
Progettazione	83:00:00
Assemblaggio	20:00:00
Ore totali lavorate	660:00:00
Ore per extra	231:30:00

Le proposte per migliorare questa situazione sono:

- Riorganizzazione dei gruppi di lavoro del reparto di Test
 - o Questa strategia è realizzabile nel breve termine e potrebbe portare notevole miglioramento dei lead time sia per quanto riguarda il collaudo di nuovi prodotti che il test dei prodotti finiti, perché si avrebbero operatori dedicati allo svolgimento di quelle specifiche mansioni, con un conseguente aumento dell'efficienza.

Vediamo un esempio pratico, considerando il reparto Test.

In questo reparto ci sono 13 operatori che si occupano tutti delle stesse mansioni indistintamente. Ipotizziamo di dividerli in 3 gruppi:

- 5 operatori si occuperanno del collaudo dei prodotti per la produzione
- 5 della progettazione
- 3 delle non conformità e del controllo dei prodotti da riparare ("ore extra").

Facciamo le stesse ipotesi precedenti: lavoro medio di 7,5 h giornaliero, rendimento dell'80% (quindi 6 h/giorno per operatore), 22 giorni lavorativi al mese:

- Produzione: 660 h/mese
- Progettazione: 660 h/mese
- Non conformità: 396 h/mese

Il tempo medio di collaudo per la produzione è 2,55 h, mentre per la progettazione è 3,82 h.

AS-IS

$$\frac{380,5}{2,55} = 148,22 \frac{\text{pezzi produzione}}{\text{mese}}$$

$$\frac{256,75}{3,82} = 67,21 \frac{\text{pezzi progettazione}}{\text{mese}}$$

TO-BE

$$\frac{660}{2,55} = 258,82 \frac{\text{pezzi produzione}}{\text{mese}}$$

$$\frac{660}{3,82} = 172,77 \frac{\text{pezzi progettazione}}{\text{mese}}$$

Si ottengono più di 100 pezzi/mese in più sia per la produzione che per la progettazione.

- Passare al Fast prototyping
 - o Si può ottenere una prototipazione più rapida esternalizzando parte del montaggio. È una strategia di medio termine, perché comporta una rivalutazione dell'attuale sistema e la ricerca di partner adatti alla fruizione del servizio richiesto. Nel caso in cui si scelga di attuare questo piano d'azione, si avrebbe una notevole riduzione dei tempi di attesa e una migliore efficacia nella creazione di nuovi prodotti finiti da inserire a catalogo o per i bandi di concorso.
- Progettare i nuovi prodotti tenendo conto del Design for Assembly
 - o Ossia progettare i singoli componenti per rendere più efficiente e agevole l'assemblaggio per contenere tempi e costi. Questo tipo di strategia è sicuramente quella che comporta il cambiamento maggiore, quello più lungo e radicale perché comporta uno stravolgimento rispetto a come si esegue ora la progettazione e sarebbe necessaria una maggiore collaborazione tra progettazione, ufficio tecnico e produzione. Nel caso in cui si dovesse riuscire ad implementare però comporterebbe un'ottimizzazione dei tempi e dei costi notevole, e dei grandi vantaggi in fase di produzione.

7. Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è suggerire delle soluzioni o dei miglioramenti per ridurre le giacenze nel magazzino di CAEN Spa.

Dall'analisi statistica è risultato che il modello di previsione più adatto è quello auto regressivo con il metodo Yule-Walker.

L'analisi di processo, invece, ha dato come risultato diverse proposte migliorative:

- Riorganizzazione dei gruppi di lavoro del reparto di Test
- Passare al *Fast prototyping*
- Progettare i nuovi prodotti tenendo conto del *Design for Assembly*

Nel complesso si avrebbe un notevole miglioramento dei tempi con conseguente aumento dell'indice di rotazione delle giacenze in magazzino.