

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale**

**in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

## **Fattori critici del livello di scorta**



**Relatore/i**  
**prof. Giulio Mangano**

*firma del relatore*

.....

**Candidata**  
**Elisabetta Mancino**

*firma del candidato*

.....

A.A. 2017/2018

# 1 Sommario

Abstract.....	1
1. Contesto aziendale e introduzione all'inventory management.....	3
1.1 Overview automotive lighting .....	3
1.1.1 La storia .....	3
1.1.2 Il processo produttivo e di pianificazione.....	4
1.1.3 Analisi interna ed esterna .....	7
1.2 Settore .....	8
1.2.1 Segmentazione del mercato .....	9
1.2.2 Competizione.....	10
1.2.3 Settori collegati.....	11
1.3 Inventory management .....	12
1.3.1 Relazione tra inventory management e performance aziendale .....	15
1.3.2 Kpi .....	17
2 Fattori critici .....	20
2.1 Literature review .....	20
2.2 Fattori critici nel caso Automotive Lighting.....	24
2.2.1 Distanza fornitori.....	25
2.2.2 Concentrazione dei fornitori.....	26
2.2.3 Consignment stock .....	27
2.2.4 Inventory accuracy .....	28
2.2.5 Product variety.....	29

2.2.6	Concentrazione dei clienti .....	30
2.2.7	Accuratezza domanda e rischio fornitura .....	31
3	Metodologia.....	33
3.1	Introduzione all'analisi di regressione .....	33
3.2	ANOVA .....	42
4	Analisi.....	44
4.1	Data collection .....	44
4.2	Analisi .....	46
4.2.1	Analisi di normalità .....	47
4.2.2	Validazione del modello e limitazioni.....	57
4.2.3	Presentazione dei risultati.....	75
5	Conclusioni.....	80
6	Bibliografia.....	85
	Ringraziamenti .....	91

## Abstract

Questo studio ha l'obiettivo di individuare dei fattori che influenzano il livello di stock e quantificarne il loro impatto.

L'analisi è stata condotta prendendo come campione i dati relativi ai plant di un'azienda appartenente al settore dell' automotive lighting nel periodo tra Gennaio 2016 e Maggio 2018.

Dall'osservazione delle dinamiche interne all'azienda e dallo studio della letteratura sono stati individuati come fattori critici del livello di stock la percentuale di fornitori locali, la concentrazione dei clienti e dei fornitori, la product variety, l' inventory accuracy, la quota di consignment stock, l'accuratezza domanda e l'incertezza legata alla fornitura di materiali.

L'impatto di tali fattori sul livello delle scorte è stato quantificato grazie all'utilizzo di una regressione multipla che ha fornito coefficienti significativi per 5 variabili su 6. Per studiare, invece, il legame tra l'inventory accuracy e l'indicatore DOS è stata utilizzata l'ANOVA che ha fornito risultati non significativi.

---

The aim of this study is to point out the factors that influence the stock level and to quantify their impact.

The analysis has been carried out considering as samples the data related to a plant firm belonging to the automotive lighting in the period between January 2016 and May 2018.

By the observation of the company dynamics and by the study of the literature the following elements have been singled out as determining factors: percentage of local supplier, concentration of customers and suppliers, product variety, inventory accuracy, consignment stock, demand accuracy and supply's uncertainty

The impact of these factors on the stock level has been quantified thanks to a multiple regression that has given significant coefficients of 5 variables out of 6.

On the other hand, ANOVA has been used in order to study the connection between the inventory accuracy and the DOS: the results haven't been significant.

## 1. Contesto aziendale e introduzione all'inventory management

Nel seguente capitolo verrà descritta l'azienda nella quale si è svolto il lavoro di tesi e il settore in cui essa opera per avere una panoramica generale del contesto della ricerca.

Inoltre, verrà introdotto il concetto di inventory management, evidenziando il suo ruolo nella performance della supply chain.

### 1.1 Overview automotive lighting

Automotive Lighting è la business line della Magneti Marelli attiva nel settore dell'illuminazione per automobili.

Essa si occupa della produzione e commercializzazione dell'intera gamma di tecnologie per fari, fendinebbia, sistemi di regolazione e luci di arresto.

#### 1.1.1 La storia

La Magneti Marelli si affaccia sul mercato del lighting con l'acquisizione della storica azienda Carello s.p.a., che fin dagli inizi del 900 opera nel settore ed a cui si deve l'introduzione in Europa del primo fanale anteriore elettrico e il primo faro antinebbia alogeno.

Nel 1999 la Magneti Marelli sigla una joint venture con Bosch, dalla quale nascerà Automotive Lighting, ma già nel 2003 l'azienda italiana rileva la quota di Bosch e ne diventa unica proprietaria. La business line inizia ad acquisire alcuni fornitori come ad esempio SEIMA e MAKO.

Ad oggi Automotive Lighting è presente in tutto il mondo ed i suoi plant sono raggruppati in 5 regioni:

- APAC :Changchun (CN), Foshan (CN), Wuhu (CN), Yokohama (JP), Penang (MY);
- SOUTH EUROPE: Venaria (IT), Tolmezzo (IT), Llinars des Valles (ES), Barbera des Valles (ES), Saint Julien du Sault (FR);

- NORTH EUROPE: Jihlava (CZ), Sosnowiec (PL), Brotterode (DE), Reutlingen (DE), Ryazan (RU);
- NAFTA: Pulasky (US), Clarkston (US), Juarez (MX), Tepetzotlan (MX), Toluca (MX);
- LATAM: Contagem (BR).

Essa conta 19900 dipendenti, un turnover annuo di circa 3.5 miliardi, il che la rende una delle business line più proficue di Magneti Marelli. Fra i clienti principali troviamo FCA, PSA, BMW.

### 1.1.2 Il processo produttivo e di pianificazione

I plant si occupano della produzione di cornice, riflettori e lenti per fanali anteriori o posteriori.

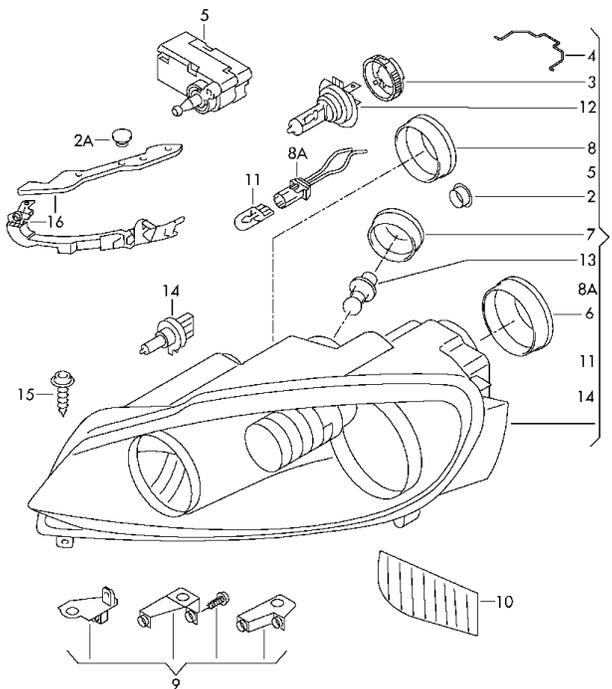


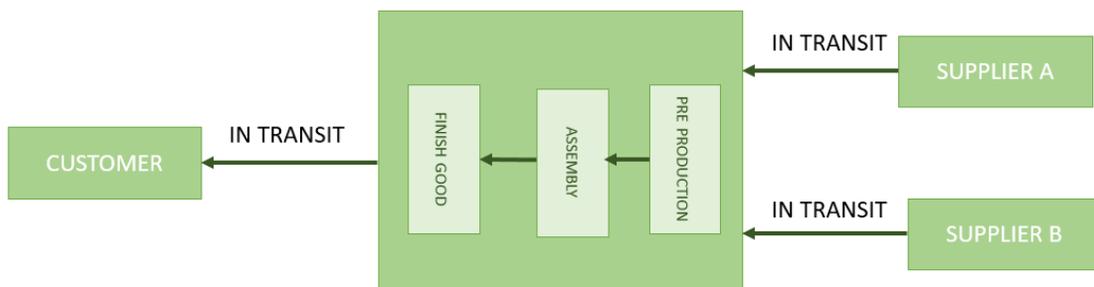
Figura 1: componenti di un fanale (it.realoem.me)

È possibile dividere il processo produttivo in due fasi:

- Fase di pre-produzione: in questa parte del processo vengono stampate le cornici, i riflettori e le lenti. Il materiale plastico a granelli viene inviato, tramite tubi, da un impianto centrale chiamato moretto alle tramogge a lato delle presse mentre il BMC, utilizzato per i riflettori, viene caricato a panetti. La cornice grezza viene poi inviata in delle vacuum machine Galileo per la fase di metallizzazione a valle della quale vi è un controllo qualità visivo sull'estetica. Sulle lenti, dopo la fase di stampaggio, viene effettuato un controllo visivo a tappeto, e in seguito esse vengono inviate nella macchina per la verniciatura interna e per l'antifog, quando previsto. I componenti vengono stoccati in appositi contenitori e inviati alla fase di assemblaggio;

- Fase di assemblaggio: l'assemblaggio avviene sulle linee dedicate al prodotto. In una prima fase gli operatori assemblano i diversi componenti sul sottogruppo corpo: in questa fase la cornice viene assemblata al corpo tramite l'utilizzo di alcune viti. Il sottogruppo viene poi inviato tramite un nastro a dei robot che si occupano dell'incollaggio della lente sul gruppo assemblato.

A valle di questa fase è presente un banco di prova tenuta, viene poi effettuata la fotometria in cui viene simulato il fascio luminoso emesso come se fosse già installato su un'autovettura ed infine vi è un controllo visivo finale. Il prodotto finale viene inviato nel magazzino prodotti finiti per essere spedito al cliente.



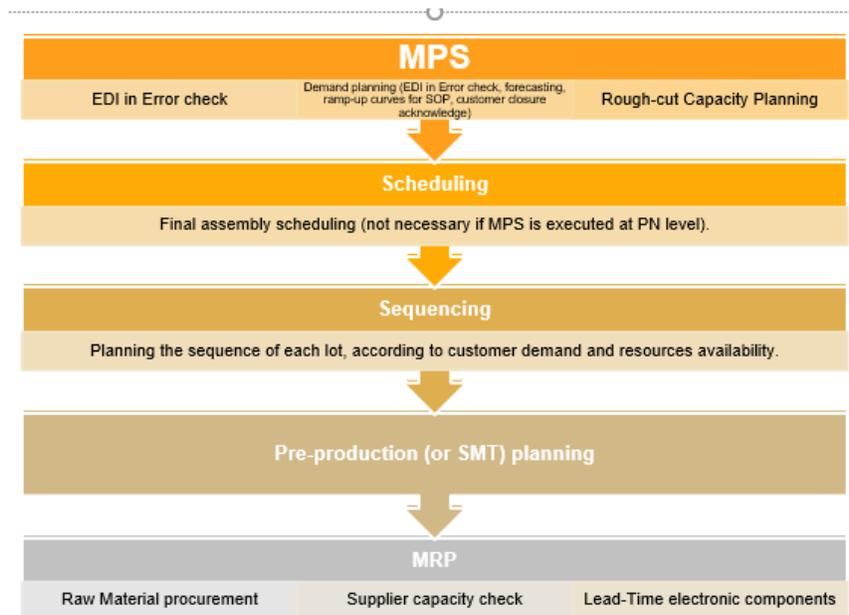
*Figura 2: flusso fisico*

Per quanto riguarda il processo di pianificazione, esso inizia quando arriva la domanda cliente: il cliente invia, tramite un EDI, la domanda per i prossimi tre mesi, una parte della quale viene congelata, mentre un'altra rimane come open quantity. Nei contratti commerciali stipulati solitamente si ammette una fluttuazione del 20-30%.

Sulla base della domanda viene elaborato il Master Production Scheduling tenendo conto della domanda settimanale inviata, della presenza di EDI in errore e della capacità produttiva del plant.

Si passa poi allo scheduling per l'assemblaggio a livello di ogni part number esplodendo le Bill of Material di ogni prodotto finito. Bisogna poi andare a definire la sequenza di produzione dei singoli lotti in funzione della domanda cliente e della disponibilità delle risorse.

Dopo aver definito la sequenza di assemblaggio si va a pianificare la parte di pre-produzione ed infine si sviluppa MRP: dopo aver verificato la capacità dei singoli fornitori vengono emessi gli ordini di materie prime.



*Figura 3: processo di pianificazione*

L'azienda si approvvigiona da fornitori esterni per i materiali plastici e per i componenti elettronici. I componenti elettronici hanno un lead time di produzione molto alto, per questo bisogna inviare al fornitore una previsione dei fabbisogni di 13 mesi di cui 4 congelati.

Il plant di Barberà del Valles è il maggior produttore di centraline elettroniche e si occupa, quindi, della fornitura del componente agli altri plant, però la sua capacità produttiva non riesce ad assorbire tutto il fabbisogno della compagnia, per questo si fa riferimento alla business line Elettronica di Magneti Marelli e a fornitori esterni. I fornitori di elettronica sono spesso i più critici.

Il prodotto finale viene venduto su tre diversi canali di distribuzione. Il primo è quello denominato "primo impianto": il prodotto viene inviato direttamente all'azienda cliente che lo monterà sulle proprie autovetture. Parallelamente al primo impianto avviene la produzione dei prodotti destinati al secondo canale di distribuzione, quello dei Ricambi ufficiali, cioè prodotti uguali a quelli del primo impianto che saranno venduti dal cliente come ricambi ufficiali.

Il terzo canale è quello dell'aftermarket, cioè quello dei ricambi marchiati Magneti Marelli che l'azienda venderà ai distributori.

### 1.1.3 Analisi interna ed esterna

È possibile applicare l'analisi delle 5 forze di Porter all'azienda:

- Potere contrattuale dei fornitori: il potere contrattuale dei fornitori è molto alto nel caso di fornitori di prodotti elettronici in quanto l'automotive rappresenta una fetta molto piccola del loro fatturato, mentre esso è medio per i supplier di altre materie prime specialmente perché alcuni possono essere imposti dal cliente stesso;
- Potere contrattuale dei clienti: molto alto. I clienti decidono requisiti qualitativi e di design molto stringenti, influenzando tutto il processo ad iniziare dalla fase di sviluppo prodotto;
- Prodotti sostituti: non sono presenti prodotti sostituti sul mercato;

- Minaccia nuovi entranti: barriere all'ingresso medie, per entrare nel mercato c'è bisogno di elevati investimenti in R&D. Può accadere che un fornitore decida di inglobare anche il processo di assemblaggio a valle o che un cliente si integri a monte;
- Concorrenza del settore: la concorrenza del settore è media, poche imprese detengono circa l'80 per cento del mercato.

Per quanto riguarda invece l'analisi SWOT

Strengths: l'appartenenza al gruppo FCA può favorire la creazione di network con aziende operanti nel settore. Funzione R&D centralizzata;

Weakness: complessità del flusso logistico all'interno del supply chain network. La struttura a matrice può provocare problemi di coordinamento;

Opportunities: l'apertura del mercato cinese può essere un'opportunità per l'impresa.

Essa già possiede plant in quel territorio ma può rafforzare la propria posizione e questo permette di avere un nuovo parco clienti ma anche una maggiore vicinanza ai fornitori di elettronica;

Threat: penetrazione sul mercato di nuove tecnologie. La delocalizzazione dei fornitori specialmente quelli in Paesi con una politica più autoritaria e protezionista può rappresentare una minaccia.

## 1.2 Settore

Il settore dell'illuminazione per autoveicoli include tutti quei dispositivi di illuminazione e segnalamento che contribuiscono alla sicurezza del mezzo ed alla sua estetica: fanali anteriori e posteriori, luci laterali, anti nebbia, luci interne. Esso inizia a svilupparsi con le prime automobili: dapprima venivano utilizzate lampade ad olio che saranno sostituite dalle dinamo attorno agli anni 20. Agli inizi degli anni 60 del secolo scorso si iniziano a montare i primi alogeni, mentre agli inizi degli anni 90 iniziò a penetrare sul mercato la tecnologia LED che fu usata per i fanali posteriori poi nei primi anni 2000 essa fu estesa agli headlamps.

### 1.2.1 Segmentazione del mercato

È possibile segmentare il mercato in tre modi diversi [1]:

- Per applicazione: segmento delle luci interne e quello delle luci esterne: il segmento dominante è quello delle luci esterne e, come si può notare nella figura sottostante, esso continuerà ad esserlo anche negli anni futuri. È possibile scindere il segmento delle luci esterne in rear lamps e head lamps: in questo caso la maggior parte dei ricavi viene ottenuto tramite la vendita dei fanali anteriori

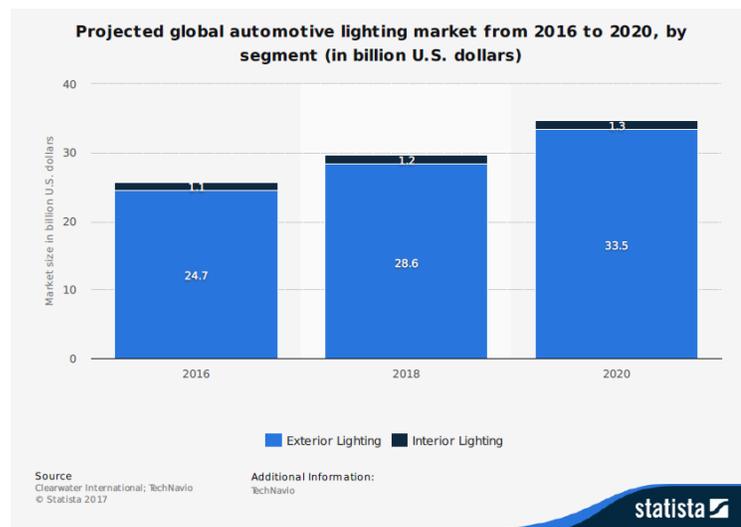


Figura 4: proiezione della grandezza del settore dell'illuminazione per autoveicoli diviso per applicazione. (fonte: Statista)

- Per tecnologia: alogeno, xeno, led: la tecnologia dominante è quella degli alogeni ma il led sta acquisendo una sempre maggiore importanza e sta andando a sostituire gli alogeni nei veicoli premium.

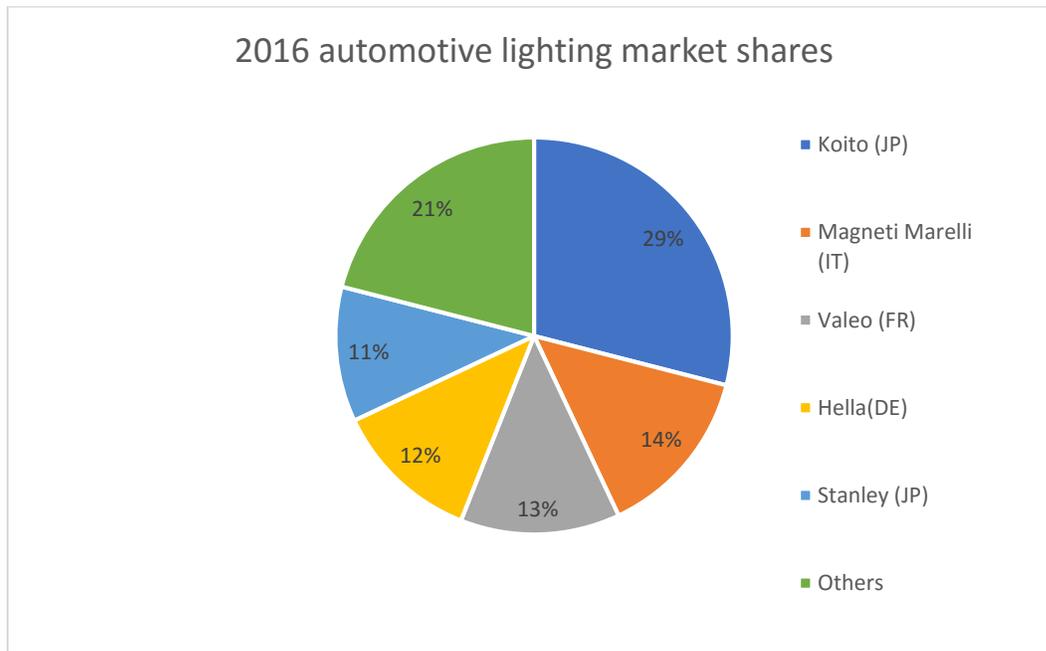
L'evoluzione di questa tecnologia è dovuta a policy governative in termini di sicurezza e a una sua maggiore resa in termini di consumo di batteria e lucentezza, inoltre l'introduzione del LED ha consentito di ridurre la grandezza dei fanali;

- Per regione geografica: Apac, America, EMEA. Nel 2016 il 46% dei ricavi proviene dai Paesi asiatici e questo a causa di un aumento demografico, cambiamento di stile di vita ed economia crescente in quei paesi.

Nel 2016 [1] la grandezza del settore era circa 28,250 miliardi di dollari, gli analisti prevedono un CAGR del 5,7% che porterà la grandezza dei ricavi vicina ai 46 miliardi di dollari nel 2025.

### 1.2.2 Competizione

Per quanto concerne la concentrazione del settore si può affermare che circa 80% dei ricavi è in mano a 5 grandi aziende, mentre il restante 20% è suddiviso fra piccole e medie imprese di più di 20 paesi nel mondo.



*Figura 5: quote di mercato nel settore dell'illuminazione per autoveicoli nel 2016*

I principali attori del settore sono:

- KOITO: gruppo giapponese nato nel 1915 che si occupa della produzione di sistemi di illuminazione per automobili, aeroplani e navi. I risultati del 2017 mostrano un fatturato di circa 841 milioni di yen, circa 7,5 miliardi di dollari. Come riporta l'annual report, la maggior fonte di ricavo è il Giappone che rappresenta circa il 38.5% del fatturato, seguito da Cina (25,9%), Nord America (22,2%), Asia (9,7%) ed infine Europa (3.7%). [2]

Ad oggi possiede circa 15 strutture produttive, in cui lavorano circa 23500 dipendenti, e nel corso del 2018 aprirà un plant in Brasile per rispondere all'aumento di domanda.

- VALEO: gruppo francese il cui business è legato alla componentistica per l'automotive. È composta da 4 divisioni: comfort & driving assistance, power train, thermal , visibility. Il segmento del visibility ha registrato nel 2017 un fatturato di circa 5,8 miliardi di euro con una crescita del 25 per cento rispetto al 2016. Ha 37 plants sparsi in tutto il mondo dove lavorano circa 37 mila persone, la maggior fonte di ricavo è l'Europa. [3]
- STANLEY: azienda giapponese che produce componentistica elettronica, gran parte del suo business (79%) si basa sull'automotive equipment che nel 2017 ha registrato un calo del fatturato che ora si aggira intorno ai 308 milioni di yen. La maggior quota dei ricavi la ottiene in Giappone. [4]
- HELLA: azienda tedesca che si occupa di fanali, elettronica. La maggior parte del business è concentrata in Germania anche se nell'ultimo anno è aumentata la quota di ricavi proveniente da America e Asia, ha circa 30 mila dipendenti ed il fatturato 2017 è di circa 2.8 miliardi di euro; [5]
- MAGNETI MARELLI

### 1.2.3 Settori collegati

Il settore dipende da:

- Andamento settore automotive: il settore influenza le vendite di fanali e luci segnaletiche, essendo questo il cliente chiave. Contrazioni della domanda di automobili si riversano a monte sui suoi fornitori. L'aumento del mercato automotive in Cina ha portato gli stessi attori dell'automotive lighting a posizionare plant in quel territorio per essere in grado di rispondere in maniere efficiente ed efficace ad ogni richiesta del cliente. Al giorno d'oggi il settore automotive è in crescita grazie a Paesi come Brasile, Russia, India e Cina e si stima che nel 2020 si raggiungerà quota 112 milioni di veicoli prodotti, facendo ben sperare per l'andamento del settore dell'illuminazione;
- Costi materie prime e disponibilità: ad avere maggior impatto sull'andamento del settore sono i costi di plastica (Policarbonato, Polypropylene nylon, plexiglass), e componenti elettronici;
- Costi R&D;
- Regolamentazione governativa: il settore dell'illuminazione per l'automotive è molto influenzato dalle normative sulla sicurezza stradale, basti pensare all'introduzione della day time running lamp, per cui la performance dei proiettori deve infatti cambiare a seconda delle condizioni ambientali come pioggia neve o nebbia, che oggi è obbligatoria in EU. Ad ogni normativa può corrispondere una rivoluzione in termini di prodotto e un aumento del costo di R&D.

Molto interessante è l'articolo di Dan Carney apparso sulla rivista online "Popular Mechanics" che mostra come la policy statunitense non permette la diffusione di nuove tecnologie all'interno del territorio: tra quelle citate troviamo gli abbaglianti dinamici e la luce stroboscopica del freno.

### 1.3 Inventory management

Secondo il Council of Supply Chain Management per inventory management si intende:

*" that part of supply chain management that plans, implements and controls the efficient, effective forward and reverse flow and storage of goods, services and related information*

*between the point of origin and point of consumption in order to meet customers' requirements”*

Quindi la parte del supply chain management che si occupa della gestione delle scorte dalla materia prima al prodotto finito e del flusso informativo ad esse connesso.

Le scorte sono tutti quegli item che sono in attesa di entrare nel processo produttivo o essere venduti. [6]

Arnold [6] propone due classificazioni delle scorte, una in base al flusso di materiali l'altra in base alla funzione.

Per quanto riguarda il flusso di materiali troviamo:

- Materie prime: prodotto ricevuto ma non ancora lavorato;
- Work in process: prodotto in fase di lavorazione oppure in attesa di lavorazione;
- Prodotto finito: prodotto che è pronto per essere venduto;
- Distribution inventories: prodotti finiti che si trovano nei punti di distribuzione;
- Maintenance, repair and operational supplies: tutti quei componenti che vengono usati nel processo produttivo ma non sono parte del prodotto, come ad esempio le spare parts.

Per la funzione, invece, la classificazione è la seguente:

- Scorte di anticipo: si riferisce alla creazione di scorte per fronteggiare una domanda futura, ad esempio per fronteggiare picchi di domanda oppure per ridurre i costi di set up;
- Scorte di sicurezza: servono per fronteggiare fluttuazioni della domanda o del lead time al fine di garantire un certo livello di servizio. Dallari [7] le definisce come un surplus di materiale tenuto a magazzino per coprire l'imprevedibilità statistica della domanda durante il lead time di fornitura

- Scorte di lot size: si hanno quando un item viene acquistato o prodotto in una quantità maggiore di quella necessaria, ad esempio a causa di sconti oppure a causa di contratti con il fornitori che invia solo una quantità prefissata;
- Scorte in transito: esistono a causa del trasporto da uno stadio all'altro della catena di fornitura;
- Scorte di hedging.

Automotive lighting classifica le scorte in base al flusso di materiali, che sono, quindi, divisi in: materiali diretti, semifinished in, semifinished out, prodotti finiti, trading goods, packaging.

La classe dei materiali diretti è composta da tutte le materie prime: un prodotto è classificato come semifinished in se è un semilavorato prodotto all'interno dell'azienda; entra, invece, nella classe dei semifinished out se è un semilavorato acquistato all'esterno; i trading goods sono prodotti che vengono solo commercializzati; ed infine vi è il packaging.

Il magazzino e le scorte hanno un ruolo essenziale nella supply chain in quanto queste fungono da buffer fra la domanda e l'offerta al fine di dare un livello di servizio adeguato al cliente e, inoltre, servono per mitigare il rischio di mancanza di materie prime e quindi blocco della produzione. Le scorte, essendo capitale immobilizzato, hanno un grande impatto sul bilancio aziendale andando a costituire in media una percentuale tra il 20 e il 60% degli asset aziendali [8], ed una volta che le scorte vengono ridotte ne traggono vantaggio sia il cash flow che il ROI. Bisogna trovare un livello obiettivo di scorte che consenta di evitare lo stock out e quindi di riuscire a rispondere in maniera flessibile alle variazioni della domanda, ma al tempo stesso sia il più piccolo possibile al fine di minimizzare i costi associati ad esso, tra i quali quelli di mantenimento, di ordine, di stock out di manodopera. Tra gli altri obiettivi Arnold cita anche il cercare di aumentare la produttività delle operations, consentendo il livellamento della produzione, permettendo il disaccoppiamento delle macchine, diminuendo i setup e acquistando in lotti più grandi.

### 1.3.1 Relazione tra inventory management e performance aziendale

Alcuni studi hanno evidenziato l'effetto dell' inventory management sulla performance aziendale. Koumanakos [9] ha effettuato una regressione lineare su un campione di 800 aziende greche appartenenti a tre settori diversi (chimico, tessile e alimentare) dalla quale nota che tra l' inventory turnover e la profittabilità c'è una correlazione negativa che è robusta solo nel caso del chimico.

Ahmad et al. [10] et al analizzano 48 imprese nel periodo che va dal 2010 al 2016, dai risultati si evince che il livello di scorte, scomposto anche nei diversi tipi, influenza la performance nel lungo periodo. La relazione tra inventory e performance è moderata dal costo del capitale

Elsayed et al. [11] studiano la relazione inventory - performance nei diversi cicli di vita del business: durante la fase di crescita e di maturità le due variabili sono negativamente correlate, durante la crescita la domanda è molto variabile e le quantità richieste basse, quindi tenere un livello di scorte alto sarebbe molto rischioso; invece, nel caso di maturità si cerca di mantenere basso il livello di scorte per migliorare la performance finanziaria e diminuire i costi, in questo stadio il rischio di stock out è meno grave che nella fase di crescita. Dallo studio emerge, inoltre, che nella fase di crescita rapida e di revival esse sono positivamente correlate: un'organizzazione in rapida crescita trae vantaggio da un alto livello di magazzino perché essa tende sempre a trasformare ogni prodotto in scorta in una vendita, in questa fase il costo di stock è molto elevato; nella fase di revival l'azienda punta sul livello di servizio per rilanciare le vendite.

Lieberman et al. [12] in uno studio sul settore automotive giapponese mostrano una correlazione negativa tra il livello dello scorte del WIP e l'aumento di produttività: circa il 10% di riduzione del magazzino porta un aumento del 1% della produttività.

Eroglu et al. [13] analizzano la relazione tra l'applicazione di metodi lean alle scorte e la performance aziendale su aziende manifatturiere statunitensi in un periodo che va dal 2003 al 2005. Dallo studio emerge che solo nel 67% dei settori analizzati è possibile trovare correlazione fra le due variabili: infatti non in tutti i settori l' inventory è un elemento che può determinare una performance superiore.

La relazione tra le due variabili analizzate, inoltre è a U: questo significa che esiste sempre una quantità ottima di magazzino e non bisogna tendere né allo zero scorte né ad un immagazzinamento eccessivo.

Capkur et al. [14] analizzano le aziende del settore del manufacturing statunitense tra il 1980 e il 2005, dal loro studio emerge che se la scorta per unità di vendita diminuisce la performance finanziaria è migliore. Nella regressione lineare i coefficienti relativi alla performance dei diversi tipi di inventory sono tutti positivi, ma hanno intensità diversa: il prodotto finito, ad esempio, ha il maggiore impatto sul risultato aziendale.

Vastag et al. [15] conducono una ricerca su 950 imprese indagando i rapporti che l'indice di inventory turnover ha con l'indice di performance del manufacturing e con la performance globale dell'azienda.

I risultati della prima regressione lineare, quella cioè tra inventory turnover e manufacturing index, mostrano una correlazione positiva: ciò significa che una performance positiva nella gestione delle scorte stimola l'implementazione di altre pratiche manageriali all'interno dell'azienda.

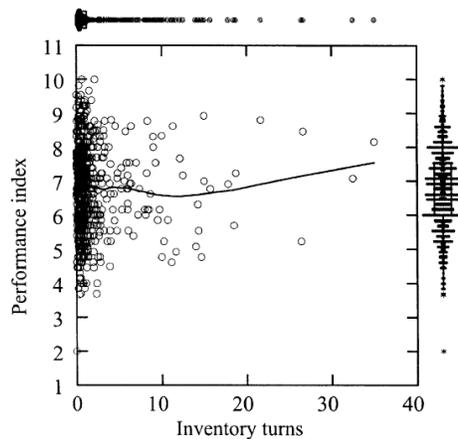


Fig. 4. The performance index vs. inventory turns per year.

*Figura 6: relazione tra indice di performance e inventory turnover [15]*

Per quanto riguarda l'impatto sulla performance globale questo è positivo ma meno determinante.

Ad una conclusione analoga arriva anche Cannon [16] studiando 272 aziende nel periodo tra il 1991 e il 2000: la relazione tra l'inventary turnover e i vari indici di performance è in generale non significativa; l'autore nota, inoltre, che per alcune aziende le relazioni tra alcuni indici di performance come il ROI e il miglioramento dell' inventory c'è una relazione negativa, per questo motivo tende a schierarsi verso un ruolo neutrale delle scorte nel creare un vantaggio competitivo.

Chen et al. [17] nella loro analisi del contesto americano tra gli anni 1980 e il 2000 notano che nel breve periodo non c'è una relazione significativa tra l'indicatore Tobin Q, definito come il valore dell'impresa nel mercato rapportato al suo valore contabile, e il valore del magazzino. Nel lungo periodo, però, si osserva che imprese con scorte più alte del normale hanno una performance minore.

Alcuni studi si occupano di trovare una relazione tra l' inventory management e la struttura proprietaria dell'impresa. Tra questi ricordiamo Elsayed [18] che esamina anche gli effetti che le diverse strutture proprietarie possono avere sulla gestione delle scorte, concentrandosi in particolare sulla proprietà istituzionale. Egli arriva alla conclusione che la proprietà istituzionale può avere un'influenza positiva o negativa sul livello delle scorte a seconda che ci sia dualità del CEO e a seconda della dimensione del consigli di amministrazione.

Gli ultimi trend sono quelli del famoso Jit ma il zero scorte non sempre è un bene: nell' inventory management per trovare il giusto livello bisogna fare un trade off tra i costi e il rischio shortage.

Altri, invece, hanno mostrato come un efficace inventory management possa ridurre fenomeni quali l'effetto bullwhip, cioè l'effetto di amplificazione delle scorte lungo la catena di fornitura descritto da Forrester; tra questi autori ricordiamo Dai et al che hanno proposto un modello per mitigare il fenomeno e Disney et al che parla dei benefici del VMI.

### 1.3.2 Kpi

Di seguito saranno presentati diversi indicatori che misurano la performance aziendale in termini di inventory.

Caplice et al. [19] dividono i Kpi per la valutazione dell'inventario in due categorie: misure statiche, che rappresentano il livello di scorta puntuale e misure dinamiche che invece tengono conto dell'evoluzione del flusso in un periodo.

Le misure statiche sono tutte quelle che si riferiscono ad una conta delle rimanenze in termini di volume, peso e valore finanziario, per esempio una misura statica è il valore in Euro delle rimanenze al 30 Maggio 2018. Questa categoria di indicatori secondo gli autori, non è né valida né utile dato che si riferisce ad un preciso istante temporale. Essa, inoltre, non è robusta in quanto, essendo un valore assoluto, non permette la comparazione tra diverse aziende o plant.

Le metriche dinamiche sono molto più robuste delle statiche, nel loro utilizzo bisogna individuare il giusto trade off tra l'integrazione e l'utilità: più un indicatore è integrativo, cioè tiene conto di diverse attività al fine di migliorare il coordinamento, meno sarà utile, cioè darà meno informazioni al management.

Tra le diverse metriche dinamiche gli autori presentano:

- Days on sales ( DOS): indice finanziario che mette in relazione il valore delle scorte con il valore del venduto. Un incremento dell'indice rappresenta un accumularsi di scorte all'interno dell'azienda oppure una diminuzione del fatturato

$$\frac{\text{valore delle scorte} \cdot \text{numero giorni nel periodo}}{\text{fatturato nel periodo}} \quad [\text{giorni}]$$

- Inventory turnover: indica quante volte l' inventory è stato rimpiazzato nel periodo considerato. Un aumento dell' inventory turnover segnala che le scorte vengono consumate molto più velocemente e che, quindi, avremo un livello di magazzino più basso

$$\frac{\text{fatturato nel periodo}}{\text{inventory medio nel periodo}}$$

Tra gli altri indici presentati in letteratura troviamo;

- Days of supply: indicatore logistico che esprime il numero di giorni oltre il quale non avrò più scorta, solitamente viene riferito ai singoli materiali [6].

$$\frac{\text{scorte}}{\text{consumo giornaliero}} \text{ [giorni]}$$

Nel caso di Automotive Lighting il valore obiettivo di copertura per singolo item dipende da vari fattori: scorta di sicurezza, lotto di acquisto, scorta operativa, numero setup.

## 2 Fattori critici

In questo capitolo si presenteranno in primis le variabili che, secondo la letteratura scientifica esistente, influenzano il livello di inventory di un'azienda, in secundis si presenteranno le variabili scelte per l'analisi del caso Automotive Lighting.

### 2.1 Literature review

Il livello di inventory, come detto nel capitolo precedente, influenza la performance aziendale dato che è strumento fondamentale per la soddisfazione delle richieste dei clienti e un elemento di costo non indifferente.

In letteratura sono presenti diversi articoli che studiano la relazione tra il livello di scorte e alcune variabili aziendali e di contesto. Questi studi consentono di spiegare le differenze di performance tra le diverse imprese e di individuare le leve che consentono di raggiungere i target.

Cachon et al. [20] ricercano i driver per il livello di inventory dei prodotti finiti all'interno del settore automotive Usa negli anni tra il 1996 e il 2004. Gli autori identificano 4 grandi macro categorie di fattori:

1. Frammentazione della domanda: tutti quei fattori che fanno riferimento all'allocazione della domanda tra i diversi prodotti, settori geografici e caratteristiche del prodotto. Per descrivere queste categoria vengono prese in considerazione la media delle vendite, il numero di opzioni per prodotto e il numero dei dealer;
2. Caratteristiche delle vendite: vengono prese in considerazione la stagionalità e il trend delle vendite;
3. Caratteristiche della produzione: fanno riferimento a caratteristiche quali scheduling, flessibilità e lotti di produzione. La flessibilità sarà misurata dalla differenza fra la quantità prodotta e le vendite normalizzata sui volumi di vendita, sono prese in considerazione come variabili anche il numero di piattaforme prodotte per modello e la saturazione dell'impianto;

4. Competizione all'interno del settore: gli autori fanno notare che una maggiore competizione da un lato ha un effetto di positivo sull' inventory dovuta al basso margine del prodotto, dall'altro ha un effetto negativo in quanto, dato che il consumatore ha una maggiore scelta, deve essere sempre presente prodotto in magazzino. Questa categoria viene descritta dal numero di modelli presenti sul mercato.

Gli autori, utilizzando una regressione che ha come variabile dipendente i days on supply, arrivano alla conclusione che il numero di dealer ha una correlazione positiva e il maggior impatto economico sull'indicatore. La flessibilità ha una forte correlazione con l'indicatore di performance: infatti produzioni più flessibili generano un minore livello di stock, anche grazie al fatto che tenderanno ad aver meno safety. Per quanto riguarda gli altri risultati abbiamo che il numero di opzioni ha una correlazione positiva, la saturazione ha una relazione positiva e che la competizione più alta induce le imprese a tenere più scorte.

Demeter et al. [21] studiano i driver nel settore dell'assemblaggio andando anche essi a classificarli in 4 categorie: fattori di mercato, che dipendono dal contesto esterno, fattori operativi, caratteristiche delle supply chain quali posizione, livello di information sharing e strategia di business. Essi concludono che le caratteristiche della produzione incidono in maniera importante sulla determinazione del livello di inventory e che l'information sharing può contribuire alla diminuzione del capitale immobilizzato.

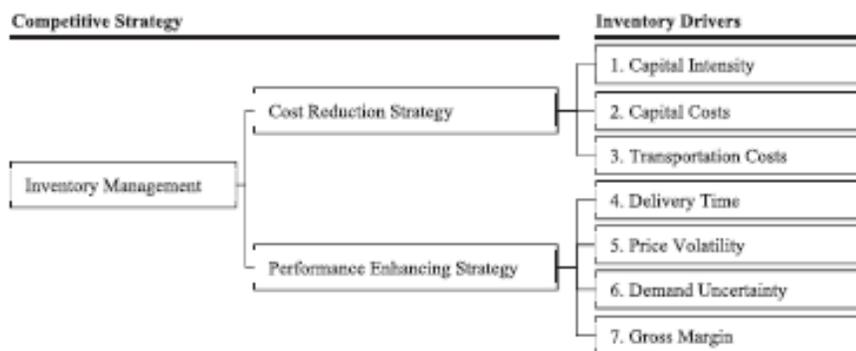
Gaur et al [22], studiando il settore del retail americano negli anni tra il 1985 e il 2000, hanno evidenziato il legame tra l' inventory e fattori quali il margine di contribuzione, il valore atteso delle vendite, il livello di tecnologia e l'intensità di capitale.

Per quanto riguarda il margine, gli autori trovano che esso ha una correlazione negativa con l' inventory turnover: più è alto il margine più sarà basso il target di inventory, questo perché si andrebbe ad immobilizzare un capitale maggiore. Essi, inoltre, fanno notare che imprese a più alta intensità di capitale avranno un inventory turnover più alto a causa di una diversa distribuzione delle scorte di sicurezza, anche gli investimenti in IT e un alto indice delle vendite portano benefici.

Lee et al. [23] propongono l'innovazione, di processo e di prodotto, come fattore che può influenzare l' inventory turnover: essi affermano che l'innovazione di processo può portare ad una riduzione duratura mentre l'effetto benefico dell'innovazione di prodotto stimola le vendite ed aumenta l'indice in analisi solo nel breve periodo.

Matsebatlela et. al [24] analizzano i dati relativi alle scorte di componenti materie prime di un'impresa del Sud Africa per riuscire a sviluppare un framework per la gestione del magazzino. Essi individuano tra le cause dell'alto livello di stock dell'azienda la mancanza di dati accurati relativi allo stock, la mancanza di un processo integrato per la gestione dell' inventory e il lot sizing.

Moser et al. [25] studiano l'impatto di sette diversi driver sull' inventory, basandosi sui dati appartenenti ad organizzazione di otto settori diversi. I fattori individuati appartengono a due diverse strategie quella di cost leadership e quella di basata sulla performance(fig.5)



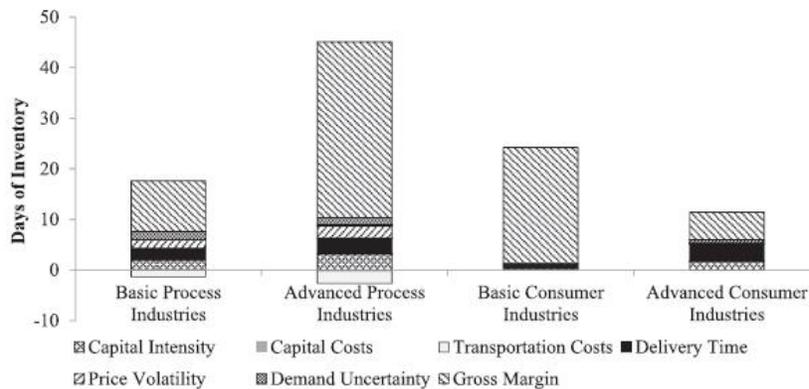
*Figura 7: inventory driver secondo Moser et al*

Essi formulano le seguenti sette ipotesi:

1. Le imprese ad alta intensità di capitale hanno un livello di inventory più alto: per ritornare dell'investimento iniziale esse tenderanno a massimizzare l'utilizzazione dei macchinari e a produrre, quindi, lotti più alti da immagazzinare;

2. Le imprese con costo del capitale più alto hanno un livello inferiore di magazzino: il costo del capitale, infatti, incide direttamente sul costo del magazzino;
3. La relazione tra il costo del trasporto e l' inventory è ad U, in quanto essa cambia con il modus operandi della supply chain. Se l'impresa ha una strategia di costo allora la relazione tra costi di trasporto e livello di scorte è positiva, viceversa è negativa se il prodotto è innovativo;
4. Imprese che hanno un tempo di consegna del prodotto al cliente più basso hanno maggiori scorte;
5. Imprese con prezzo più volatile hanno stock maggiore;
6. Più la domanda è incerta più il livello di magazzino è maggiore a causa del maggior livello di safety da tenere;
7. Più il margine è alto più l'impresa è stimolata a detenere scorte all'interno: il costo della mancata vendita è più alto del costo di magazzino.

L'analisi statistica conferma le ipotesi, ma mostra che la grandezza degli effetti dei diversi driver dipende dal settore in cui le imprese operano (fig.8 ), ad esempio i driver relativi alle strategie di costo impattano molto sulle le industrie di processo mentre le industrie di consumo sono fortemente influenzate dal margine.



*Figura 8: Moser et al-impatti dei driver sui DOS*

De Leeuw [26] individua come driver l'incertezza della domanda, la grandezza dei lotti di produzione, il lead time, la stagionalità, il livello di servizio, il mix e la grandezza dell'azienda. Nel suo lavoro evidenzia, inoltre, come un determinato sistema di incentivi ai dealer possa influenzare il livello di inventory.

Lieberman et al. [27] propongono come fattori determinanti i set up, i costi di mantenimento, il lead time di produzione, la comunicazione con il cliente. L'analisi viene condotta su aziende fornitori del settore automotive del Nord America: gli autori si aspettavano che, dopo la diffusione della filosofia Toyota, anche l'appartenere o meno ad un'azienda giapponese facesse differenza in termini di inventory, ma la loro ipotesi viene rigettata dai dati.

Chen et al. [17] analizzano il rapporto che la variabile ha con dei fattori macroeconomici: la crescita del PIL, il tasso di interesse, l'inflazione e l'indice PMI (Purchasing Manager Index) che rappresenta le opinioni dei manager sul futuro del mercato. Essi trovano che la relazione con tasso di interesse e grado di crescita del Pil non è robusta, mentre vi è una correlazione positiva (negativa) tra inflazione e valore delle scorte di materie prime (prodotti finiti) e una correlazione positiva tra PMI e valore del prodotto finito.

Uno studio analogo a quello di Chen viene condotto da Sarag [28] et al in India: essi cercano di analizzare l'andamento dei livelli di magazzino nelle aziende automotive indiane dopo la liberalizzazione, per far ciò i giorni di inventory vengono espressi in funzioni di variabili macroeconomiche quali Pil, tasso di interesse e variabili microeconomiche quali debiti dell'azienda, crediti, grado di import ed export.

## 2.2 Fattori critici nel caso Automotive Lighting

Nel seguente paragrafo e nel prossimo sono presentate le variabili scelte nel caso oggetto di Automotive lighting:

- Distanza fornitori;
- Concentrazione dei fornitori;
- Quota di fornitori in consignment stock;

- Inventory accuracy;
- Concentrazione dei clienti;
- Accuratezza domanda e fiducia nella fornitura;
- Product variety.

Sono state scelte questi driver in base all'osservazione empirica dell'andamento dello stock dei plant e alle differenze esistenti tra loro in termini di struttura, alla letteratura scientifica che si occupa di individuare le cause che determinano diversi livelli di magazzino e gli impatti che queste hanno sugli indici.

### 2.2.1 Distanza fornitori

La distanza con i fornitori può incidere sul livello delle scorte all'interno dell'azienda in particolare si ipotizza che questa sia positivamente correlata con il livello di inventory.

Sapendo che la distanza con il fornitore influenza il livello di scorte, si può ipotizzare che la quota di fornitori entro una certa distanza dal plant è negativamente correlata con il livello di scorte: se il parco fornitori è composto da supplier localizzati vicino al plant allora il livello di scorte è minore.

Dall'analisi delle differenze tra i 21 plant di AL si è notato che i plant con una percentuale maggiore di fornitori locali hanno un valore delle scorte minore e questo può essere dovuto a diversi fattori:

1. Minore è la distanza del fornitore minore è il lead time di consegna: questo provoca una riduzione delle scorte di sicurezza e di trasporto, minore variabilità e possibilità di milk run;
2. Flessibilità nel gestire le urgenze e possibilità di avere una frequenza di spedizioni minore;
3. Più sono vicini i fornitori più è facile lavorare per ottenere una consegna just in time;
4. Le scorte in transito dipendono dalla distanza con il fornitore: esse diventano di AL appena lasciano il fornitore. I plant il cui parco fornitori è costituito principalmente da overseas hanno un livello di DOS di transito più alto;

5. L'ordine ai fornitori di elettronica viene effettuato congelando quattro mesi rolling più il lead time: risulta evidente che i plant più lontani dai fornitori sono svantaggiati.

Questa ipotesi è supportata da elementi presenti nella letteratura scientifica proposta di seguito.

Gulyani [29], analizzando il caso della supply chain indiano di Maruti, afferma che maggiore è la distanza dei fornitori dai plant maggiore è il livello di inventory a causa del valore di transito e delle maggiori scorte di sicurezza che l'azienda deve mantenere. Una struttura locale di supplier consente il JIT e una maggiore frequenza di consegna il che abbasserebbe il livello di stock.

Nella filosofia JIT si consiglia sempre di avere una prossimità geografica con i propri fornitori, questo consente di avere benefici a tutti i livelli della supply chain: dall'aumento della competitività del fornitore alla riduzione dello stock del cliente, miglioramento della qualità e della produttività [30].

Fin dagli anni 90, nel settore automotive, si è delineata una tendenza a creare i cosiddetti "supplier park", cioè a creare dei distretti industriali per far in modo che i supplier di primo grado siano più vicini possibili all'OEM per consentire consegne più frequenti e con lotti più piccoli, sviluppo di tecniche Jit e Jis, riduzione della probabilità di danneggiamento del prodotto fornito a causa del trasporto. Coleman afferma che nel settore automotive la costruzione di supplier park contenenti, oltre a fornitori first tier, anche i second tier consente di ottenere buoni risultati in termini di inventory, riduzione dell'effetto bullwhip, implementazione del JIS.

### 2.2.2 Concentrazione dei fornitori

La concentrazione dei fornitori incide sul potere contrattuale dell'azienda. All'aumentare del numero dei fornitori diminuisce il potere contrattuale degli stessi, spostando l'ago della bilancia verso l'azienda cliente: ciò può determinare condizioni migliori di fornitura in termini di frequenza di consegna, lotto minimo di consegna ed altri elementi che vanno ad incidere sulla quantità stoccata. Possedere un alto numero di fornitori di un determinato

prodotto permette anche di avere la meglio durante le situazioni di shortage, in quanto il razionamento avviene per quota di acquisti passati.

La relazione fra livello di inventory e la concentrazione dei fornitori è stata studiata da Casalin et al. [31] considerando il caso dell'industria manifatturiera cinese e prendendo come campione 561 aziende appartenenti ad esso.

Gli autori eseguono due regressioni moltiplicative sui dati: una ha come variabile dipendente il valore assoluto dell'inventario, l'altra il suo valore relativo cioè il rapporto tra il valore assoluto e il costo del venduto. L'indice di concentrazione dei fornitori per ognuna delle 561 aziende viene calcolato considerando i cinque maggiori fornitori ed è pari al rapporto tra totale degli acquisti fatti presso questi fornitori rispetto al totale degli acquisti. Dall'analisi dei risultati si può notare che gli autori trovano una relazione negativa tra le due variabili, ovvero che all'aumentare della densità dei fornitori diminuisce il livello di inventory. Questo risultato è stato confermato anche da Cai et al. che lo giustificano affermando che una maggiore concentrazione dei fornitori permette di avere un coordinamento maggiore e di instaurare un rapporto più collaborativo con il fornitore.

### 2.2.3 Consignment stock

Il consignment stock è una tecnica di fornitura che si basa su una forte collaborazione tra fornitore e cliente: la merce è fisicamente nel magazzino del cliente, ma rimane di proprietà del fornitore fino al momento del prelievo.

Valentini et al. [32] evidenziano i principali vantaggi dell'adottare questo tipo di fornitura:

1. Il cliente ha sempre disponibilità di materie prime: secondo l'accordo il fornitore si impegna sempre a garantire il rifornimento del prodotto, molto spesso seguendo una politica (S,s);
2. Il cliente sostiene il costo solo nel momento del prelievo in base al suo consumo effettivo e questo permette di avere un livello di inventory minore;
3. Il fornitore non sostiene i costi di stoccaggio.

Battini et al. [33] affermano che lo scegliere il consignment stock rispetto alla tradizionale formula dell'EOQ porta un risparmio che va dal 25 al 35% dei costi di gestione.

Uno dei vantaggi di questa strategia è quello di azzerare il Lead time, la merce è sempre a disposizione quindi questo permette il prelievo JIT, nella pratica non sempre è così: gli accordi con il fornitori alcune volte possono prevedere un lotto minimo di prelievo superiore alla necessità giornaliera e non sempre è possibile dividere il pallet in unità di carico secondarie.

Come sostenuto in letteratura il consignment stock è un metodo che permette la riduzione del livello di magazzino in un'azienda. In questo lavoro si è scelto di inserirlo tra le variabili di input in quanto si vuole studiare l'impatto che una variazione nel numero di fornitori che operano in consignment stock può avere sull'inventario dei plant di Automotive lighting.

Si è infatti osservato che i plant che hanno una maggiore quota di consignment riesco ad essere più efficienti e a diminuire il rapporto tra valore dello stock e fatturato.

#### 2.2.4 Inventory accuracy

L'inventory accuracy è il complemento ad uno dell'inventory inaccuracy.

L'inventory inaccuracy si verifica quando esiste un disallineamento tra l'ammontare di stock presente nel sistema e quello fisico.

Questa situazione può influire sia positivamente che negativamente sul livello di stock, ma quello che è certo è che è una situazione che va evitata in quanto gli effetti possono essere molti gravi: ad esempio può essere causa di situazioni di shortage con conseguente blocco della produzione.

L'impatto che la non correttezza dei dati può provocare sul livello di scorte e sulla performance dell'impresa è stato oggetto di studio negli ultimi anni.

Sahin et al. [34] si occupano di quantificare l'impatto economico che gli errori nella registrazione degli item possono portare all'azienda, lo studio è applicato ad una supply chain a tre stadi. Se un'azienda non corregge l'errore, tenderà a riordinare nonostante la presenza

del determinato prodotto e quindi sosterrà un nuovo costo per l'ordine. L'aumento percentuale dei costi varia in base alla variabilità degli errori presenti nel sistema.

Lindau et al. [35] affermano che i sistemi per la cattura automatica dei dati permettono di mappare l'intero processo e indirettamente agiscono su misure quantitative quali inventory, produttività e servizio al cliente.

Fleisch et al. [36] dimostrano, tramite una simulazione di un sistema retail, che una maggiore accuratezza dei dati inseriti permette di diminuire lo stock out.

### 2.2.5 Product variety

Una variabile che può influire sul livello di stock è il numero di codici trattati dal plant, cioè il cosiddetto mix.

Dall'osservazione empirica dei plant di Automotive lighting risulta che i plant con più prodotti finiti abbiano in media un livello di stock più basso. Quando un plant ha pochi prodotti finiti tende ad avere lotti di produzione più ampi: questo accade sia per saturare la capacità dell'impianto sia per motivi sindacali relativi al rapporto operaio-azienda. Un mix più alto consente di riuscire a smistare meglio le materie prime in fase di calo della domanda.

Il gran numero di prodotti finiti può, però, provocare problemi in fase di pre-produzione. La saturazione delle presse diventa un elemento cruciale nella costruzione della scorta del semilavorato: quando i setup disponibili a turno sono molto bassi si tende ad avere lotti di produzione più ampi e ad accantonarli in magazzino.

Cachon et al. [20] nella loro analisi sullo stock del finish good nel settore automotive parlano di un'influenza negativa del numero di configurazioni disponibili per ogni modello sull'andamento delle scorte.

De Groote et al. [37] tramite una simulazione di un sistema produttore-distributore, dimostrano che, sotto l'ipotesi stringente di domanda costante, il costo dell'inventory aumenta con il numero di prodotti fornito a causa di una perdita in economie di scala.

Wan et al. [38] tramite l'utilizzo di una regressione lineare dimostrano che aumentando il numero dei prodotti aumenta il livello di inventory a causa di una maggiore complessità dovuta al maggior numero di SKU, maggiore safety , livelli di riordini e problemi legati al lot size.

Rajogopalan et al. [39] affermano che, se un'impresa sfrutta la capacità in eccesso per aumentare i setup, possono eliminare l'aumento di inventory dovuto al maggior numero di item.

### 2.2.6 Concentrazione dei clienti

Per la concentrazione dei clienti può essere fatto un discorso analogo a quello della concentrazione dei fornitori.

Esistono due teorie che legano la densità dei clienti al livello inventory e, più in generale, alla performance dell'impresa.

Se si considera il potere contrattuale si avrà che una maggiore concentrazione dei fornitori inciderà negativamente sulla performance aziendale: guardando al livello di stock di prodotto finito si può osservare che un cliente con un potere contrattuale molto forte può dare condizioni molto restrittive in termini di consignment stock, scorta di sicurezza da mantenere, frequenza di consegna. Il potere contrattuale può, inoltre, incidere anche sul preavviso di cancellazione di ordini e sulla fluttuazione ammessa.

Secondo la visione dell'operation management, invece, la costruzione di rapporti di collaborazione con il cliente può portare ad un'efficienza nella gestione dell' inventory basti pensare a pratiche quali VMI e CPFR.

Casalin et al. [31] rigettano l'ipotesi di relazione negativa tra densità dei clienti e livelli di inventory: dalla loro analisi, infatti, emerge che un incremento dell'1% della densità dei clienti porta ad un aumento dello 0.08% del valore assoluto dell' inventory e dello 0.18% nel caso di valore relativo.

Ak et al. [40], invece, analizzando i dati di 15084 aziende dell'industria manifatturiera statunitense dal 1977 al 2006 coprendo circa 20 diversi settori, osserva una relazione negativa

tra le due variabili: se aumento di una deviazione standard la concentrazione, l'indicatore delle scorte diminuisce del 7.03%.

Patatoukas [41] analizzando un campione di 47396 aziende ottiene come risultato che l'indice di concentrazione è legato positivamente all'inventary turnover e negativamente al rapporto tra l'inventary e il totale degli asset: se aumento di una deviazione standard la concentrazione del cliente ottengo una crescita del 13% dell'indice di rotazione dell'inventary e un decremento del 5% del rapporto inventory -asset.

### **2.2.7 Accuratezza domanda e rischio fornitura**

Dallo studio condotto in azienda è stato possibile notare che il livello di stock tendeva ad aumentare a seguito di periodi di shock nel sistema di fornitura. Solitamente, durante i periodi di crisi dovuti ad un'inefficace fornitura, c'è la tendenza ad aumentare il proprio safety stock, sia a livello di materie prime che a livello di prodotti finiti. Questo effetto non rimane circoscritto nell'area interessata ma si espande in tutto il network aziendale.

Il legame tra il livello di magazzino e il rischio di mancata fornitura è stato già evidenziato da [7] che l'inaffidabilità logistica delle consegne del fornitore è direttamente proporzionale al battente di safety stock da tenere.

L'accuratezza della domanda può essere considerata un'altra variabile che influenza il livello dello stock. Quando la domanda è costante il livello di stock è facilmente controllabile e tende allo zero: in un sistema di tipo pull puro, dove non c'è previsione della domanda in quanto tutto il processo si innesca quando arriva l'ordine, non c'è la necessità di detenere scorta. Quando nel sistema si inserisce la variabilità nella domanda inizia ad emergere la necessità di immagazzinare item e il problema dell'accuratezza della stima della domanda futura. Una previsione poco accurata incide sia in maniera positiva che negativa sull'inventary: una sbagliata previsione dei volumi di acquisto può provocare shortage sui componenti, una sottostima della domanda cliente provoca del backlog nel migliore dei casi o un fermo linea del cliente nel peggiore, infine una sovrastima della domanda porta ad un aumento dei volumi stoccati.

L'errore nella previsione incide in special modo sul livello di safety stock, secondo Persona et al. [42] uno dei filoni su questo argomento presenti in letteratura si occupa dello studio dell'andamento delle scorte al variare delle scorte, affermando che i due sono proporzionali.

Dallari et al. [7] fanno notare che tanto maggiore è l'incapacità di fornire una stima accurata della domanda tanto maggiore sarà la penalità da pagare in termini di accumulo di scorte di sicurezza, quindi tanto maggiore sarà la parte fissa del magazzino.

## 3 Metodologia

Lo scopo dell'analisi è quello di definire un modello che metta in relazione i driver scelti con gli indicatori della performance dell'inVENTORY management.

Si vuole cogliere l'impatto che la variazione di una delle variabili può avere sullo stock in modo da comprendere quale grado di priorità dare ai fattori, in modo che il livello di scorta sia il più vicino possibile al target scelto. Il modello può anche essere utilizzato per la determinazione dei target stessi affinché siano più consoni alla struttura del plant.

### 3.1 Introduzione all'analisi di regressione

Molto spesso nel campo aziendale bisogna capire se una modifica di un certo parametro possa andare ad influenzarne un altro: se io anticipo di un giorno la consegna di un materiale questo impatta sulla performance aziendale? Il tipo di contratto di lavoro può impattare il mio livello di giacenza?

L'analisi di regressione lineare è uno strumento che permette l'individuazione delle relazioni tra due o più variabili.

Una regressione lineare semplice cerca di determinare l'esistenza di una relazione tra una variabile dipendente  $Y$  e una variabile indipendente  $X$  e di quantificare l'impatto che una variazione di  $X$  può avere su  $Y$ .

Nella regressione lineare semplice si ipotizza che la relazione tra le due variabili sia del tipo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

la nuvola dei punti nello spazio  $XY$  è quindi approssimabile da una retta con intercetta  $\beta_0$  e pendenza  $\beta_1$ , che consideri un certo errore  $\varepsilon$  e rappresenti la distanza tra la retta di approssimazione e i punti reali assunti dalla variabile  $Y$ .

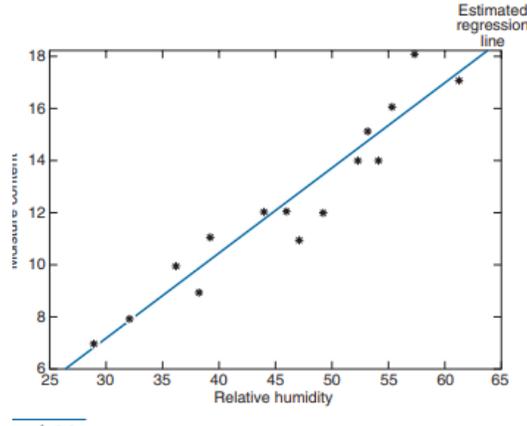


Figura 9: esempio di retta di regressione

Esistono diversi metodi per stimare i coefficienti  $\beta_i$  della retta: uno di questi è il metodo dei minimi quadrati che, sotto alcune ipotesi, ottiene degli stimatori dei  $\beta_i$  minimizzando la somma degli errori quadratici. In altre parole, gli stimatori ai minimi quadrati di  $\beta_0$  e  $\beta_1$  sono quei valori A e B che minimizzano l'espressione:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - AX_i - B)^2 \quad (2)$$

In alcune analisi, come quella presente in questo lavoro, occorre capire la relazione tra la variabile Y e più variabili X di input: in questo caso si parla di regressione lineare multipla.

La regressione lineare multipla è un'estensione della regressione semplice in cui si va a cercare una relazione statistica simultanea tra una variabile Y e almeno due variabili di input  $X_k \quad k = 1, \dots, n$ . Il modello generale è il seguente

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (3)$$

La (3), inoltre, considerando le m osservazioni può essere scritta come:

$$Y_i = \beta_{0,i} X_{0,i} + \beta_{1,i} X_{1,i} + \beta_{2,i} X_{2,i} + \dots + \beta_{n,i} X_{n,i} \quad \text{con } X_{0,i} = 1, i = 1, \dots, m \quad (4)$$

Dietro la specificazione del modello ci sono quattro ipotesi: [43]

1. Linearità: il valore atteso di Y è una funzione lineare delle variabili  $X_i$ ;

2. Indipendenza : gli errori sono indipendenti tra loro;
3. Omoschedasticità : la varianza della distribuzione degli errori deve essere costante per ogni valore delle variabili di input. In altri termini:

$$Var(\varepsilon_i|X_i = x) = k \text{ per ogni } i = 1, \dots, n$$

4. Normalità: gli errori sono distribuiti come normali.

Analogamente alla regressione semplice bisogna concentrare l'attenzione sui coefficienti  $\beta_i$ , detti regressori e sull'errore:

- $\beta_0$  è l'intercetta della funzione di regressione e rappresenta la media di Y quando tutte le variabili X sono poste uguali a 0. Essa può essere pensata come il coefficiente di una variabile di input  $X_0$  che è uguale ad 1 per ogni osservazione di Y;
- I coefficienti  $\beta_i$  hanno un'interpretazione diversa rispetto al caso di regressione semplice: essi rappresentano l'ammontare della variazione di Y a seguito di un aumento di un'unità della  $X_i$  corrispondente, mantenendo tutte le altre variabili di input costanti. Prendiamo come esempio una regressione con due variabili di input, la funzione di regressione della popolazione sarà del tipo:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (5)$$

In questo caso  $\beta_1$  rappresenta la magnitudine del cambiamento della media di Y quando  $X_1$  aumenta di un'unità mantenendo  $X_2$  costante;

- $\varepsilon$  è l'errore, o residuo, della regressione, come detto in precedenza per la regressione semplice esso rappresenta la distanza fra il valore assunto e quello teorico. Si assume che il residuo sia distribuito come una normale con valore atteso pari a 0 e varianza  $\sigma^2$ :  $\varepsilon \sim N(0; \sigma^2)$ , inoltre gli errori standard a livello di singola osservazione  $\varepsilon_i$  devono essere tutti identicamente e indipendentemente distribuiti come una normale  $N(0; \sigma^2)$ .

Il metodo dei minimi quadrati può essere usato per determinare i coefficienti  $\beta_0, \dots, \beta_n$  a partire dagli stimatori  $b_0, \dots, b_n$ . [44]

Sia  $\hat{Y}$  il valore calcolato a partire dagli stimatori  $b_i$  allora l'errore quadratico sarà:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^m \left( Y_i - (b_{0,i} + b_1 X_{1,i} + \dots + b_n X_{n,i}) \right)^2 \quad (6)$$

Gli stimatori  $b_0, \dots, b_n$  sono detti stimatori dei minimi quadrati ordinari se minimizzano la funzione (6), cioè se:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varepsilon}{\partial b_0} = 0 \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial b_1} = 0 \\ \dots \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial b_n} = 0 \end{cases}$$

Il metodo dei minimi quadrati ordinari si basa su quattro condizioni:

1. La distribuzione condizionata dell'errore date le variabili di input ha media nulla cioè:

$$E(\varepsilon | X_{1,i} \dots X_{1,m}) = 0$$

2. Le osservazioni sono  $X_{1,i} \dots X_{1,m}; Y_i$  indipendentemente ed identicamente distribuite;
3.  $X_{1,i} \dots X_{1,m}; \varepsilon$  hanno momenti quarti finiti;
4. Non vi è collinearità perfetta. Si definisce collinearità perfetta la situazione in cui uno dei regressori è combinazione lineare degli altri.

Dopo aver stimato il valore dei coefficienti, bisogna procedere alla verifica delle ipotesi, singole e congiunte, e alla costruzione dell'intervallo di confidenza.

Per quanto riguarda il test sul singolo regressore si vuole testare l'ipotesi  $H_0: \beta_k = 0$  o più in generale  $H_0: \beta_k = \beta_{i,0}$ . Dopo aver scelto il livello di significatività si procede al calcolo dell'errore standard del regressore, della statistica t e del p value.

L'errore standard associato al regressore dipende dall'errore quadratico medio e sarà pari alla somma dei residui al quadrato corretti per i gradi di libertà

$$SE(b_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)}{m-n}} \quad (7)$$

dove  $\hat{Y}_i$  è il valore stimato a partire dai  $b_0, \dots, b_n$

Dopo aver calcolato l'errore, data l'ipotesi di normalità sui coefficienti  $\beta$ , è possibile calcolare la statistica  $t$  di Student:

$$t = \frac{\beta_k - \beta_{i,0}}{SE(b_j)} \quad (8)$$

Per decidere se accettare o meno l'ipotesi  $H_0$  bisogna calcolare il  $p$ -value:

$$p \text{ value} = 2\phi(-t) \quad (9)$$

L'ipotesi è rifiutata se il  $p$  value è minore del livello di significatività.

Conoscendo SE, il valore della statistica  $t$  e il livello di significatività  $\alpha$  è inoltre possibile costruire l'intervallo di confidenza bilaterale, pari a :

$$\beta_k \pm t_{(1-\frac{\alpha}{2}; n-m)} SE(b_k) \quad (10)$$

Esso corrisponde ad un intervallo che, con un livello di significatività  $\alpha$ , contiene il valore reale del coefficiente  $\beta_k$ .

Nella regressione multipla si effettua anche la verifica di ipotesi congiunte, ovvero un'ipotesi che impone due o più condizioni sui coefficienti.

Si avranno quindi  $n+1$  ipotesi  $H_0$  del tipo:

$$\beta_0 = 0; \dots; \beta_n = 0 \quad (11)$$

E un'ipotesi alternativa  $H_1$  per cui almeno una delle  $n+1$  restrizioni non è valida:

$$\beta_k \neq 0 \text{ per almeno un } k, \text{ con } k = 0, \dots, n$$

Per verificare le ipotesi congiunte sui coefficienti di regressione si usa la statistica  $F$  che tiene conto della correlazione esistente tra le diverse statistiche  $t$ .

Per la descrizione della statistica  $F$  si fa riferimento alla notazione vettoriale.

L'ipotesi nulla congiunta sulle  $n+1$  restrizioni può essere scritta in forma matriciale considerando una matrice  $R$  con rango di riga pieno non casuale con dimensione  $n \times (n+1)$  e un vettore  $r$  di dimensione  $r \times 1$  [44] :

$$R\beta = r \quad (12)$$

La statistica  $F$  allora si può scrivere come:

$$F = (R\hat{\beta} - r)' [R\hat{\Sigma}_{\hat{\beta}}R']^{-1} (R\hat{\beta} - r) / (n + 1) \quad (13)$$

Dove  $\hat{\Sigma}_{\hat{\beta}}$  è lo stimatore della matrice di covarianza

Per grandi campioni la statistica  $F$  si distribuisce come una  $F_{q;\infty}$  i cui valori, dato il livello di significatività  $\alpha$ , sono ricavabili dalle tavole.

L'utilizzo della statistica  $F$  è dovuta all'inesattezza risultante dalla verifica dell'ipotesi congiunta: il test sui singoli coefficienti, infatti, rifiuta l'ipotesi nulla con una probabilità maggiore di quella dichiarata nel livello di significatività, si dice, cioè, che essa ha un livello minimo errato.

Come nel caso di verifica sui coefficienti singoli è possibile calcolare il  $p$  value anche in questa analisi, avvalendosi dell'approssimazione alla chi quadrato. Esso sarà pari a :

$$\Pr( F_{q;\infty} > F)$$

Esistono altre statistiche descrittive utilizzate nella regressione multipla, tra queste citiamo: [44]

- SER: misura della dispersione di  $Y$  attorno alla retta di regressione, non è niente altro che la stima della deviazione standard dell'errore

$$s_u = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^m u_i^2 \quad (14)$$

- $R^2$ : frazione della varianza campionaria di  $Y$  spiegata dai regressori

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^m (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (15)$$

Più quest' indice è prossimo a 1 migliore è la stima, bisogna, però, prestare attenzione nel suo perché esso aumenta ogni qualvolta si inserisce un nuovo regressore , andando così a sovrastimare la bontà della regressione.

- $R^2$  corretto: questo indice nasce per ridurre l'effetto di sovrastima dell'indicatore  $R^2$ , andando ad effettuare una correzione sui gradi di libertà. Avremo quindi che

$$R^2 \text{ corretto} = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} \frac{SSR}{TSS} = 1 - \frac{s_u^2}{s_Y^2} \quad (16)$$

Per avere una buona regressione, come nel caso precedente,  $R^2$  corretto deve essere vicino all'unità, inoltre vale la relazione  $R^2 \text{ corretto} < R^2$

Prima della regressione lineare saranno svolti dei test per verificare la presenza di collinearità. Le due analisi saranno brevemente trattate di seguito.

L'analisi di normalità ha come obiettivo quello di capire se i dati del campione sono distribuiti secondo una normale. Prima verifica da effettuare è quella sulla normalità delle osservazioni della variabile Y: l'ipotesi di normalità è, infatti, alla base dell'utilizzo dei test parametrici.

Solitamente per verificare le ipotesi di normalità vengono effettuati i test di bontà dell'adattamento, i più diffusi sono il test del Chi quadro, quello di Kolmogorov Smirnov, e quello di Anderson Darling.

Nel test chi quadro, le osservazioni vengono suddivise in classi predeterminate: dopo questa operazione viene calcolata la frequenza empirica dei dati confrontandola con quella teorica di una normale.

Si va, quindi, a costruire la variabile chi quadro pari a:

$$\sum_{i=1}^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \chi^2 \quad (17)$$

Scelto il livello di significatività  $\alpha$  si accetta l'ipotesi di normalità se  $\chi^2 < \chi^2_{n-1, \alpha}$

Il test chi quadro per essere efficace ha bisogno di un numero di osservazioni adeguate ( $n > 50$ )

Il test di Kolmogorov Smirnov, invece, può essere utilizzato anche se la numerosità del campione è bassa: esso va a confrontare la cumulata empirica dei dati con quella teorica.

Le osservazioni vengono ordinate in maniera crescente e si calcola la cumulata empirica dei dati, mediante costruzione della  $S$  definita come

$$S = \max\{S^+; S^-\} \quad (18)$$

L'ipotesi di normalità viene accettata se  $S < S_{n,\alpha}$

L'ultimo presentato è il Test di Anderson Darling [45]., il quale, come il Ks mette in relazione la cumulata empirica dei dati  $F_n(x)$  con la cumulata teorica della distribuzione scelta  $F(x)$ .

La distanza fra le due cumulate viene calcolata seguendo la formula sottostante:

$$n \int_{-\infty}^{+\infty} [F_n(x) - F(x)]^2 \omega(x) dF(x) \quad (19)$$

Dove la funzione  $\omega(x)$  è una funzione di peso pari a:

$$\omega(x) = [F(x) * (1 - F(x))]^{-1} \quad (20)$$

Come negli altri test si passa dunque al calcolo della statistica di riferimento: in questo caso la statistica  $AD = -n \cdot S$ , dove  $n$  è la numerosità del campione ed  $S$  è pari a

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} [\ln(\Phi(X_i)) + \ln(1 - \Phi(X_{n+1-i}))] \quad (21)$$

Se il risultato dei test di normalità darà esito negativo, comportando il rifiuto dell'ipotesi nulla, si avranno a disposizione diverse scelte [46]: effettuare dei test non parametrici, effettuare una trasformazione dei dati, usare comunque i dati confidando nella robustezza del test oppure, infine, ricorrere a nuovi metodi di campionamento.

Le trasformazioni dei dati più diffuse sono la logaritmica, la lineare e quella alle potenze, che rendono omogenee le varianze attraverso la riduzione della media, mantenendo costante la forma della distribuzione.

Non sempre è facile scegliere la giusta trasformazione, è possibile, però, utilizzare il metodo di Box-Cox.

Il metodo ricorre ad una famiglia di trasformazioni di potenze [46] e si ottiene:

$$X_{TR} = \begin{cases} \frac{X^\lambda - 1}{\lambda} & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \log(X) & \text{se } \lambda = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Il valore di  $\lambda$  varia tra -3 e +3 e rende massima la funzione di massima verosimiglianza:

$$L = \frac{n-1}{2} \ln(S_{TRASF}^2) + (\lambda - 1) \frac{n-1}{n} \sum \ln(X) \quad (23)$$

Il valore di  $\lambda$  individuato sarà utilizzato nella trasformazione come esponente della X :

$$X_{TRASF} = X^\lambda$$

L'altra analisi preliminare è quella che valuta la collinearità tra le variabili di input.

Nella regressione multipla vi è multicollinearità quando le variabili indipendenti sono altamente correlate tra di loro. Questa situazione non rappresenta una violazione delle assunzioni dei minimi quadrati ma può portare a diversi problemi fra cui un'ampia varianza dei coefficienti di regressione, la mancata significatività dei regressori e un valore del p value del test F più piccolo dei p value calcolati sulle singole statistiche t. Nel caso limite, cioè quello in cui una delle variabili è combinazione lineare perfetta di un'altra, è impossibile calcolare gli stimatori OLS

Nel caso di presenza di multicollinearità la varianza dei regressori dipende dal coefficiente di correlazione esistente tra le variabili di input.

Prendiamo, ad esempio, una regressione multipla avente due variabili indipendenti  $x_1$  e  $x_2$ : la varianza degli stimatori sarà pari a [44]:

$$var(\beta_1) = \sigma^2 \left[ \frac{1}{x_{1,i}^2 (1 - r_{12}^2)} \right]$$

$$var(\beta_2) = \sigma^2 \left[ \frac{1}{x_{2,i}^2(1 - r_{12}^2)} \right]$$

Per individuare la presenza di multicollinearità è possibile calcolare il fattore di inflazione della varianza per ognuno dei  $j$  driver:

$$VIF = \frac{1}{1 - R_j^2} \quad (24)$$

Esso fornisce una misura dell'aumento della varianza degli stimatori rispetto al caso in cui i driver sono non correlati.

È chiaro che il valore minimo che il VIF può assumere è 1 nel caso di variabili indipendenti, mentre si consiglia sempre di non prendere un VIF superiore al 5.

Nel caso di presenza di multicollinearità la soluzione più semplice è quella di eliminare la variabile che risulta correlata alle altre anche se questa non è sempre facilmente individuabile.

In letteratura sono state presentate diverse soluzioni a questo problema, molte delle quali si basano su metodi euristici: per esempio possiamo citare l'algoritmo stepwise in cui viene aggiunta alla regressione, una variabile per volta e dopo l'immissione viene verificato verificando gradualmente il livello del VIF .

## 3.2 ANOVA

L'ANOVA, o analisi della varianza, viene utilizzata per verificare la significatività delle differenze tra le medie di vari gruppi [46]. Questo metodo si basa sulla statistica  $F$  e nasce dal fatto che l'utilizzo della statistica  $t$  su tutte le possibili coppie di medie non è possibile in quanto in questo caso si avrebbe un livello minimo errato.

Nell'ANOVA univariata monofattoriale, detta anche ANOVA ad una via si studia l'esistenza di una relazione tra una variabile dipendente e una variabile  $X$  indipendente in cui le osservazioni di quest'ultima sono classificate in base all'appartenenza ad un gruppo.

Questa analisi si basa sull'ipotesi che ogni osservazione ha in sé due tipi di scostamenti uno che rappresenta lo scostamento dalla media del gruppo (within), l'altro, invece da quella complessiva (between).

L'ipotesi nulla del test è che tutte le varianze siano nulle, mentre l'ipotesi alternativa è che almeno una sia diversa dalle altre.

Si decompone la variabilità delle osservazioni nelle sue componenti within e between [47] e si calcola la statistica F pari a:

$$F = \frac{\frac{SSQ_b}{m-1}}{\frac{SSQ_w}{\sum n_i - m}}$$

Dove:

$SSQ_b$  Rappresenta lo scarto quadratico between, cioè tra i diversi gruppi

$SSQ_w$  è lo scarto quadratico within, cioè all'interno del gruppo.

$m$  è il numero dei gruppi

$n_i$  è il numero di osservazioni all'interno del gruppo.

La statistica F verrà confrontata con il valore Critico della F dato il livello di significatività.

Le assunzioni che sono alla base dell'analisi ANOVA sono le seguenti:

- Normalità dei residui;
- Omoschedasticità dei residui;
- Indipendenza dei residui.

## 4 Analisi

### 4.1 Data collection

Per svolgere l'analisi sono stati estratti i dati relativi ai Plant di Automotive Lighting nel periodo tra gennaio 2016 e maggio 2018 con cadenza mensile. Tutti i dati sono stati estratti manualmente dai diversi sistemi Sap.

Da una prima analisi preliminare si è scelto di eliminare alcuni plant per i seguenti motivi:

- Yokohama (JP): il plant si occupa solo della commercializzazione di alcuni prodotti finiti, per questo è considerato un plant anomalo;
- Clarkston(US): il sito produttivo è stato costruito circa un anno fa e si trova ancora in fase di rump up, per questo i suoi dati risultano anomali;
- Ryazan (RU): il plant non utilizza SAP;
- Bursa (TR): il SAP utilizzato dal plant non è standard;
- Changchun (CN): il plant ha iniziato la sua attività produttiva nel gennaio 2017, per tutto l'anno 2017 i suoi dati sono stati distorti dal rump up effettuato;
- Toluca (MX): anche per questo plant sono stati individuate delle anomalie dei dati a causa della fase di inizio produzione;
- Contagem (Brasile: nel Gennaio 2016 il plant era nella fase finale di un rump up, inoltre il plant è considerato anomalo per la particolarità del mercato brasiliano stesso.

L'introduzione di questi plant avrebbe portato risultati anomali e non rappresentativi del sistema in condizioni di equilibrio.

Per la rappresentazione della variabile dipendente che rappresenta lo stock, in accordo con la letteratura e con i KPI aziendali, si è scelto di utilizzare l'indicatore DOS in quanto queste permette di riportare tra di loro i diversi plant.

Per quanto riguarda la descrizione delle variabili driver, di seguito sarà spiegata la modalità di misurazione:

- Distanza fornitori: come già spiegato nel capitolo 2, data l'ipotesi di relazione positiva tra distanza tra plant e fornitori in km e DOS, in questo lavoro si vuole analizzare la relazione tra lo stock e la quota di fornitori locali, cioè geograficamente vicini al plant. Per rappresentare questa variabile ,quindi, si è scelto di utilizzare la quota di fornitori che distano dal plant meno di 1500 km.

Per standard aziendale vengono definiti dei range di distanze dal plant, ogni fornitore viene associato ad uno di questi. Sempre per standard un fornitore viene considerato locale se entro 1500 km. Per estrarre il dato di ogni plant, per ogni dei mese, il supplier è stato incrociato con i materiali di tipo diretto e semifinito esterno presenti nel sistema, in modo da capire quali fossero attivi e quali no; dopo questa scrematura è stata calcolata la percentuale scelta.

$$\frac{\text{numero dei fornitori attivi entro 1500 km}}{\text{numero fornitori totali}}$$

- Concentrazione dei fornitori: seguendo gli esempi presenti in letteratura si è scelto di rappresentare la concentrazione fornitore come rapporto tra gli acquisti effettuati presso i primi cinque fornitori e il totale acquistato nel periodo di tempo.

$$\frac{\sum_{i=1}^5 p_i q_i}{\sum_{i=1}^N p_i q_i}$$

- Quota di fornitori in consignment stock: rapporto tra fornitori totali e quelli che hanno stretto accordi di consignment stock con il plant. I codici gestiti con questo contratto sono individuati su SAP da un codice specifico. Per ottenere il numero di fornitori in consignment è bastato incrociare i codici con il fornitori per ogni plant, per ogni mese

$$\frac{\text{numero fornitori in consignment}}{\text{numero fornitori totali}}$$

- Inventory accuracy: pari a  $1 -$  rapporto tra il totale di adjustment e lo stock medio

$$1 - \frac{\text{adjustment totali nel mese}}{\text{stock medio nel mese}}$$

- Concentrazione dei clienti: basandoci sulla letteratura la concentrazione del cliente è stata calcolata come rapporto tra le vendite dei primi cinque clienti sul totale delle vendite del mese. Sono stati eliminati i dati relativi al trasferimento intracompany perché non rappresentativi ai fini del calcolo di questo indice

$$\frac{\sum_{i=1}^5 p_i q_i}{\sum_{i=1}^M p_i q_i}$$

- Accuratezza domanda e fiducia nella fornitura: dall'analisi della letteratura è emerso che queste due variabili incidono direttamente sulle scorte di sicurezza, per questo motivo si è scelto di considerare queste ultime come indicatore per rappresentarle. Le scorte di sicurezza sul prodotto finito sono fornite dal plant con cadenza annuale e sono misurate in giorni di copertura.

*scorte di sicurezza (giorni di copertura)*

- Product variety: in questo caso si vuole misurare l'impatto del cosiddetto mix sul livello di scorte. Si è scelto di misurare questa variabile tramite il numero di codici di prodotto finito destinato alla vendita in ogni plant in ogni periodo.

*numero codici di prodotto finito*

## 4.2 Analisi

In questo paragrafo sarà presentata l'analisi effettuata sui dati raccolti in azienda.

In primo luogo si effettueranno le analisi preliminari di normalità e multicollinearità, poi saranno presentati i risultati dell'analisi di regressione multipla.

Per l'analisi è stato utilizzato il software per l'analisi statistica MINITAB.

#### 4.2.1 Analisi di normalità

I dati relativi ai Days on sales vengono dapprima plottati tramite istogrammi e vengono calcolate le statistiche descrittive della variabile (figura 10). Insieme alle statistiche descrittive viene effettuato un test di normalità dei dati, considerando un livello di significatività del 5%.

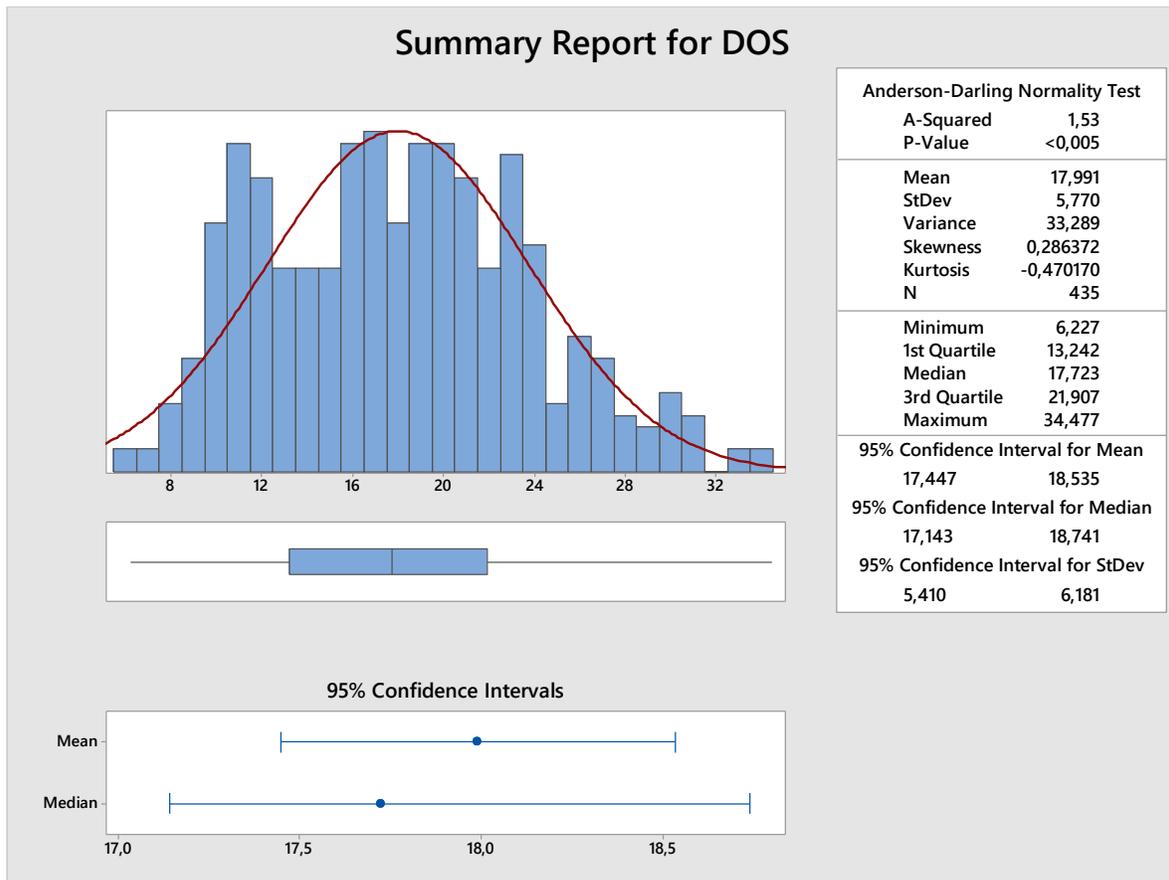


Figura 10: istogramma e statistiche della variabile DOS

Il valore del p value del Test di Anderson Darling è molto basso, inferiore allo 0,005, quindi l'ipotesi  $H_0$  viene rifiutata

Utilizzando il comando Data→Basic statistics→ normality test, è possibile visualizzare il confronto tra i quantili della distribuzione empirica dei dati, in blu, e la normale, in rosso (figura 10)

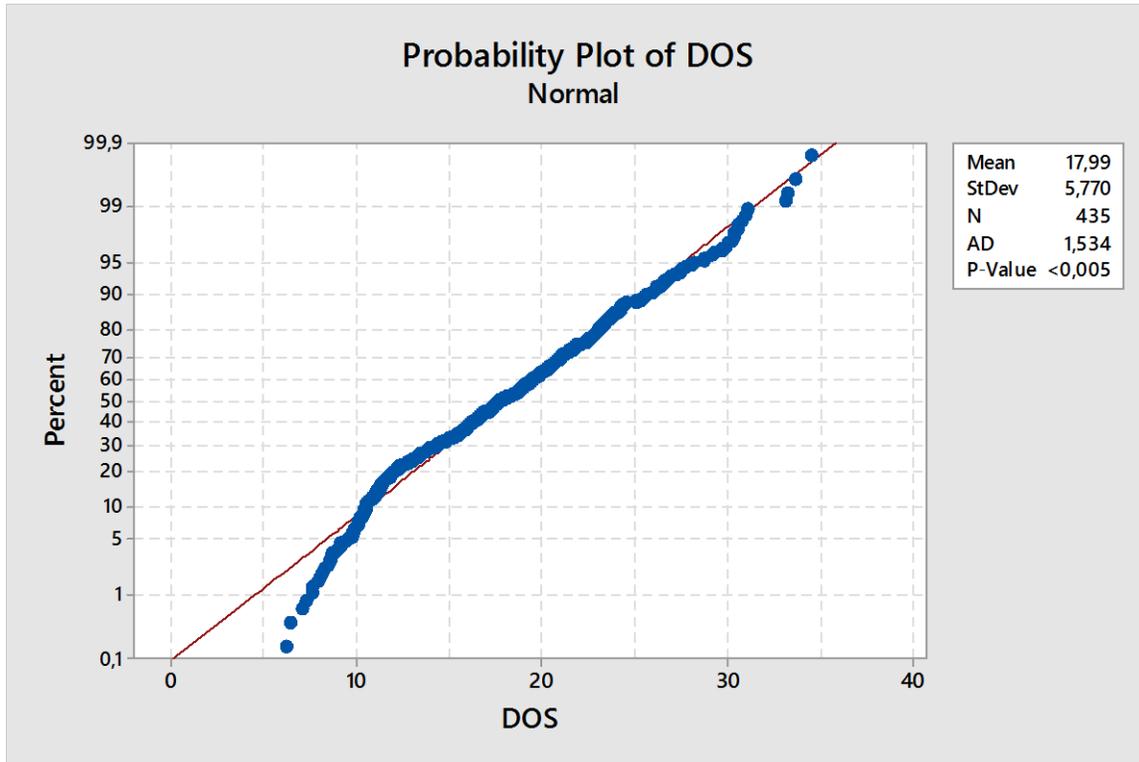


Figura 11: test di normalità

Gli outlier sono concentrati nel primo quartile della distribuzione e fanno riferimenti ai dati relativi allo stabilimento di Tepotzotlan che negli ultimi mesi del 2017 ha avuto un risultato al di sopra della media tenendo il KPI molto basso, ma già dal Gennaio 2018 il valore si è quadruplicato. Sono presenti outlier anche nell'ultimo quartile che sono relativi al plant di Juarez che a causa del contesto nel quale opera ha sempre risultati superiori alla media.

Dato il rifiuto dell'ipotesi nulla, in prima battuta si è pensato di trasformare i dati con una trasformazione logaritmica utilizzando il logaritmo naturale (figura 12), anche in questo caso il p value è inferiore al 5% quindi l'ipotesi nulla viene rifiutata.

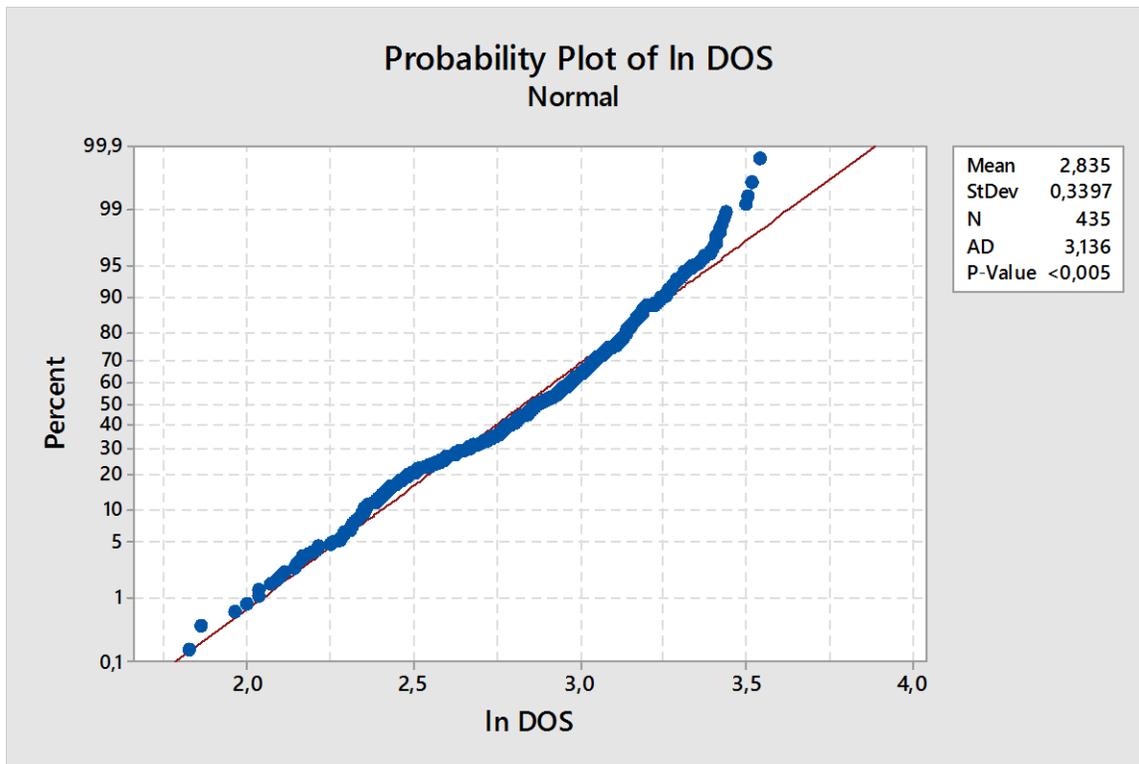


Figura 12: test di normalità dopo aver applicato la trasformazione logaritmica

Si ricorre, quindi, al metodo di Cox Box tramite il comando Stat→control charts→Box Cox, selezionando la colonna dei giorni e inserendo il subgroup size pari a 1. Come si può notare nella figura 13, il metodo restituisce un valore di  $\lambda$  che minimizza la funzione di massima verosimiglianza pari a 0,38. Dato che l'intervallo di confidenza è al 95% si può dire che il valore reale di  $\lambda$  si trova nell'intervallo [0,10; 0,65]: la scelta dell'esponente della trasformazione è limitata a 0,10 0,38 e 0,65 e al rounded value 0,5

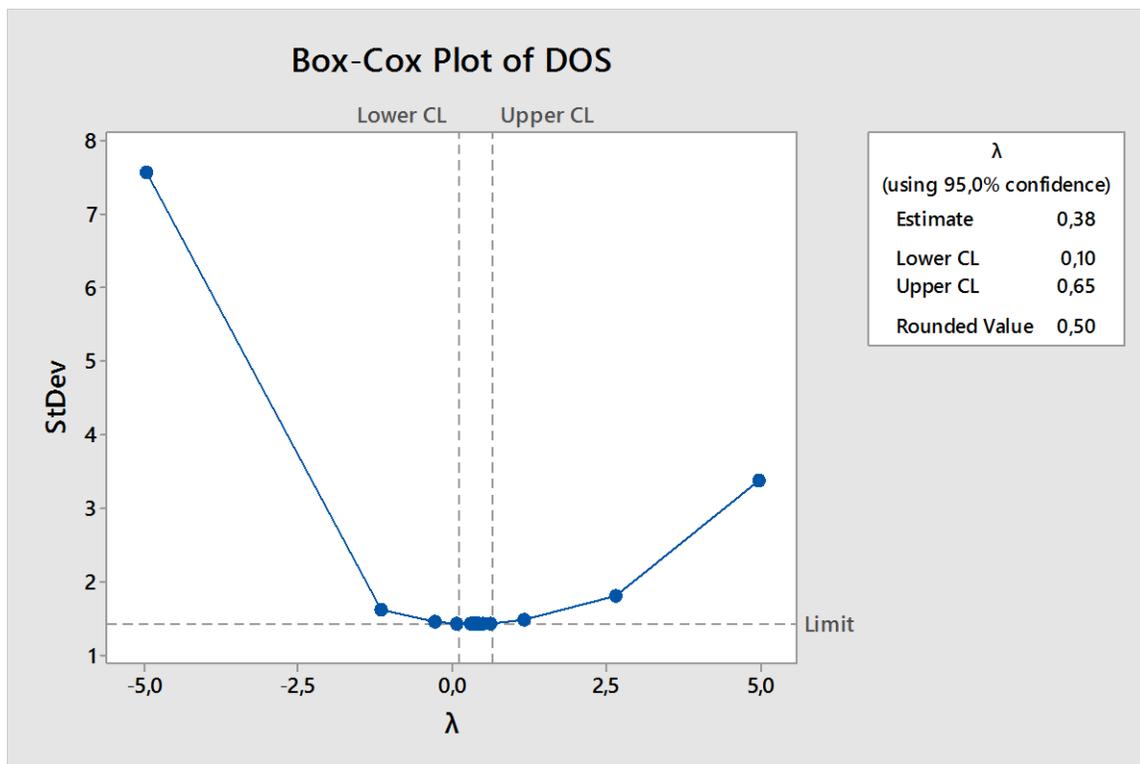


Figura 13: risultato metodo di Cox Box

Le trasformazioni saranno , quindi , le seguenti:

- $DOS_{TRASF} = DOS^{0,38}$

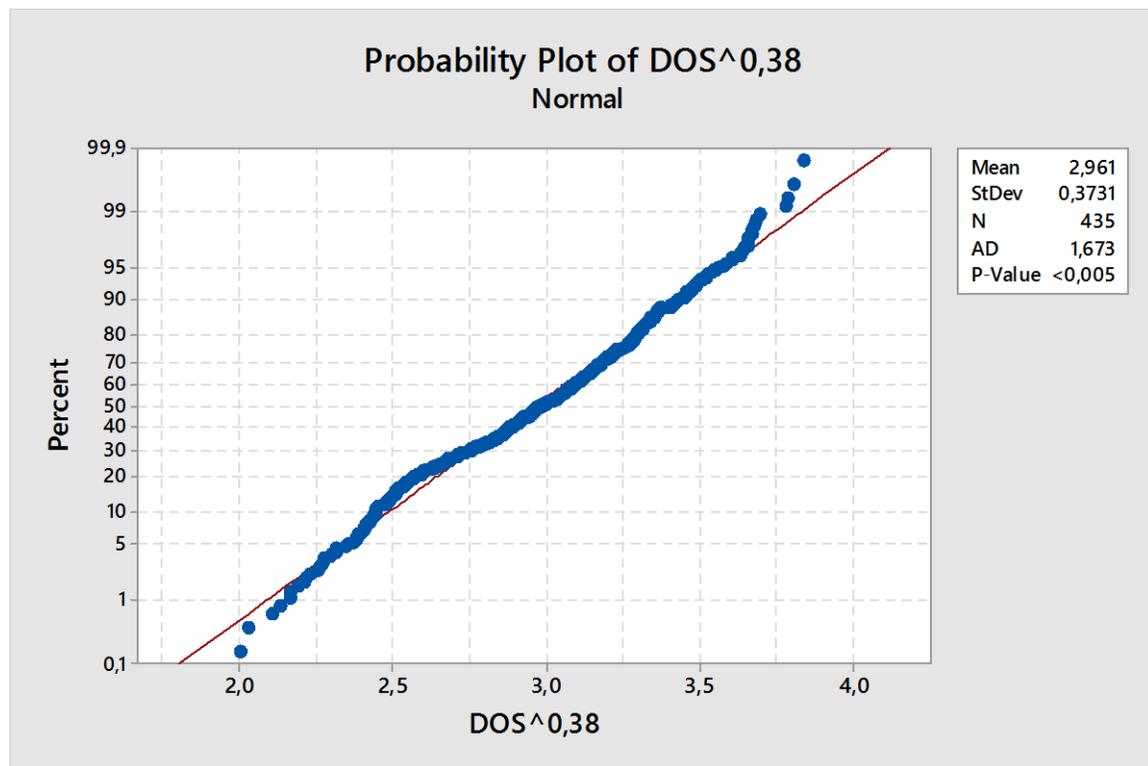


Figura 14: test di normalità per trasformazione con esponente 0,36

- $DOS_{TRASF} = DOS^{0,10}$

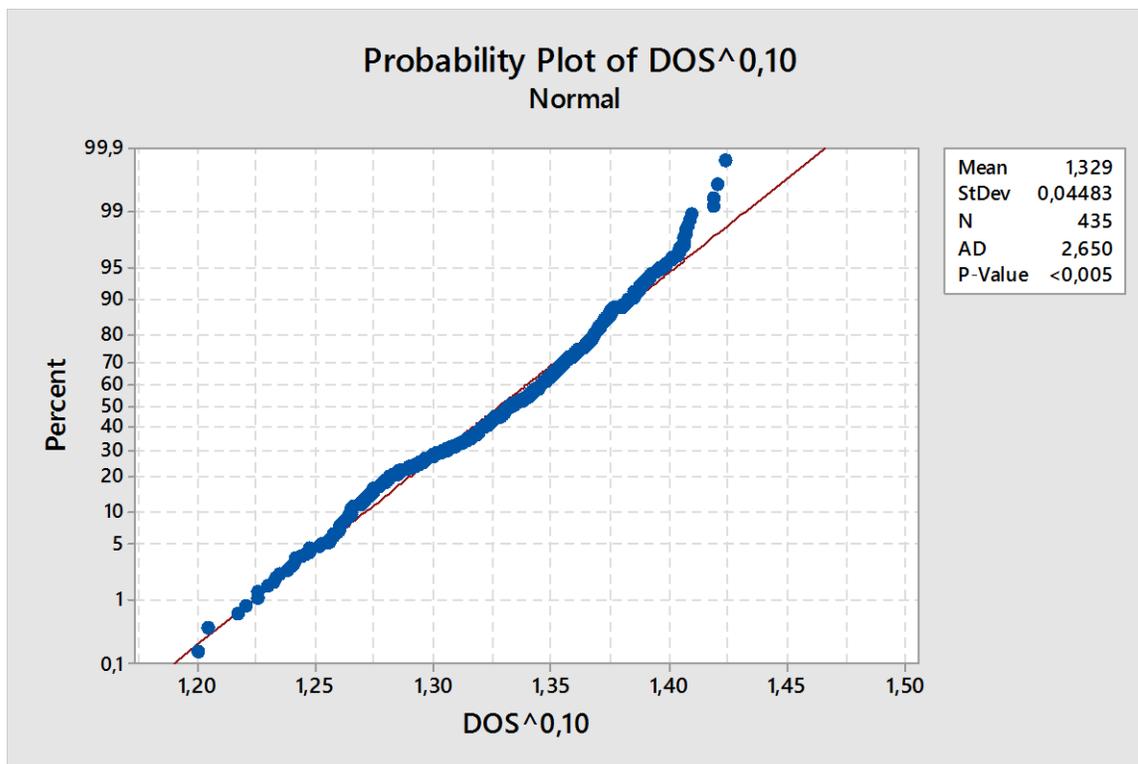


Figura 15: test di normalità per trasformazione con esponente 0,10

- $DOS_{TRASF} = DOS^{0,65}$

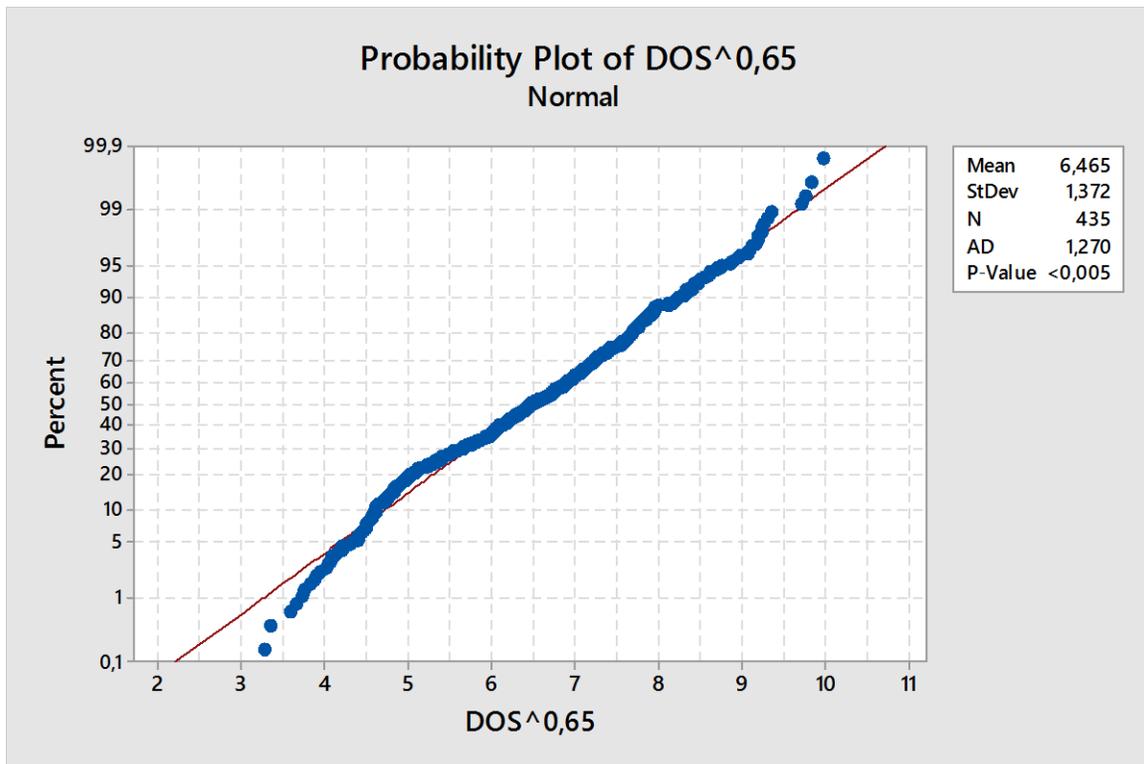


Figura 16: test di normalità per esponente pari a 0,65

Dopo i vari tentativi di trasformazione dei dati si passa all'eliminazione dei dati outlier : come già detto in precedenza, dalla figura 11 è possibile notare che alcuni dati relativi a Tepetzotlan e Juarez sono molto distanti dalla retta raffigurante i dati della normale. Si procede quindi all'eliminazione di tutti i dati relativi ai due plant dall'analisi per mantenere la stessa base temporale e si esegue di nuovo il test di normalità.

Nonostante l'eliminazione dei due plant il p value è ancora inferiore allo 0.005,

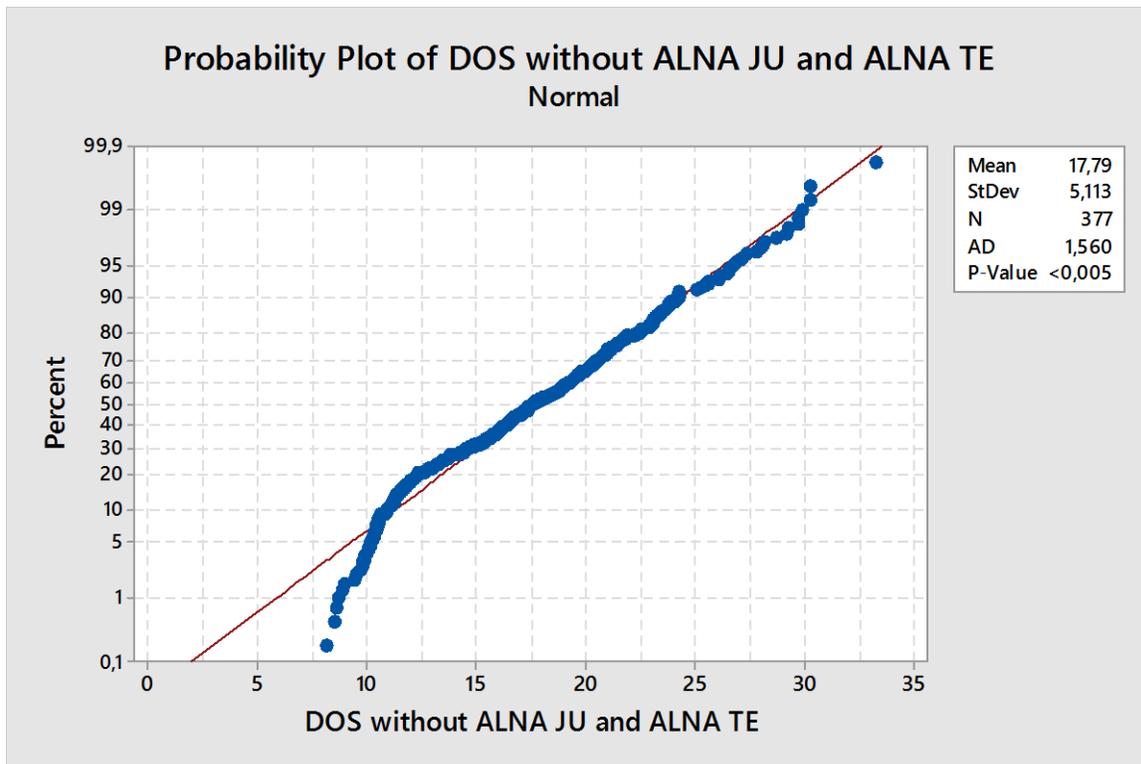


Figura 17: Test di normalità dopo aver eliminato i dati relativi ad ALNA JU e ALNA TE

Gli outlier in questo caso sono relativi posizionati intorno al valore 10 e corrispondono ai plant di Sosnowiec e Jihlava che normalmente sono dei plant che lavorano con una media di DOS molto inferiore alla media: solitamente sono molto attenti nell'implementare strategie di riduzione di stock e sono sostenuti da una percentuale molto alta di fornitori locali e consignment. Dopo avere eliminato i dati relativi ai due plant, si testa normalità: in questo caso l'ipotesi nulla viene accettata.

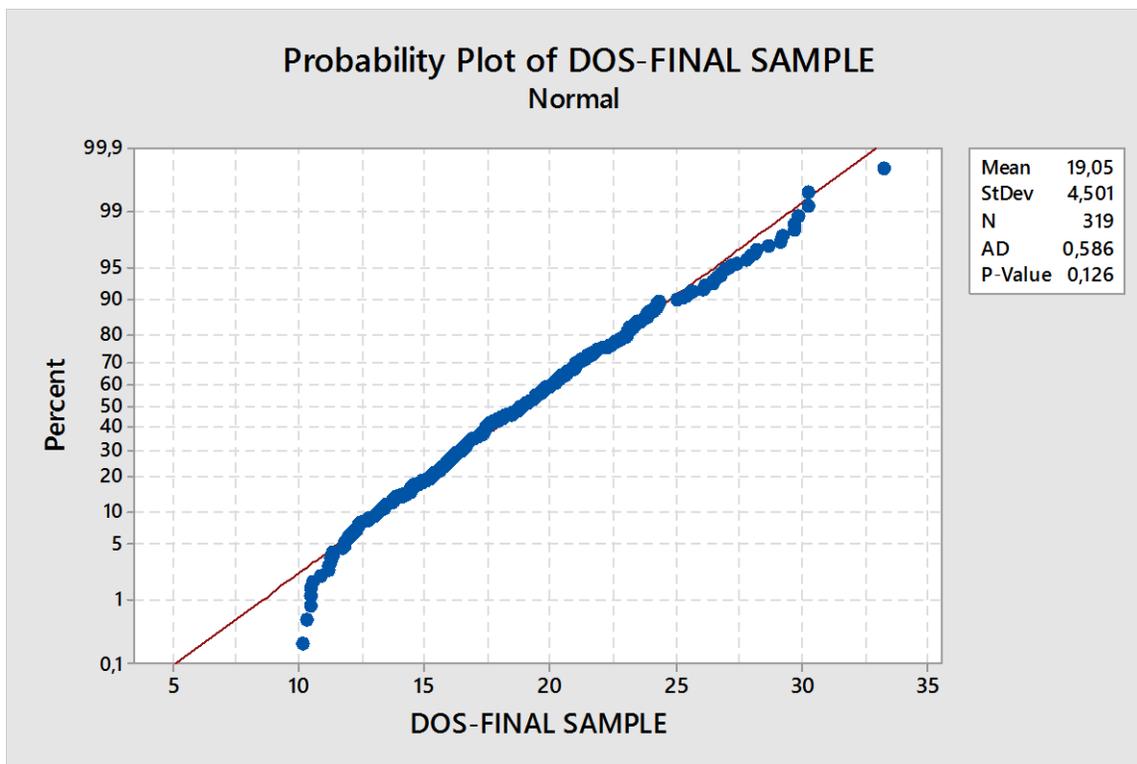


Figura 18: test di normalità per il campione finale di dati

Il campione finale essere composto da 319 osservazioni. La distribuzione della variabile indipendente ha le seguenti caratteristiche (fig.19)

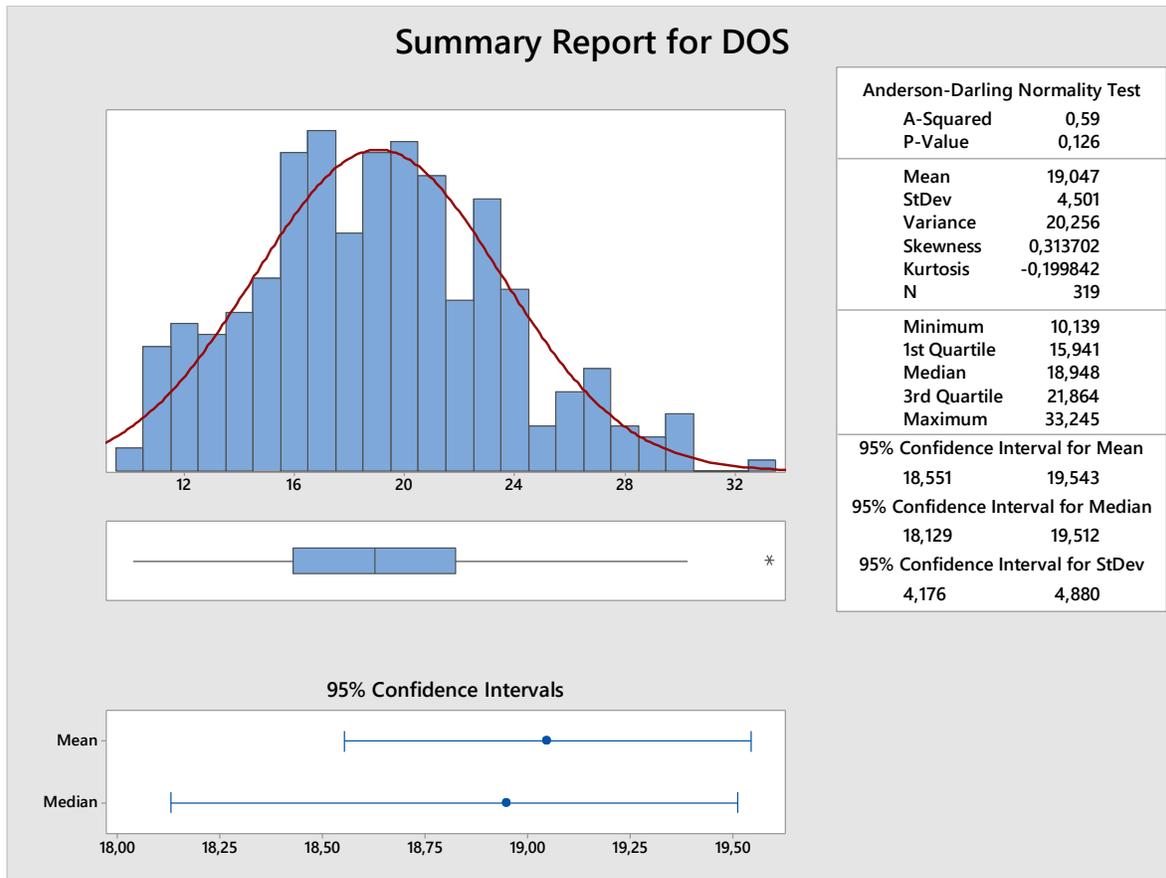


Figura 19: statistiche relative alla variabile DOS calcolate dopo l'eliminazione di Juarez, Tepetzotlan, Sosnowiec, Jihlava

Dopo l'eliminazione dei dati relativi ai plant di Juarez, Tepetzotlan, Jihlava, Sosnowiec le statistiche descrittive risultano essere le seguenti::

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1
Median							
PERCENTU FORNITORI L	319	0	0,54424	0,00923	0,16480	0,30435	0,40164
CONCENTRAZIONE CLIENTI	319	0	0,79882	0,00655	0,11699	0,50412	0,69688
CONCENTRAZIONE FORNITORI	319	0	0,54677	0,00949	0,16958	0,26248	0,44254
CONSIGNMENT STOCK	319	0	0,20876	0,00643	0,11486	0,04255	0,12792
SAFETY MEDIO	319	0	1,6581	0,0442	0,7892	0,1286	1,0365
MIX	319	0	261,0	12,1	216,0	45,0	99,0
ACCURANCY	319	0	0,95168	0,00720	0,12855	0,00000	0,96130

Variable	Q3	Maximum	Median
PERCENTU FORNITORI L	0,67727	0,86275	0,51278
CONCENTRAZIONE CLIENTI	0,89396	0,99659	0,80102
CONCENTRAZIONE FORNITORI	0,59732	0,98729	0,51037
CONSIGNMENT STOCK	0,25357	0,46667	0,19171

SAFETY MEDIO	2,3065	2,7791	1,6572
MIX	491,0	773,0	170,0
ACCURANCY	0,99968	1,00000	0,99090

#### 4.2.2 Validazione del modello e limitazioni

Per l'analisi di regressione sarà utilizzata la seguente notazione:

- PFL: rappresenta la Percentuale di fornitori locali;
- CC: concentrazione cliente;
- CF: concentrazione fornitore;
- CS: consignment stock;
- MIX: numero codici di prodotto finito;
- SS: safety stock

Il modello è quindi rappresentato dall'equazione sottostante:

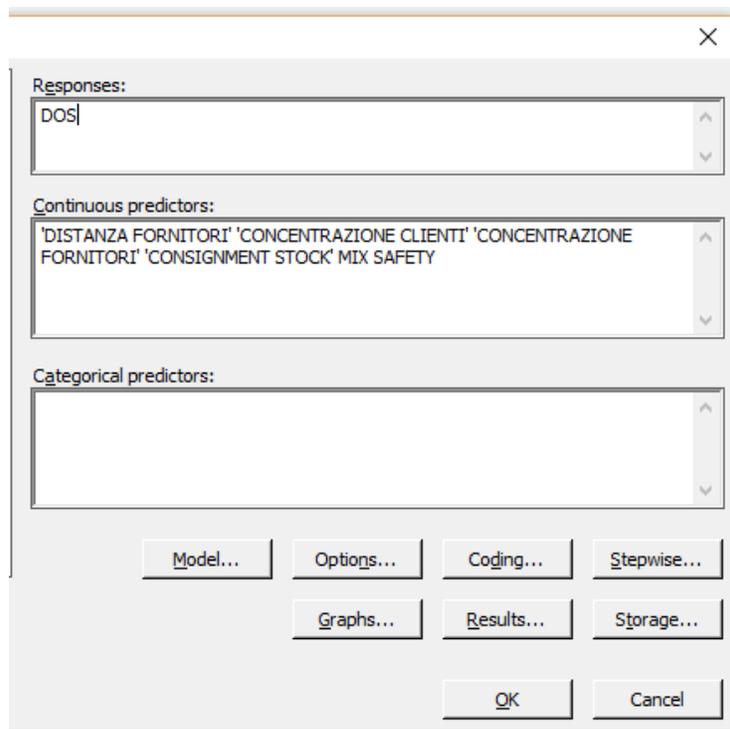
$$DOS = \beta_0 + \beta_1 PFL + \beta_2 CC + \beta_3 CF + \beta_4 CS + \beta_5 MIX + \beta_6 SS \quad (25)$$

Prima di procedere alla presentazione dei risultati bisogna testare la validità del modello di regressione e procedere ad evidenziare le limitazioni che esso può avere.

In particolar modo si andranno a verificare :

- Normalità dei residui
- Indipendenza dei residui
- Uguaglianza delle varianze- omoschedasticità

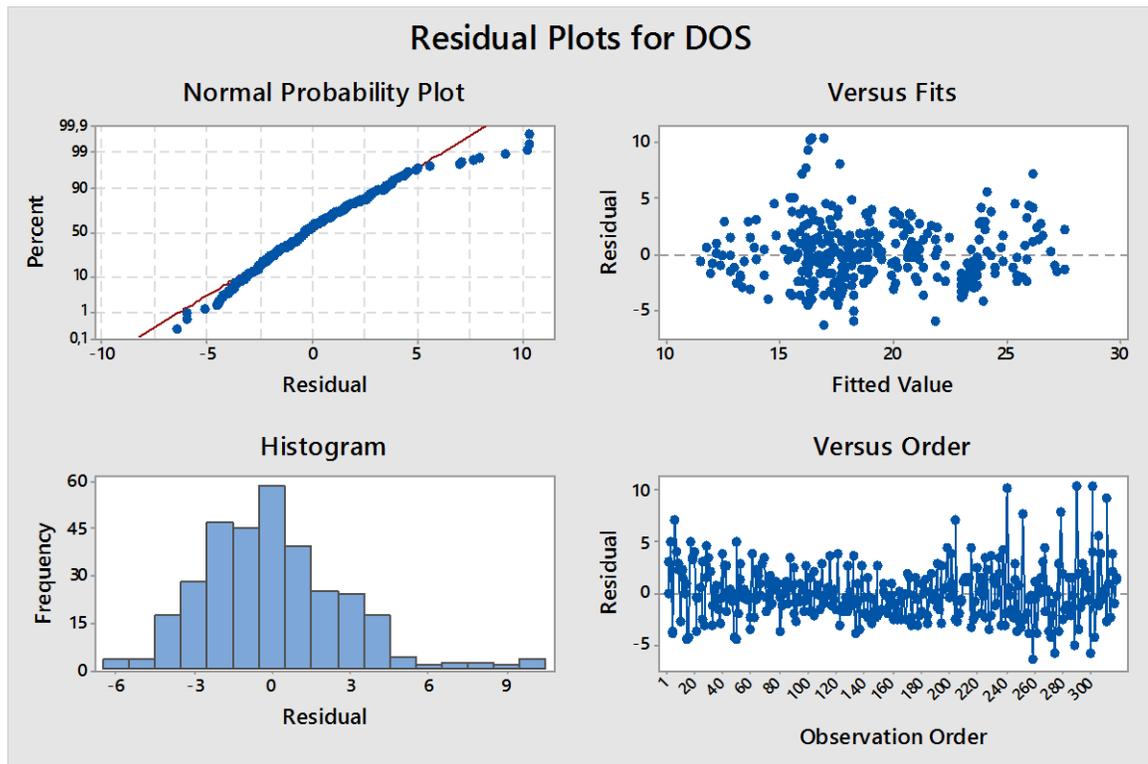
Il modello viene, quindi, immesso in Minitab:



*Figura 20: Input della regressione in Minitab*

Insieme all'output della regressione, Minitab fornisce il grafico in figura (21) nel quale troviamo:

- Normal probability plot: confronta il residuo con il valore che avrebbe assunto nel caso di distribuzione normale;
- Residual versus Fits: grafico avente in ascissa i valori fittati dal modello e in ordinata i residui, solitamente viene utilizzato per verificare l'omoschedasticità dei residui e la loro casualità;
- Istogramma dei residui;
- Residual versus order: grafica i residui seguendo il loro ordine per verificare l'indipendenza degli stessi.



*Figura 21 :analisi grafica dei residui*

Dall'analisi grafica, guardando l'istogramma e il normal probability plot sembrerebbe che la distribuzione dei residui non sia normale

Per confermare questa intuizione viene effettuato il test di Anderson Darling (figura 21) con un livello di significatività del 5%

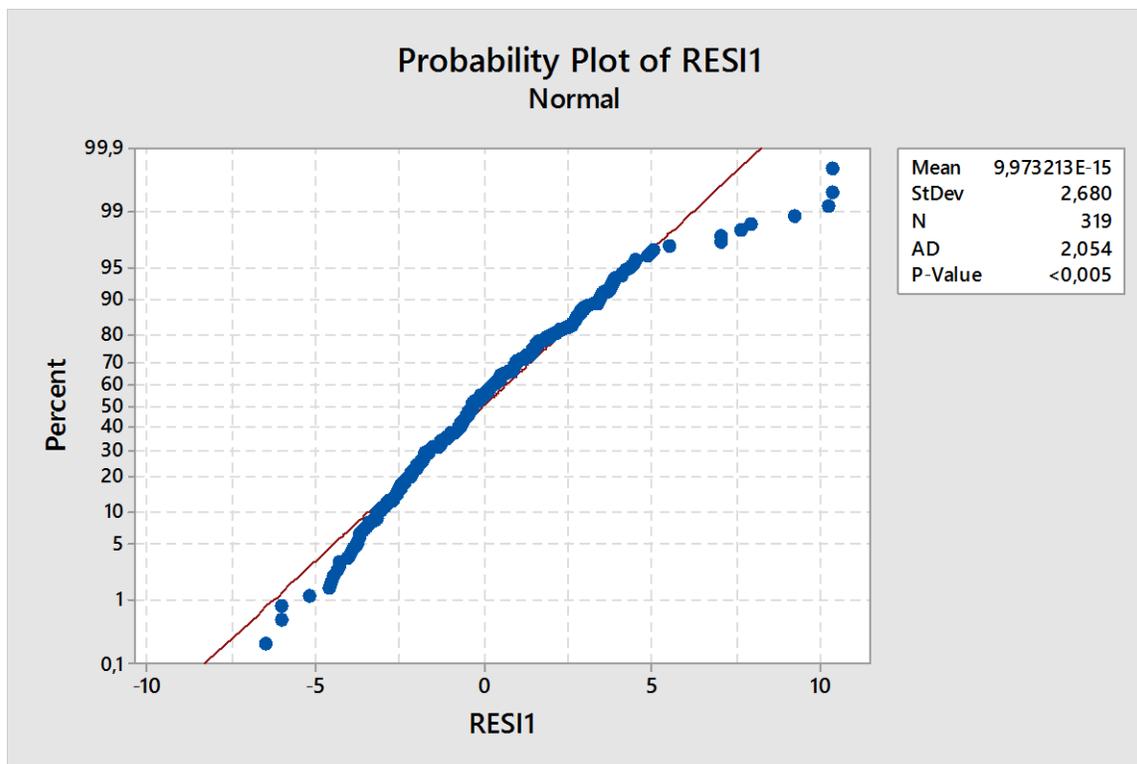


Figura 22: test di Anderson Darling sui residui della regressione

il p value è inferiore allo 0,005 quindi l'ipotesi viene rifiutata.

Quando la distribuzione degli errori standardizzati non rispetta la condizione di normalità si può provare ad operare una trasformazione dei dati, solitamente logaritmica o utilizzando la radice quadrata.

In questo lavoro sono state testate entrambe le trasformazioni.

In primo luogo si applica la trasformazione mediante radice quadrata, il modello risulta essere il seguente

$$\sqrt{DOS} = \beta_0 + \beta_1 PFL + \beta_2 CC + \beta_3 CF + \beta_4 CS + \beta_5 MIX + \beta_6 SS$$

I residui della regressione effettuata sono rappresentati in figura 23 e, come si può notare, l'ipotesi di normalità non viene accettata.

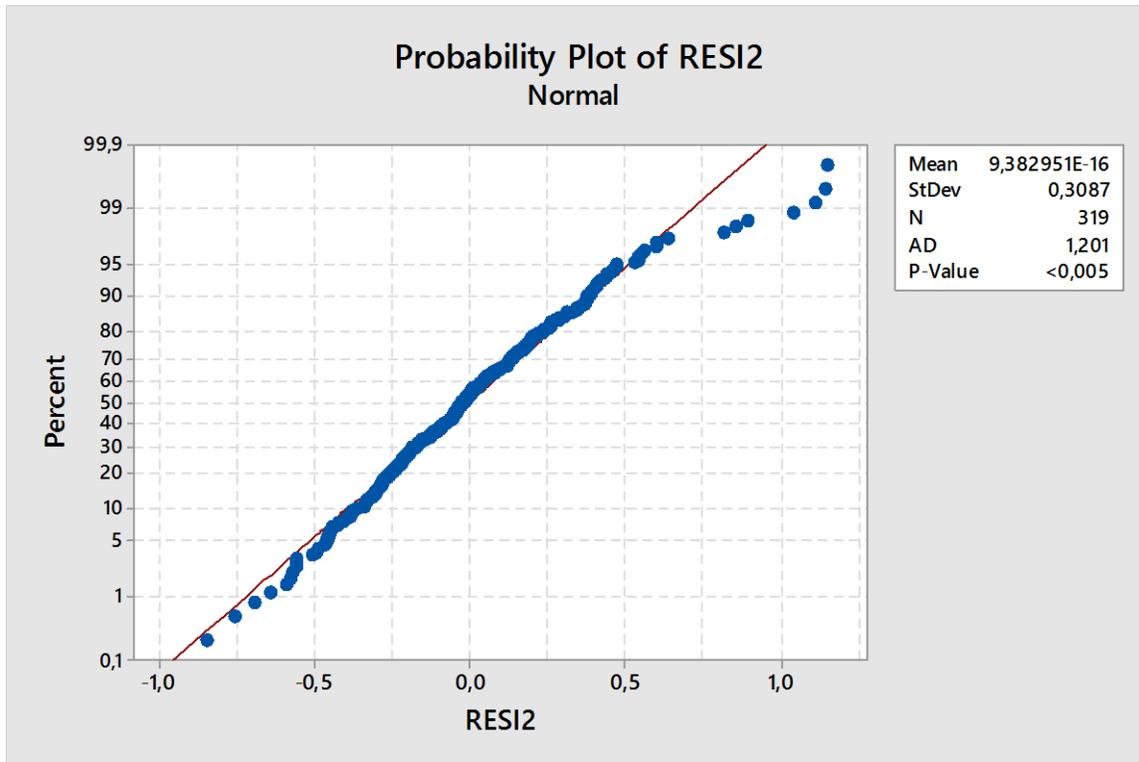


Figura 23: test di normalità sui residui dopo la trasformazione mediante radice quadrata

Il modello risultante dalla trasformazione logaritmica, invece, è il seguente:

$$\ln(DOS) = \beta_0 + \beta_1 PFL + \beta_2 CC + \beta_3 CF + \beta_4 CS + \beta_5 MIX + \beta_6 SS$$

L'output ottenuto dalla regressione su Minitab è il seguente:

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,147355	63,63%	62,93%	62,06%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	3,254	0,119	27,31	<b>0,000</b>	
PFL	-0,3783	0,0897	-4,22	<b>0,000</b>	3,20
CC	-0,070	0,101	-0,70	0,486	2,03
CF	0,1958	0,0806	2,43	<b>0,016</b>	2,74
CS	-1,2338	0,0893	-13,82	<b>0,000</b>	1,54
SS	0,1344	0,0148	9,08	<b>0,000</b>	2,00
MIX	-0,000561	0,000052	-10,89	<b>0,000</b>	1,82

Regression Equation

$\ln \text{ dos} = 3,254 - 0,3783 \text{ PFL} - 0,070 \text{ CC} + 0,1958 \text{ CF} - 1,2338 \text{ CS} + 0,1344 \text{ SS} - 0,000561 \text{ MIX}$

In figura 24 è riportata l'analisi grafica dei residui:

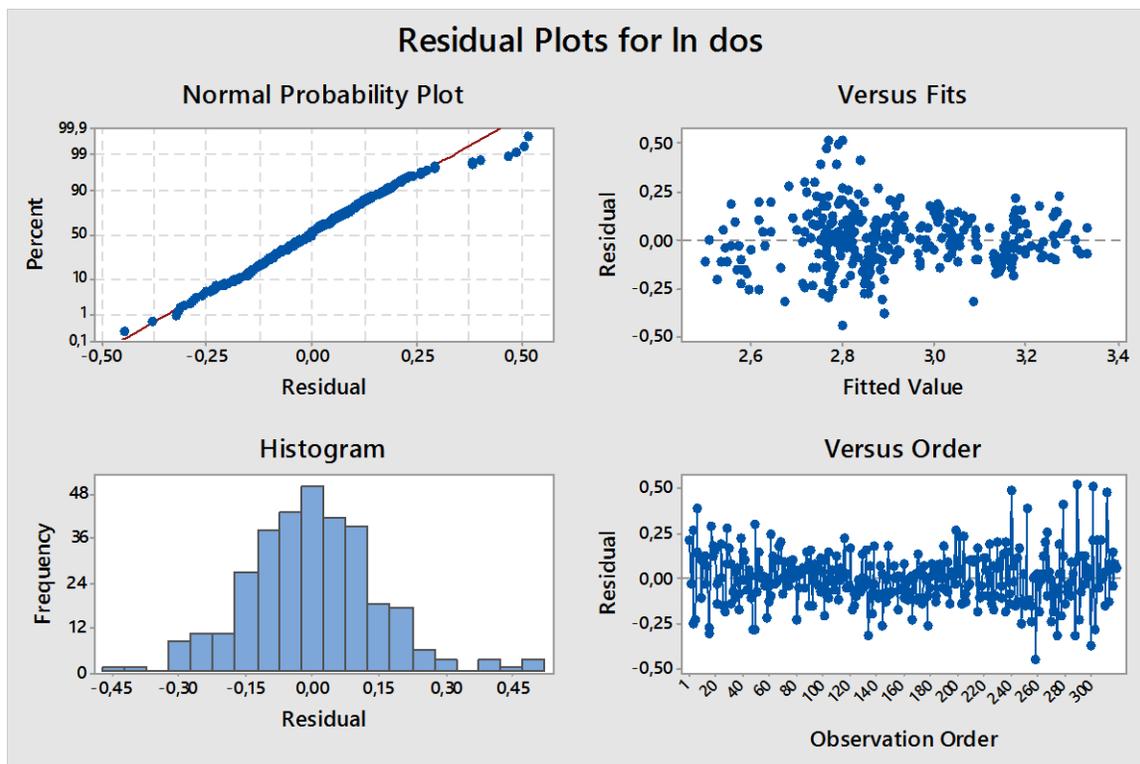


Figura 24: plot dei residui dopo la trasformazione logaritmica

Analizzando il normal probability plot e l'istogramma si può notare come, grazie alla trasformazione, la distribuzione empirica dei residui sembra essere più vicina ad una normale rispetto ai casi precedenti. Il test di Anderson Darling, però, non accetta l'ipotesi di normalità.

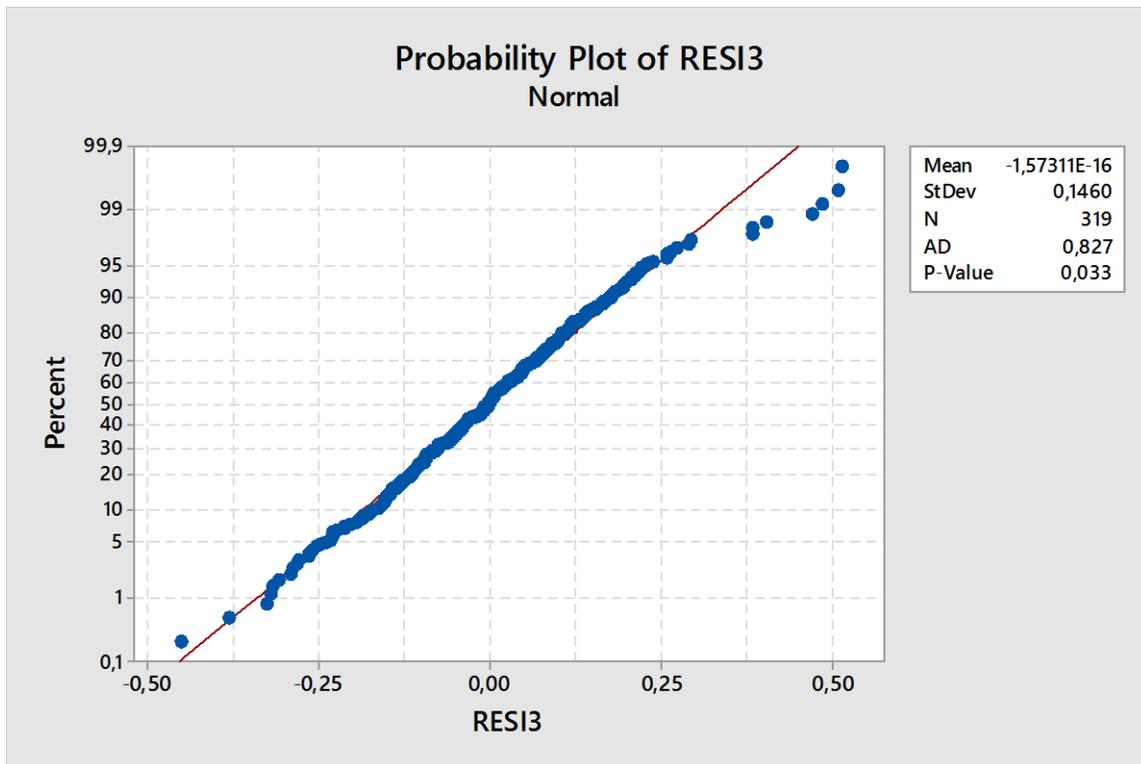


Figura 25: test di Anderson Darling sui residui dopo la trasformazione logaritmica

Si prova dunque ad eseguire la regressione tramite l'utilizzo del metodo di Box Cox, ma quest'ultimo suggerisce di usare un  $\lambda$  pari a 0,5, cioè la radice quadrata.

Osservando i grafici relativi ai residui delle tre regressioni, quella con variabile indipendente DOS e quelle effettuate trasformando quest'ultima, si è notato che la maggior parte degli outlier è relativa al plant di Saint Julien.

È possibile ricondurre questa anomalia del plant francese a due fattori principali: l'effetto negativo della rivalutazione degli auxiliary e le stringenti condizioni dettate dai clienti francesi.

Si procede quindi ad eliminare i dati di quest'ultimo.

Nella figura 26 si possono osservare le statistiche descrittive della variabile DOS dopo l'eliminazione di Saint Julien

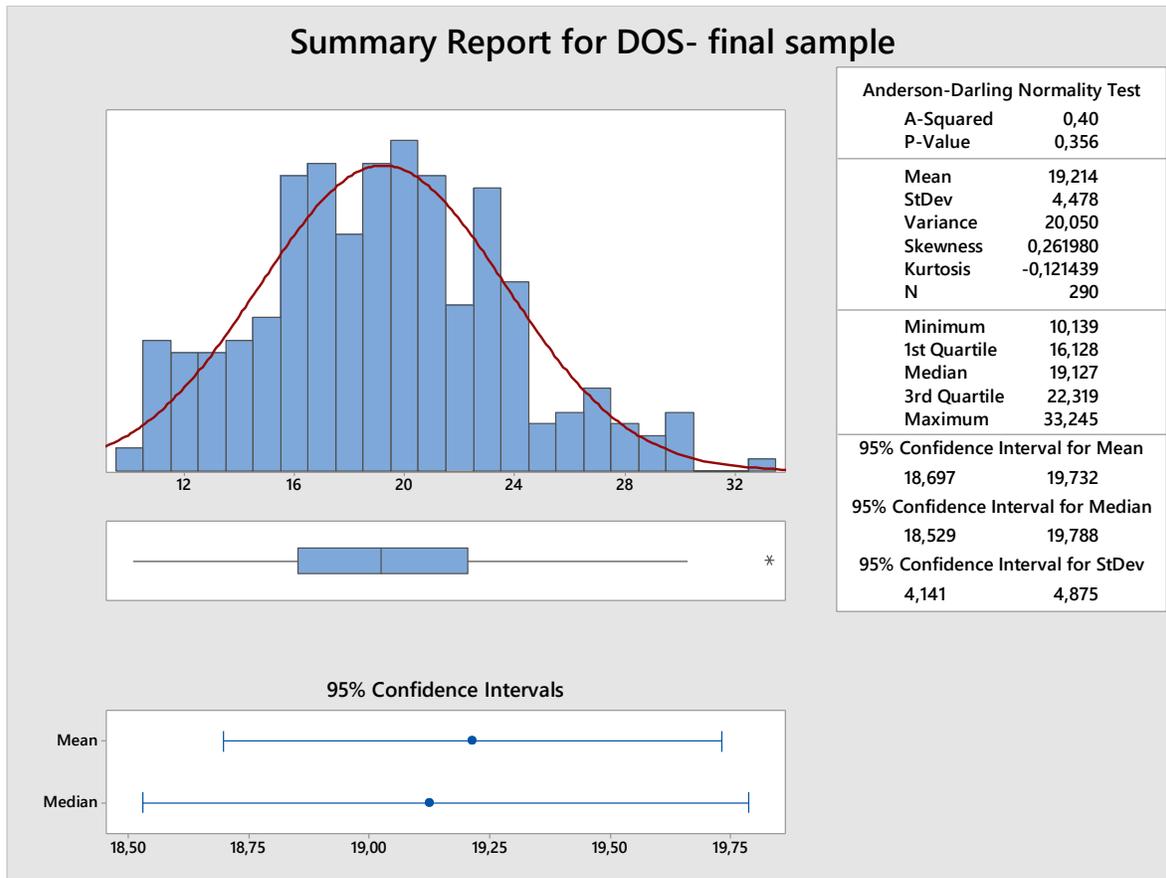


Figura 26: statistiche descrittive del campione finale

Di seguito sono riportate anche quelle relative alle altre variabili

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
PFL	290	0	0,5471	0,0101	0,1724	0,3043	0,3965	0,5214	0,6801	0,8627
CC	290	0	0,79868	0,00717	0,12214	0,50412	0,69146	0,80423	0,90653	0,99659
CF	290	0	0,52836	0,00980	0,16683	0,26248	0,43165	0,50091	0,57623	0,98729
CS	290	0	0,18756	0,00570	0,09713	0,04255	0,11225	0,18012	0,24324	0,46667
SS	290	0	1,6137	0,0478	0,8145	0,1286	1,0365	1,6131	2,3146	2,7791
MIX	290	0	267,2	13,2	225,5	45,0	91,0	162,5	513,3	773,0

Nella figura 27 sono raffigurati i grafici relativi ai residui della regressione sul campione finale di dati:

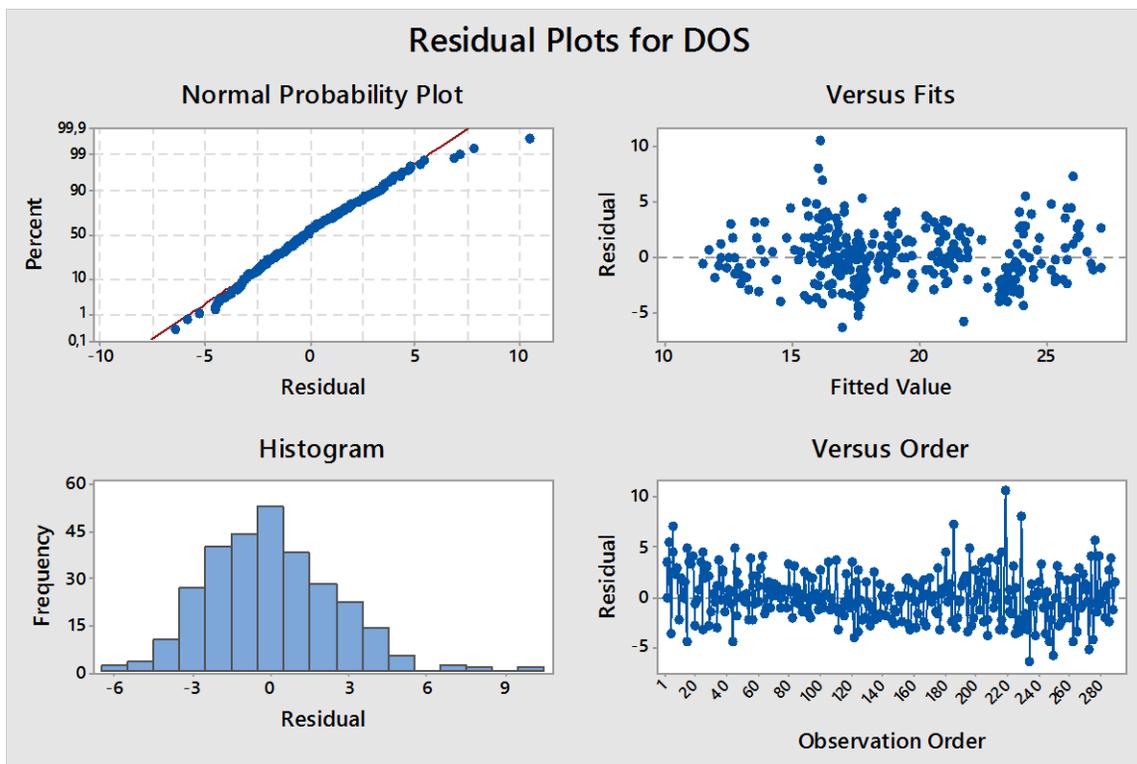


Figura 27: Analisi grafica dei residui

Anche in questo caso bisogna verificare la validità delle ipotesi sui residui.

In riferimento alla normalità dei residui della regressione, in questo caso il Test di Anderson Darling porta ad accettare l'ipotesi nulla dato che il p value è leggermente maggiore del 5%.

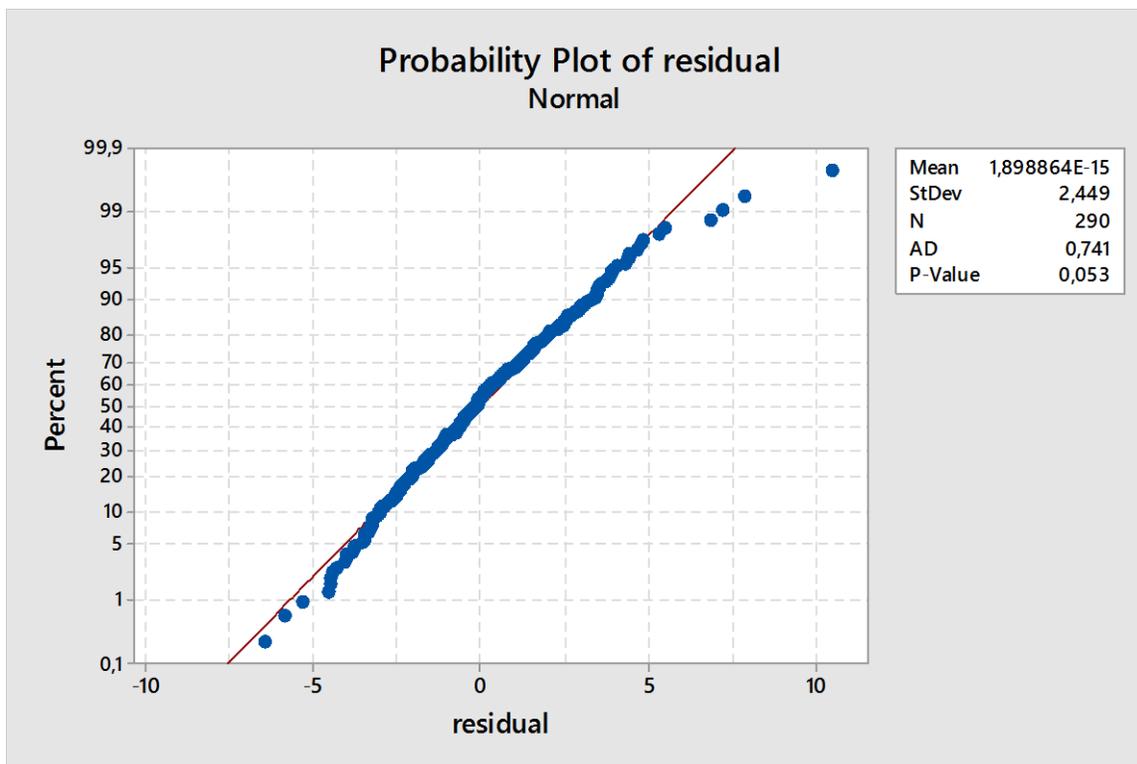


Figura 28: test di Anderson Darling per i residui della regressione multipla sul campione finale

Si passa quindi a testare l'omoschedasticità e l'indipendenza dei residui.

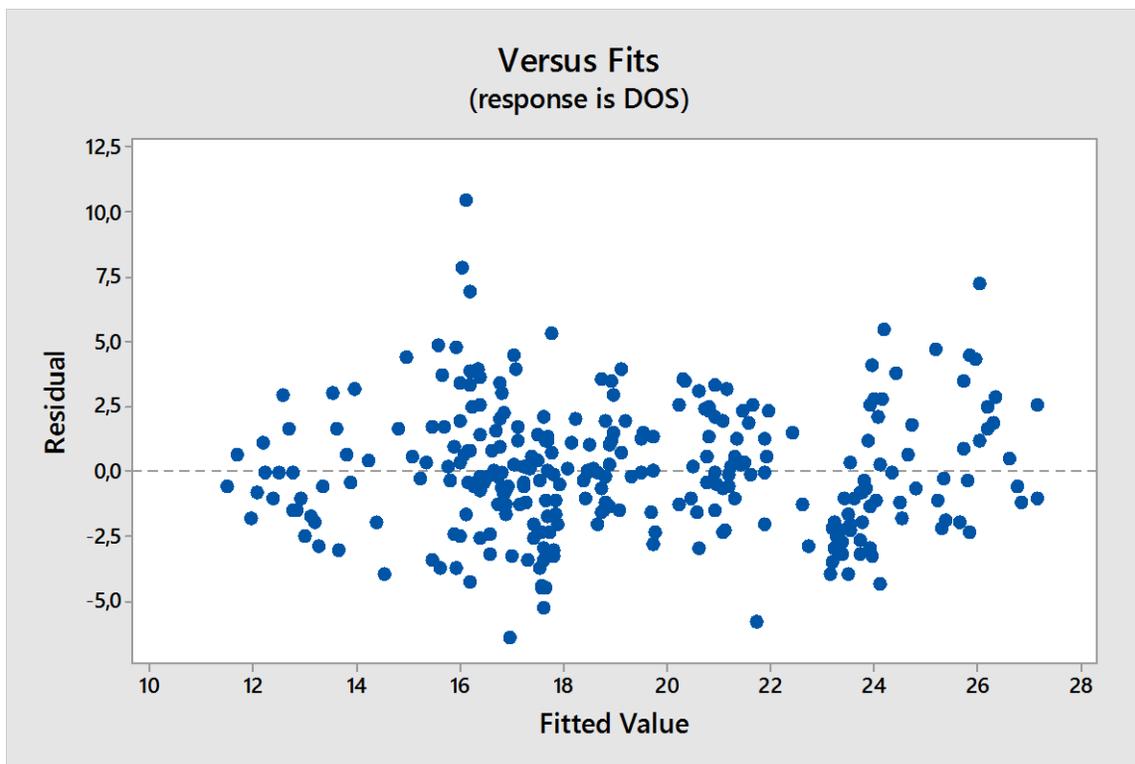


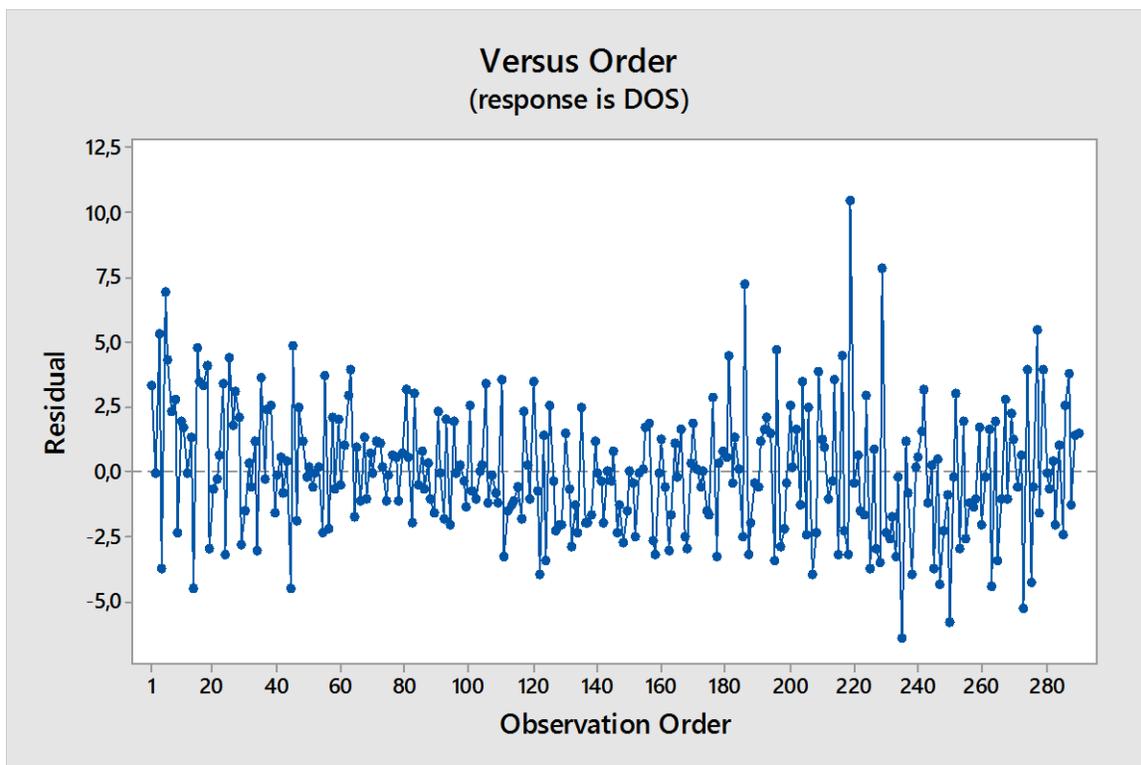
Figura 29: analisi grafica per l'omoschedasticità

In presenza di omoschedasticità i punti nello spazio fitted value- residual sono disposti in maniera casuale all'interno di una fascia orizzontale: la varianza dei residui rimane costante al variare del valore fittato dalla regressione. Nella figura 28 è rappresentato il grafico per i dati del modello: dall'analisi grafica sembra che i punti siano disposti in maniera casuale, e a parte degli outlier concentrati attorno al valore 16, la variabilità sembra pressoché costante al variare del fitted value. Bisogna tenere a mente che la presenza di errori eteroschedastici comporta che gli errori standard individuati dalla regressione e le statistiche ad essi legati non sono affidabili a meno che il software utilizzato non utilizzi errori robusti all'eteroschedasticità [44]. Per avere maggiore sicurezza sull'omoschedasticità dei residui si potrebbe effettuare un test di verifica dell'ipotesi, come ad esempio il test di Breusch Pagan, il test di White o quello di Park.

Se i test elencati non confermassero l'ipotesi di omoschedasticità si potrebbe, come suggerito da Minitab, effettuare una regressione pesata: scegliendo il corretto peso, si cerca di minimizzare la somma dei residui quadrati pesati per avere dei residui omoschedastici. La

difficoltà nell'utilizzare questa tecnica risiede proprio nella scelta del peso, alcuni fondamenti teorici propongono come peso ottimo il reciproco della varianza dei residui.

Per quanto riguarda l'analisi dell'indipendenza dei residui, si utilizza il grafico Residual versus order (figura 30)



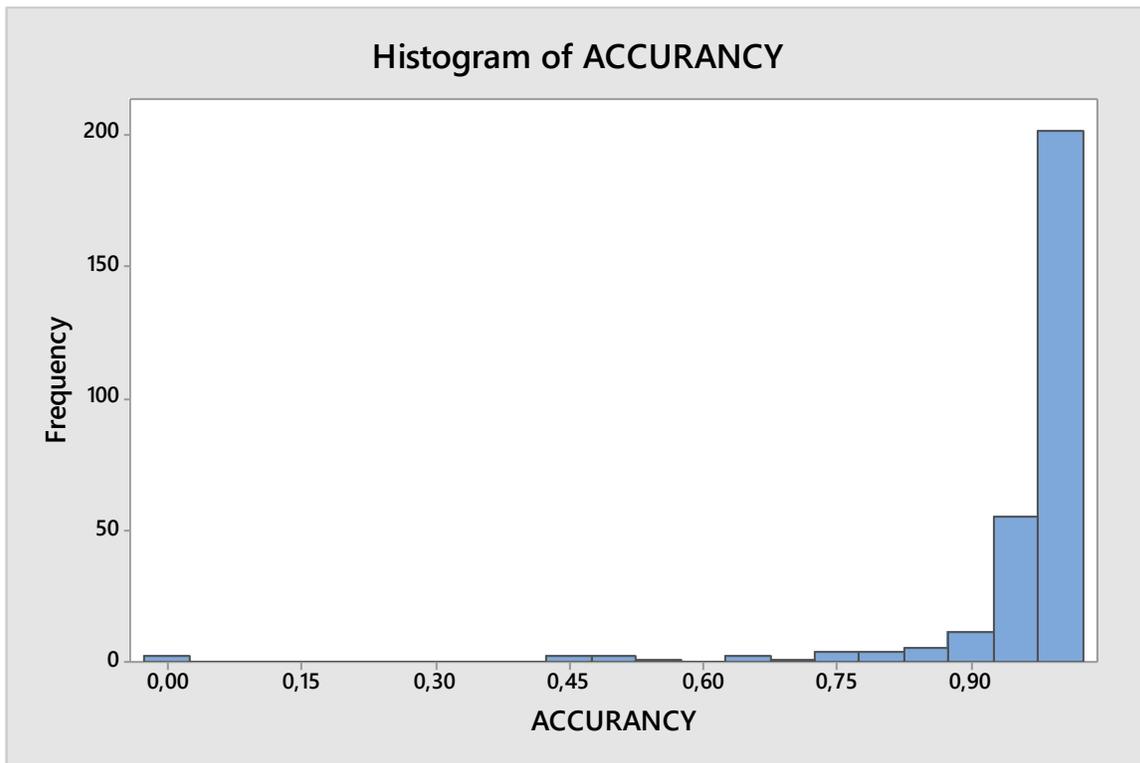
*Figura 30 :analisi grafica dell'indipendenza dei residui*

Dal grafico risulta esserci un andamento ciclico dei residui che va a evidenziare una correlazione tra i dati: questa ipotesi può essere supportata anche dal fatto che i dati non sono stati raccolti tramite un campione casualizzato della popolazione, ma tramite l'osservazione delle stesse entità nel tempo. La correlazione non rende lo stimatore distorto o inconsistente ma rende gli errori standard incorretti [44]. Lo stimatore OLS non è più BLUE, cioè quello a minima varianza. Per capire se effettivamente il sospetto di correlazione tra i residui è fondato si potrebbero eseguire dei test di autocorrelazione come il Durbin Watson.

Ricordiamo che deve essere soddisfatta anche l'ipotesi di mancanza di multicollinearità tra le variabili indipendenti: Come è possibile notare i VIF sono tutti minori di 5: non vi è evidenza di multicollinearità.

Term	VIF
DIST	3,32
CC	2,08
CF	2,96
CS	1,24
SS	2,13
MIX	1,83

La relazione tra la variabile indipendente inventory accuracy e i DOS sarà testata tramite l'ANOVA ad una via. I dati relativi a questo fattore risultano concentrati attorno a dei valori e quindi risulta facile suddividerli in tre diversi gruppi (figura 31)



*Figura 31: istogramma della variabile accuracy*

Le classi scelte sono le seguenti:

Gruppo 1	$< 0,6$	BASSA
Gruppo 2	$0,6 < \text{ACCURACY} < 0,9$	MEDIA
Gruppo 3	$\text{> } 0,9$	ALTA

Per validare il modello bisogna effettuare l'analisi dei residui:

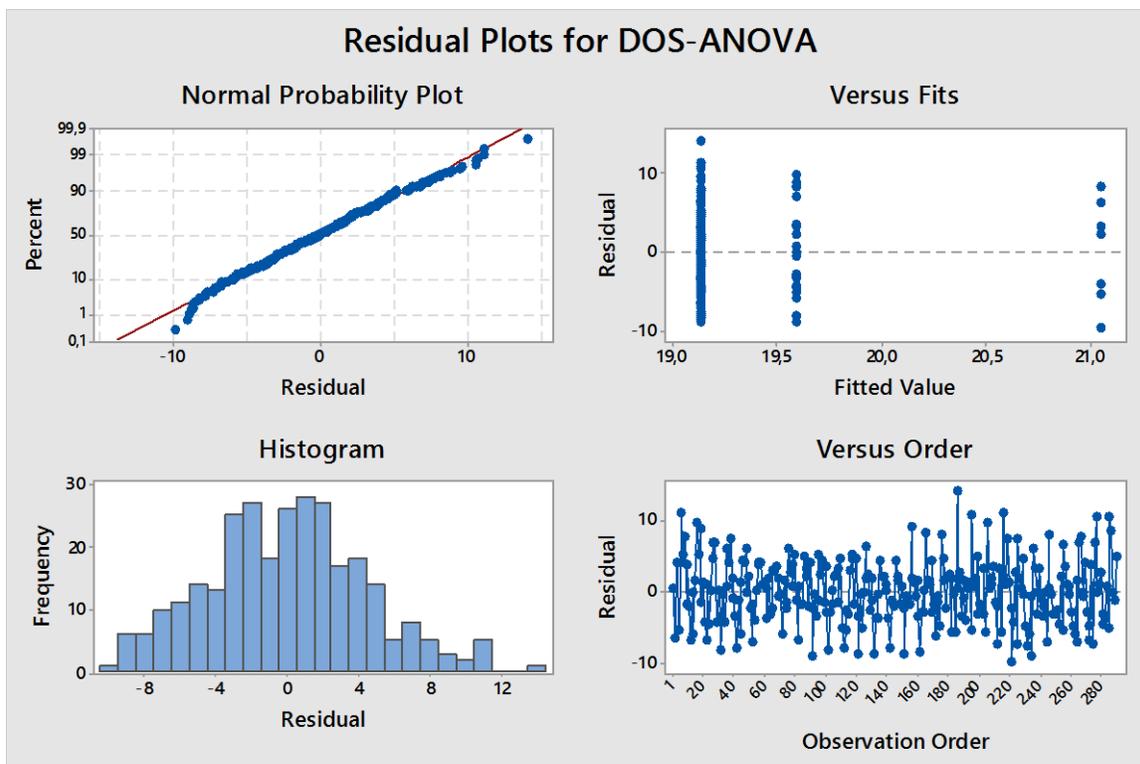


Figura 32: analisi grafica dei residui per l'ANOVA

La normalità dei residui è confermata dal test di Anderson Darling in quanto il p value è maggiore del livello di significatività del 5%:

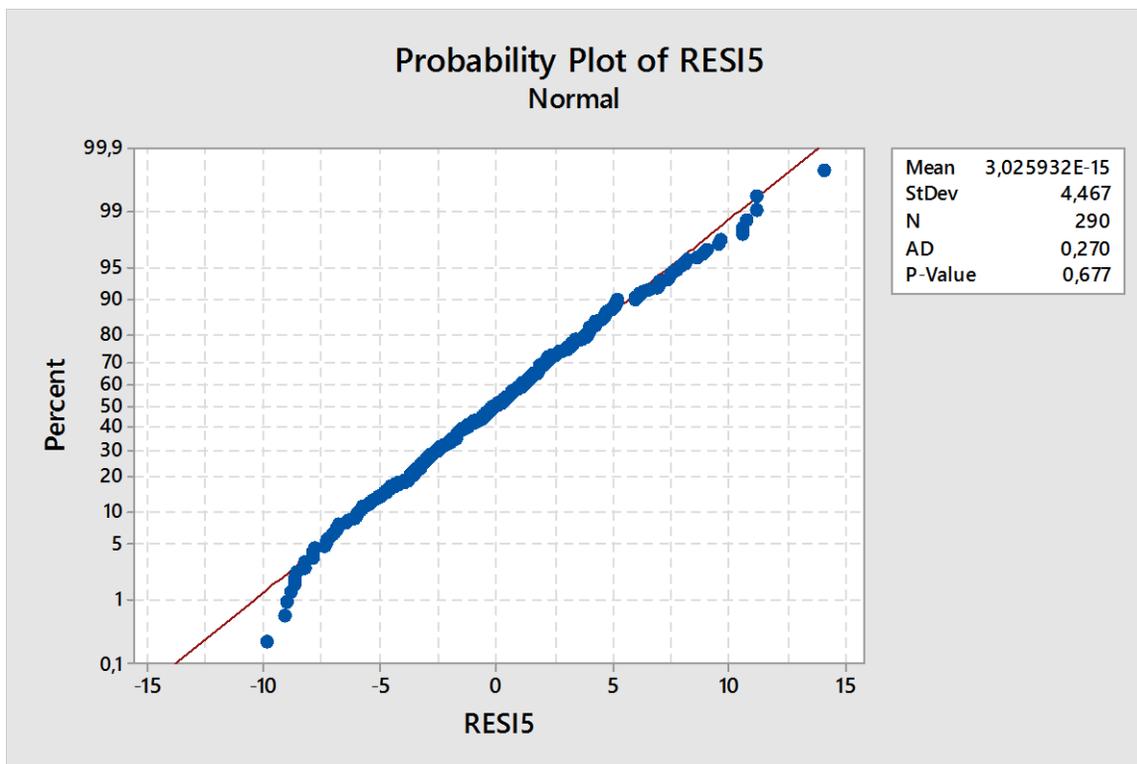


Figura 33: test di Anderson Darling per i residui dell'ANOVA

Per quanto riguarda l'omoschedasticità, questa sembra confermata dall'analisi grafica (figura 34) e dal Test di Levene (figura 35)

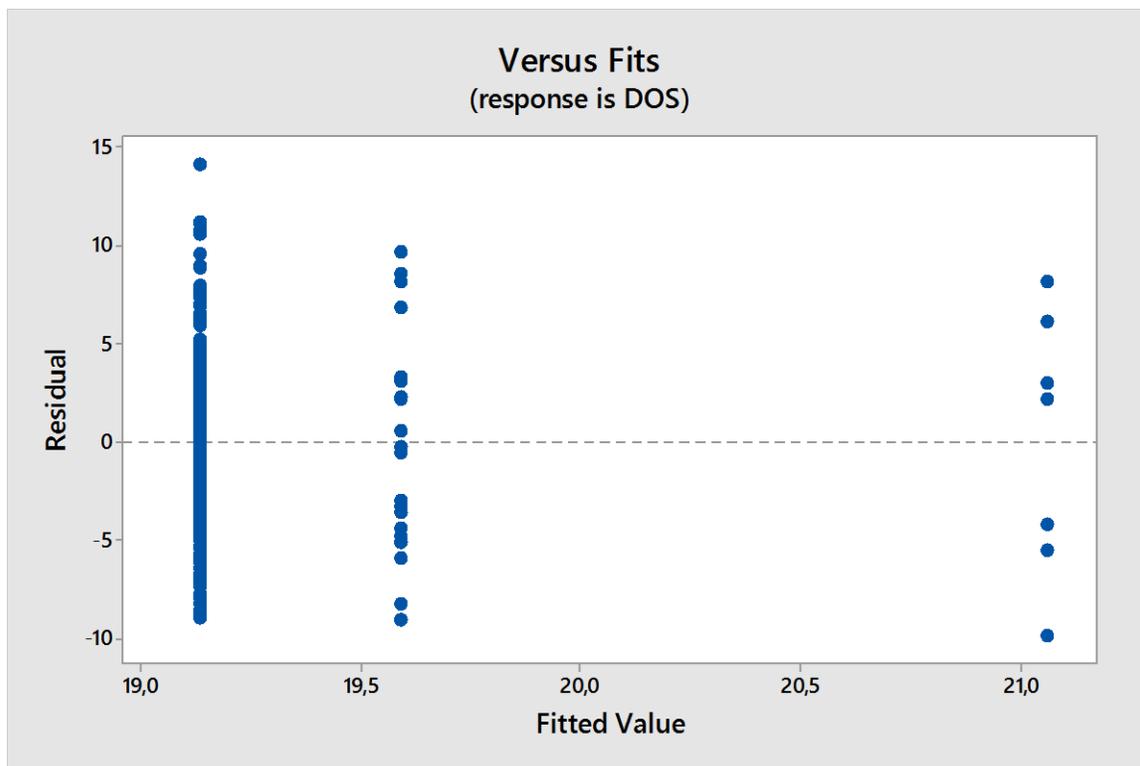


Figura 34: analisi grafica dell'omoschedasticità dei residui dell'ANOVA

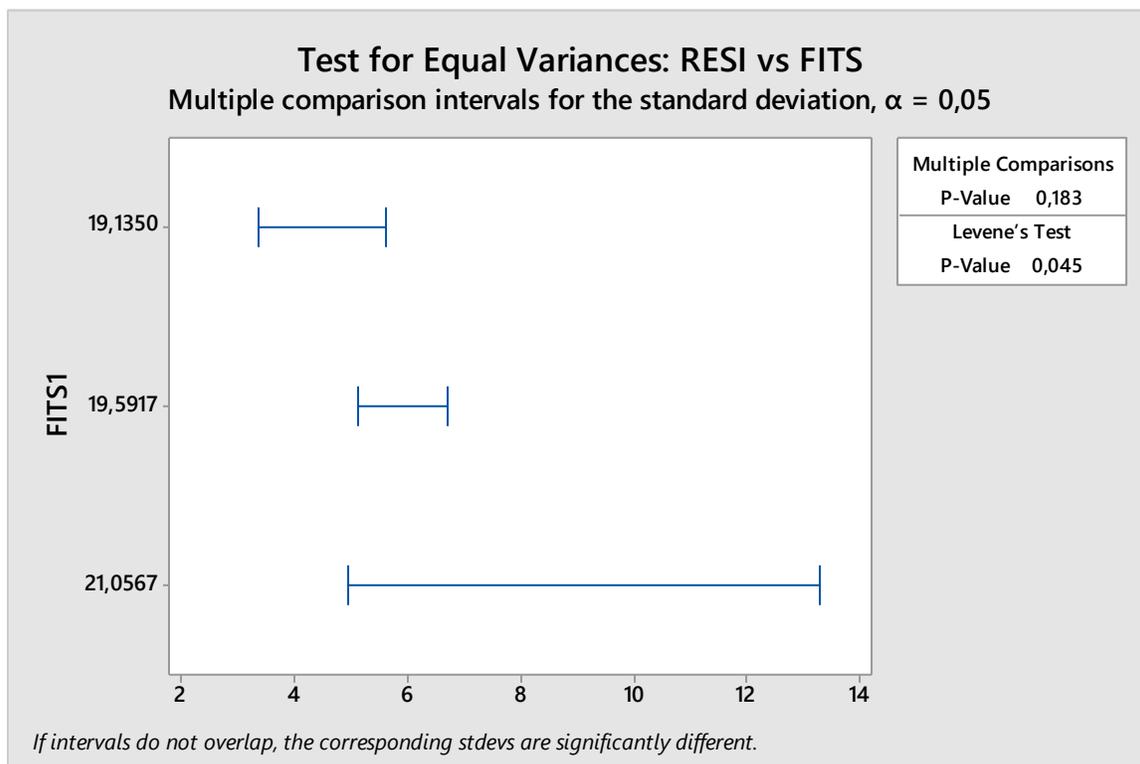


Figura 35: test per l'omoschedaticità

L'analisi grafica per l'indipendenza dei residui (figura 36), invece, segnala una presenza di correlazione fra gli stessi, dovuta probabilmente al campionamento non casualizzato.

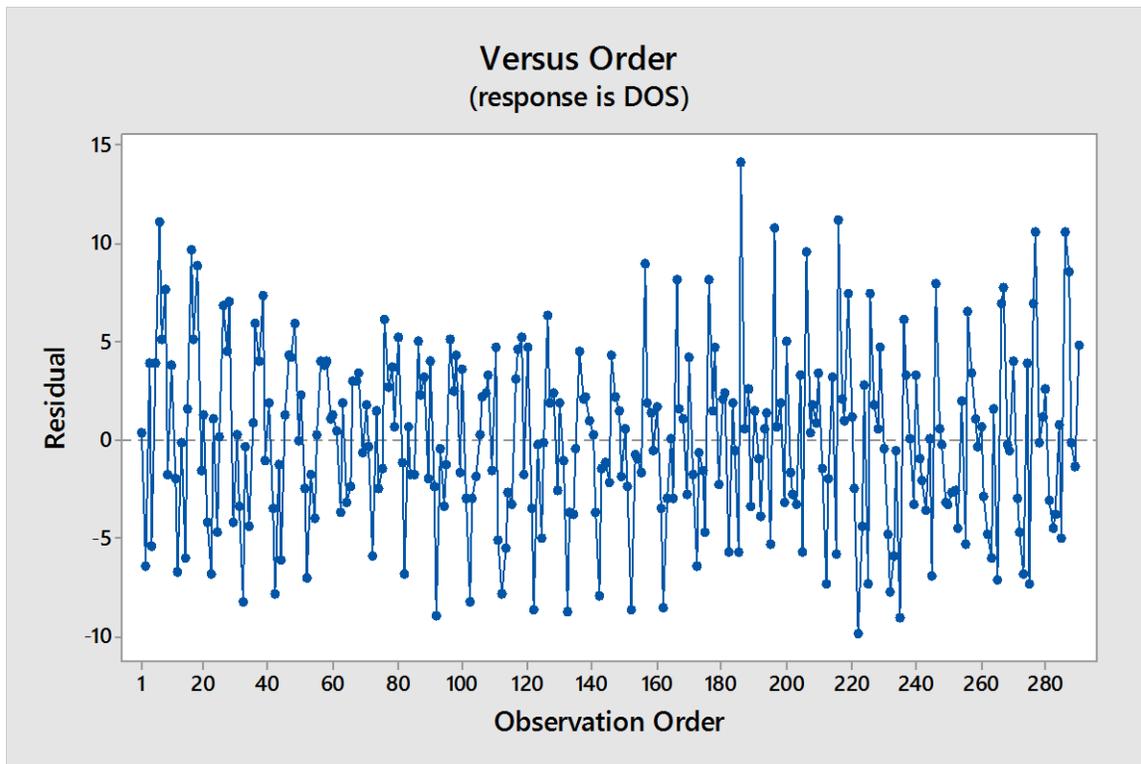


Figura 36: analisi grafica per l'indipendenza dei residui dell'ANOVA

#### 4.2.3 Presentazione dei risultati

L'analisi di regressione lineare, come già esposto nel capitolo precedente, si basa sull'ipotesi nulla:

$$H_0 = \text{tutti i coefficienti di regressione sono nulli}$$

Mentre l'ipotesi alternativa è la seguente:

$$H_1 = \text{almeno un coefficiente è diverso da zero}$$

L'ipotesi nulla viene rifiutata quando il p value è inferiore al 5%.

Nella tabella sottostante è rappresentato l'output di Minitab

S            R-sq            R-sq (adj)    R-sq (pred)  
2,47530    70,08%        69,44%        68,58%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	25,50	2,11	12,09	<b>0,000</b>	
PFL	-7,57	1,54	-4,92	<b>0,000</b>	3,32
CC	-1,18	1,72	-0,69	0,493	2,08
CF	3,87	1,50	2,58	<b>0,010</b>	2,96
CS	-26,07	1,67	-15,63	<b>0,000</b>	1,24
SS	2,567	0,261	9,85	<b>0,000</b>	2,13
MIX	-0,009365	0,000873	-10,73	<b>0,000</b>	1,83

E quindi il modello risultante dai dati empirici è il seguente:

$$\text{DOS} = 25,50408 - 7,57 \text{ PFL} - 1,18 \text{ CC} + 3,87 \text{ CF} - 26,07 \text{ CS} + 2,567 \text{ SS} \\ - 0,009365 \text{ MIX}$$

Il p- value relativo alla statistica F è anche esso prossimo allo zero, segnale che l'ipotesi congiunta è rifiutata: esiste quindi almeno un coefficiente di regressione diverso da zero

Dalla tabella è possibile notare che la relazione tra i giorni di supply e la concentrazione dei clienti non è significativa: il valore del p- value >0,05 segnala l'accettazione dell'ipotesi nulla e, quindi, di assenza di una dipendenza. Le altre variabili di input e la costante, invece, sono significative (p- value <0,05)

La statistica R-quadrato è pari a 0,7008, cioè la regressione spiega circa il 70 % della varianza totale dell'indice dell'inventary .

La variabile CS è quella che ha il maggior impatto sull'indicatore. Il segno della correlazione è in linea con quanto precedentemente ipotizzato e da quanto trovato in letteratura: la presenza di questo accordo con i fornitori consente di diminuire le scorte.

In questo tipo di rapporto il materiale, nonostante sia fisicamente disponibile nei magazzini aziendali, resta di proprietà del fornitore fino al momento del prelievo: questo aspetto consente di mettere in atto tecniche di gestione JIT andando a prelevare il carico solo quando effettivamente si deve utilizzare, in teoria il livello di stock libero dovrebbe corrispondere solo a quello mantenuto a bordo linea per esigenze di produzione, solitamente non superiore ad un giorno di copertura.

Il consignment stock attenua i problemi dovuti alla minimum order quantity e al lead time: in riferimento al MOQ, in questo caso a determinare il livello minimo di stock non è quanto si ordina ma piuttosto il minimo lotto di prelievo concordato con il fornitore, ciò consente di poter avere margini di sicurezza maggiore senza influenzare il livello di inventory, per quanto riguarda, invece, il lead time questo diminuisce in quanto il materiale è già presente in magazzino.

Questa tecnica di fornitura, inoltre, è molto utile per tutelarsi in caso di repentine variazioni della domanda: ad esempio, se un ordine viene cancellato non si preleva la materia prima e il livello di inventory rimane costante, mentre per i materiali forniti da supplier che non usano questa tecnica un calo della domanda comporta automaticamente un aumento dello stock.

L'aumento della quota di consignment dipende dalla capacità di contrattazione dell'ufficio acquisti e, in parte, dal potere contrattuale dell'azienda stessa: l'ideale sarebbe creare questo rapporto con i fornitori di prodotti di classe A di Pareto, cioè quelli che incidono maggiormente sul livello di stock del plant. Sarebbe, inoltre, utile riuscire a diminuire il lotto minimo di prelievo disaggregandolo in unità più piccole: per renderlo possibile bisogna elaborare adeguati sistemi di tracciabilità del prodotto. Importante è prelevare il materiale in maniera ragionata: molto spesso, per minimizzare gli spostamenti, gli operatori prelevano più del necessario aumentando il livello di stock libero.

La relazione fra la percentuale dei fornitori in un range di 1500 km e i days of supply è anche essa negativa come precedentemente ipotizzato. Questa relazione può essere spiegata da diversi fattori. In primis, la vicinanza del fornitore consente di ridurre il safety stock delle

materie prime agendo sul lead time di fornitura: in questo caso, infatti, il tempo di trasporto sarà minore.

Come già evidenziato nel capitolo 2, una struttura di fornitura locale consente di ridurre la componente in transito dello stock. Si evitano, inoltre, tutti i problemi legati allo sdoganamento dei materiali nel caso di trasferimenti internazionali: la presenza di dogana, infatti, fa aumentare le scorte di sicurezza da tenere nel plant.

L'azienda dovrebbe cercare di aumentare questa percentuale ed evitare, o comunque limitare, i fornitori overseas per i materiali di maggiore utilizzo o che incidono maggiormente sullo stock: a tal fine si potrebbero ordinare per Pareto sul valore delle scorte i fornitori overseas, per vedere se quelli di classe A o B hanno dei sostituti locali.

La relazione con l'incertezza della fornitura e l'incertezza della previsione della domanda, rappresentata in questo testo dalle scorte di sicurezza, è positiva come ipotizzato. Questa relazione sembra da un lato ovvia, è naturale che aumentando il livello di safety aumenta il livello di magazzino, dall'altro ci consente di quantificare l'impatto che l'aumento delle scorte di sicurezza può avere sull'indicatore di inventory. Quando la fornitura è incerta il plant si cauterà andando a effettuare ordini più grandi sia per il cosiddetto rationing game sia perché si vuole essere certi di poter continuare a produrre e non bloccare il cliente: in questa condizione si innesca un meccanismo a catena, si parte dall'aumentare il safety di materie prime del componente fino ad arrivare ad aumentare quello del prodotto finito per cercare di non creare shortage verso il cliente.

Molto interessante è la relazione tra la variabile MIX e i DOS: in questo caso sembrerebbe confermata l'ipotesi empirica di relazione negativa tra le due, discostandosi da ciò che si affermava negli articoli di letteratura citati nel capitolo 2.

Dal campione dei dati risulta una relazione negativa tra la concentrazione dei clienti e il livello di stock, ma questa non risulta essere significativa. Questa relazione si discosta da ciò che si è osservato nella realtà: la presenza di pochi clienti, infatti, fa sì che il plant debba rispettare vincoli più stringenti in termini di safety imposto, preavviso di cancellazione ordini, frequenza di consegna e qualità.

Guardando la relazione con la concentrazione dei fornitori, questa ha un segno positivo: cioè aumentando la concentrazione dei fornitori aumenta lo stock. La relazione risulta evidente nel caso reale guardando in maniera isolata i fornitori di elettronica, che solitamente sono i più critici, essi infatti impongono delle condizioni molto stringenti all'azienda in termini di lotti di acquisto e frequenza di consegna.

Per quanto riguarda la relazione esistente tra l'inventary accuracy questa risulta essere non significativa, il p value associato alla statistica F dell'ANOVA, risulta essere maggiore del livello di significatività scelto, cioè il 5%, quindi non è possibile rifiutare l'ipotesi nulla.

Null hypothesis                    All means are equal  
Alternative hypothesis        At least one mean is different  
Significance level                 $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
groups	3	1; 2; 3

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
groups	2	28,40	0,49%	28,40	14,20	0,71	0,494
Error	287	5766,09	99,51%	5766,09	20,09		
Total	289	5794,49	100,00%				

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)
4,48229	0,49%	0,00%	5960,64	0,00%

Questo implica che, dato questo campione, la variabile DOS non ha alcuna relazione con la variabile inventory accuracy.

## 5 Conclusioni

Lo studio è nato dall'esigenza di comprendere quale variabili influenzano i livelli di scorta nell'azienda Automotive Lighting in modo da riuscire ad agire per ridurre l'indicatore DOS delle scorte.

In primis, sono stati monitorati i diversi plant per riuscire a capire il funzionamento degli stessi e per mettere in luce i fattori che portavano a performance diverse in termini di livelli di scorte.

Dopo questa fase sono state individuati sette fattori : percentuale di fornitori locali, misurata in termini di percentuali dei fornitori entro i 1500 km; concentrazione clienti, misurata come rapporto tra il fatturato ottenuto dai primi cinque fornitori su quello totale; la concentrazione dei fornitori, misurata come rapporto tra gli acquisti presso i primi cinque fornitori sul totale acquistato; la quota di consignment stock, misurata come numero di fornitori in consignment sul totale fornitori; la varietà di prodotto, misurata in termini di codici di prodotto finito; l'accuratezza della domanda e il rischio di mancata fornitura, misurate tramite le safety stock, l'inventory accuracy.

Per l'analisi condotta sui dati sono stati eliminati, in prima battuta, i dati relativi ai plant di Ryazan, Bursa, Contagem, Clarkston , Changchun, Toluca, Yokohama. Per Ryazan e Bursa era impossibile effettuare la raccolta dati a causa di problemi con il loro sistema SAP, i dati relativi al plant di Yokohama non sono stati considerati in quanto questo si occupa prevalentemente della commercializzazione dei prodotti finiti ed ,infine, si è scelto di eliminare gli altri plant perché nel periodo considerato hanno avuto dei rump up che portavano a risultati anomali.

Durante l'analisi preliminare di normalità sono stati eliminati i dati dei Plant di Juarez, Tepotzotlan, Jihlava, Sosnowiec, che risultavano essere degli outlier e non consentivano alla variabile DOS di essere distribuita come una normale neanche dopo esser stata trasformata. Il plant di Juarez ha sempre avuto livelli di scorte sopra la media di Automotive Lighting,

Tepozotlan ha avuto dei dati anomali negli ultimi periodi, Sosnowiec e Jihlava hanno sempre avuto una performance sotto la media aziendale.

Per la variabile Inventory accuracy si è utilizzata l'analisi ANOVA, dato che i dati erano concentrati attorno a dei valori e, quindi, il suo istogramma non era continuo, mentre per le altre variabili si è utilizzata la regressione multipla. I risultati dell'ANOVA non evidenziano alcun legame tra i DOS e l'accuracy

Dapprima la variabile DOS è stata inserita nella regressione multipla senza trasformazioni: i residui di questa regressione, però, non erano distribuiti come una normale. Dopo questo risultato la variabile dipendente ha subito una trasformazione logaritmica: i residui, in questo caso, superano il test di normalità KS, ma non quello di Anderson Darling. Analizzando la distribuzione dei residui si è potuto notare che la maggior parte degli outlier proveniva dai dati relativi a Saint Julien, per questo motivo si è scelto di eliminarli. L'anomalia dei dati del plant francese può essere dovuta all'impatto degli auxiliary e alle alte scorte di sicurezza imposte dal cliente. La distribuzione dei DOS rimane normale e ora lo sono anche i residui. Le variabili indipendenti superano i test per la multicollinearità.

La statistica F della regressione rigetta l'ipotesi nulla di non esistenza di una relazione tra la variabile dipendente e le indipendenti: questa statistica segnala l'esistenza di almeno un regressore diverso da zero.

Analizzando le singole statistiche si può affermare che l'unica variabile a non essere significativa è quella relativa alla concentrazione dei clienti. La variabile relativa all'incertezza della fornitura e accuratezza della domanda e quella relativa alla concentrazione dei clienti hanno un coefficiente positivo, quindi un loro incremento ha un effetto negativo sul livello delle scorte, mentre le altre hanno tutti regressori negativi che segnalano un miglioramento di performance in seguito ad un loro aumento.

L'analisi effettuata può essere utilizzata sia in fase di definizione del budget in quanto consente di effettuare previsioni sul valore delle scorte, sia nello svolgimento quotidiano delle attività perché consente di aiutare a capire l'impatto di determinate azioni sul livello di

scorte e riesce si riesce dare una priorità ai diversi fattori ordinandoli per coefficienti da quello più grande a quello più piccolo.

Dall'analisi è risultato che l'adozione della tecnica del consignment stock ha un impatto positivo sul livello di scorte: aumentando la percentuale di fornitori che utilizzano questa tecnica, lo stock diminuisce.

La relazione negativa tra DOS e percentuale di fornitori in consignment è spiegata dal fatto che questo tipo di contratto tende ad incentivare il prelievo del minimo quantitativo necessario alla produzione, in quanto lo stock è presente nel magazzino dell'azienda, ma è di proprietà del fornitore fino al picking.

Questo accordo, inoltre, consente di mantenere basso il livello delle scorte in caso di cancellazione dell'ordine del cliente: il materiale in questo caso non viene prelevato e quindi non viene contabilizzato.

Lo svantaggio di questa tecnica è che solitamente il fornitore andrà a presentare un prezzo più alto.

Si consiglia di andare ad individuare, tra i fornitori che ancora non hanno stretto con Automotive Lighting questo accordo, quelli che contribuiscono maggiormente al livello di stock : se il costo è minore del beneficio ottenibile allora l'ufficio acquisti può tentare di intraprendere la contrattazione. Si può inoltre confrontare il maggior costo dovuto al consignment con il beneficio ottenibile dalla riduzione delle scorte.

L'effetto positivo del consignment dipende dai parametri del contratto cioè dagli accordi relativi a minimum order quantity, lot size di prelievo, tempo dopo il quale la merce diventa dell'azienda.

La percentuale di fornitori locali ha una relazione negativa con i DOS, cioè aumentando la percentuale di supplier entro i 1500 km diminuisce il livello di stock. Il risultato è in linea con gli studi trovati in letteratura sui supplier park.

Il segno della relazione può essere giustificato dalla migliore collaborazione tra le diverse imprese, ma soprattutto dal fatto che la vicinanza del fornitore consente l'adozione di tecniche JIS, JIT, permette di ottenere una maggiore frequenza di consegna e di ridurre il lead time di fornitura che per alcuni item fondamentale.

La relazione tra mix e DOS è negativa: aggiungendo un codice di prodotto finito si ottiene una riduzione dello stock. Il risultato può sembrare all'apparenza contro intuitivo, ma sembra confermato dall'osservazioni empiriche. È possibile ricondurre questo risultato a diversi fattori: prima di tutto un maggior numero di codici di prodotto finito consente di poter meglio riutilizzare le materie prime in caso di cancellazione di qualche ordine. L'altro fattore da considerare è che a parità di area di magazzino un plant con più codici ha uno spazio minore di stoccaggio del singolo item quindi la quantità disponibile a scorta di ogni part number sarà minore, il lotto d'ordine sarà più, inoltre, basso.

L'analisi effettuata consente, in fase di progettazione, di prevedere il livello di stock ottenibile a partire da un determinato numero di varianti prodotte: in questo modo è possibile confrontare i costi derivanti dalla scorta con i benefici dovuti all'abbattimento del costo del prodotto causato dall'aumento dei volumi.

Sarebbe interessante in futuro andare ad approfondire questa relazione studiando la relazione tra i Days of Supply e variabili indipendenti relative alla progettazione del magazzino quali superficie e numero SKU.

La relazione tra il safety stock, che in questo lavoro è stato usato come misura del livello di incertezza della fornitura e dal livello di accuratezza della domanda, ha, ovviamente, un segno positivo: all'aumentare della scorta di sicurezza aumenta il livello di stock. Il modello ottenuto dalla regressione consente di capire, mantenendo tutti gli altri fattori costanti, l'impatto della variazione di un giorno di copertura sul livello di scorte totale: una maggiore consapevolezza del peggioramento dell'indice dovuto al safety può rallentare la tendenza di aumentare la parte fissa dello stock solo per una paura dilagante dello shortage fornitore o di quello verso il cliente.

L'analisi dei dati relativi ad Automotive Lighting evidenzia una relazione di segno positivo tra i DOS e la concentrazione dei fornitori, misurata come rapporto degli acquisti effettuati presso i cinque principali fornitori e gli acquisti totali.

Il risultato è in linea con quanto accade nella realtà: quando un plant si rifornisce principalmente da pochi fornitori deve sottostare ad accordi più stringenti in quanto ha meno potere contrattuale: il fornitore andrà ad aumentare il minimum lot size, il lead time, difficilmente sarà disposto a stringere accordi di consignment e probabilmente avrà prezzi maggiori della media. L'analisi di regressione effettuata può essere utile in fase di selezione di nuovi fornitori in quanto, grazie a questa, si può capire come l'entrata del nuovo fornitore impatta sui costi del magazzino.

Dopo aver analizzato la relazione tra le diverse variabili e i DOS, sarebbe opportuno estendere l'analisi ad un maggior numero di fattori per riuscire a spiegare meglio la variazione dello stock: si consigliano driver quali distanza dei clienti, tipo di trasporto utilizzato, contratti di lavoro e fluttuazione contrattuale della domanda.

## 6 Bibliografia

- [1] future market reasearch, «Global automotive lighting market 2016-2020».
- [2] «Koito annual report,» 2017.
- [3] «Valeo annual report,» 2017.
- [4] «Stanley annual report,» 2017.
- [5] «Hella annual report,» 2017.
- [6] Arnold, Chapman e Clive, *Introduction to Material Management*, Prentice Hall, 2008.
- [7] F. Dallari e D. Milanato, «Dimensionamento corretto delle scorte di sicurezza,» *La Logistica*, Gennaio 2013.
- [8] S. Onymadu e K. Anyibuofu, «Inventory Management practices in Manufacturing Firms,» *Industrial Engineering Letters*, vol. 4, n. 9, 2014.
- [9] D. P. Koumanakos, «the effect on inventory management on firm performance,» *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. Vol. 57, n. 5, pp. pp.355-369, 2008.
- [10] A. M. S. A. Ahmad e M. Akram, «Inventory management, cost of capital and firm performance: evidence from manufacturing firms in Jordan,» *Investment Management and Financial Innovation*, vol. 14, n. 3, pp. 4-14, 2017.

- [11] K. Elsayed e H. Whaba, «Reexamining the relationship between inventory management and firm performance:an organizational life cycle perspective,» *Future Business Journal 2*, pp. 65-80, 2016.
- [12] M. B. Lieberman e D. Lieven, «Inventory Reduction and Productivity Growth:Linkages in the Japanese Automotive Industry,» *Management Science*, vol. 45, n. 4, pp. 466-485, 1999.
- [13] C. Eroglu e C. Hofer, «Lean, leaner, too lean? The inventory-performance link revisited,» *Journal of Operations Management*, vol. 29, pp. 356-369, 2011.
- [14] V. Capkur, A.-P. Hameri e L. A. Weiss, «On the relationship between inventory and financial performance in manufacturing companies,» *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 29, n. 9, pp. 789-806, 2009.
- [15] G. Vastag e D. Whybark, «Inventory management: Is there a knock-on effect?,» *International Journal of Production Economics*, Vol. 94 di 293-94, pp. 129-138, 2005.
- [16] A. Cannon, «Inventory Improvement and Financial Performance,» *Int.J.Production Economics*, vol. 115, pp. 581-593, 2008.
- [17] H. Chen, M. Z. Frank e O. Q. Wu, «What Actually Happened to the Inventories of American Companies Between 1981 and 2000?,» *Management Science*, vol. 51, n. 7, pp. 1015-1031, 2005.
- [18] «Reinvestigating the relationship between ownership structure and inventory management: A corporate governance perspective,» *International Journal of Production Economics*, vol. 143, n. 1, pp. 207-218, 2013.
- [19] C. Caplice e Y. Sheffi, «A review and evaluation of logistic metrics».

- [20] G. P. Cachon e M. Olivares, «Drivers of Finished Goods Inventory in the U.S. Automobile Industry,» *Management Science*, vol. 56, n. 1, pp. 202-216, 2010.
- [21] K. Demeter e R. Golini, «Inventory configuration and drivers:an international studies of assembling industries,» *International Journal of Production Economics*, vol. 157, pp. 62-73, 2014.
- [22] V. Gaur, M. L. Fisher e R. Ananth, «An Econometric Analysis of Inventory Turnover Performance in Retail Services,» *Management Science*, vol. 51, n. 2, pp. 181-194, 2004.
- [23] H.-H. Lee, J. Zhou e P.-H. Hsu, «the role of innovation in inventory turnover performance,» *Decision Support System*, vol. 76, pp. 35-44, 2015.
- [24] M. Matsebatlela e K. Mpofo, «Inventory Management Framework to minimize supply and demand mismatch on a manufacturing organization,» *IFAC-PapersOnLine* , vol. 48, n. 3, pp. 260-265, 2015.
- [25] P. Moser, O. Isaksson e R. W. Seifert, «Inventory dynamics in process industries: An empirical investigation,» *International Journal of Production Economics*, vol. 191, pp. 253-266, 2017.
- [26] S. de Leeuw, H. Matthias e G. Williams, «The impact of decentralised control on firm-level inventory: Evidence from the automotive industry,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 41, n. 5, pp. 435-456, 2011.
- [27] M. B. Lieberman, S. Helper e L. Deemester, «The Empirical Determinants of Inventory Levels in High-Volume Manufacturing,» *Production and Operation Management*, vol. 8, n. 1, pp. 44-45, 1999.

- [28] H. Saranga, A. Mukherji e J. Shah, «Inventory Trends in Emerging Market Supply Chains: Evidence from Indian Automotive Industry,» *IIMB Management Review* (2015), vol. 27, pp. 6-18, 2015.
- [29] S. Gulyani, «Effect of Poor Transportation on Lean Production and Industrial Clustering,» *World Development*, vol. 29, n. 7, pp. 1157-1177, 2001.
- [30] M. A. Wafa, Y. M. M. e K. Swinehart, «The impact of supplier proximity on JIT success: an informational perspective,» *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 26, n. 4, pp. 23-34, 1996.
- [31] F. Casalin, G. Pang, S. Maioli e T. Cao, «Inventories and the concentration of suppliers and customer: Evidence from the Chinese manufacturing sector,» *International Journal of Production Economics*, n. 193, pp. 148-159, 2017.
- [32] G. Valentini e L. Zvanella, «The consignment stock of inventories: industrial case and performance analysis,» *International Journal of Production Economics*, Vol. 1 di 281-82, pp. 215-224, 2003.
- [33] D. Battini, A. Grassi, A. Persona e F. Sgarbossa, «Consignment Stock Inventory Policy: Methodological Framework and Model,» *International Journal of Production Research*, vol. 48, n. 7, pp. 2055-2079, 2010.
- [34] Sahin, Evren e Y. Dallery, «Assessing the impact of inventory inaccuracies within a Newsvendor framework,» *European Journal of Operational Research*, vol. 197, pp. 1100-1118, 2009.
- [35] R. Lindau e K. Lumsden, «The use of automatic data capture systems in inventory management,» *International Journal of Production Economics*, vol. 59, n. 1-3, pp. 159-167, 1999.

- [36] E. Fleisch e C. Tellkamp, «Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain,» *International Journal of Production Economics*, vol. 95, p. 373–385, (2005).
- [37] X. de Groot e E. Yucesan, «THE IMPACT OF PRODUCT VARIETY ON LOGISTICS PERFORMANCE,» in *Winter Simulation conference*, 2011.
- [38] X. Wan e N. R. Sanders, «the negative impact of product variety: forecast bias, inventory levels, and the role of vertical integration,» *International Journal of Production Economics*, vol. 186, pp. 123-131, 2017.
- [39] S. Rajagopalan e J. M. Swaminathan, «A Coordinated Production Planning Model with Capacity Expansion and Inventory Management,» *Management science*, vol. 47, n. 11, 2001.
- [40] B. Ak e P. Patatoukas, «Customer-base concentration and inventory efficiencies: evidence from the manufacturing sector,» vol. 25, n. 2, p. *Production and operation management*, 2016.
- [41] P. N. Patatoukas, «Customer-base concentration: Implications for firm performance and capital markets,» *The Accounting Review*, vol. 87, n. 2, pp. 363-392, 2012.
- [42] A. Persona, D. Battini, R. Manzin e A. Pareschi, «Optimal safety stock levels of subassemblies and manufacturing components,» *International Journals of production economics*, vol. 110, n. 1-2, pp. 147-159, 2007.
- [43] X. Su, X. Yan e C.-L. Tsai, «Linear regression,» *WIREs Comput Stat*, n. 4, p. 275–294, 2012.
- [44] J. H. Stock e M. Watson, *Introduction to Econometrics*, Pearson, 2005.
- [45] T. Anderson e D. Darling, «A Test of Goodness of Fit,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 49, n. 268, 1954.

[46] S. Lamberto, Manuale di statistica per la Ricerca e la professione.

[47] T. V. S. S. Academy, Corso Yellow Belt 13.01, Roma, 2013.

[48] Politecnico di Torino, Dispense di Idrologia.

## Ringraziamenti

Per la stesura della tesi mi sento di dover ringraziare il mio relatore, il professore Giulio Mangano, per l'aiuto ricevuto e per la tranquillità che mi ha sempre trasmesso.

Devo ringraziare anche il mio tutor aziendale e tutti i colleghi della Supply chain perché ognuno, a suo modo, ha contribuito alla mia crescita professionale e personale.

Arrivata alla fine del percorso universitario, colgo l'occasione per ringraziare tutti coloro che mi hanno permesso di arrivare a questo traguardo.

Grazie a mia madre per i valori che mi ha trasmesso, per i sacrifici fatti, per aver messo sempre me e mia sorella al primo posto, per avermi insegnato a mettere sempre la felicità sopra ad ogni cosa: senza tutto questo non sarei quello che sono oggi.

Grazie a mia sorella che ha subito tutto le mie sfuriate e ha sempre trovato il modo di farmi ridere nei momenti più difficili. Il nostro rapporto sarà strano per la maggior parte delle persone, ma per me è il migliore che si possa desiderare.

E Grazie a te, Harry, compagno di giochi e d'infanzia. È stato un onore crescere con te.

Grazie ai miei nonni per aver sopportato la distanza, per gli abbracci con gli occhi lucidi pre partenze, per aver fatto 700km per essere qui oggi, spero che tutto questo sia stato ripagato.

Ringrazio tutto il resto della mia famiglia: i miei cugini, i miei zii e Giacomo, che ormai è diventato il mio correttore di bozze ufficiale.

Ringrazio gli amici di una vita: Valeria, che ha assistito a tutti i miei esami dalla 5 elementare, Alessandro, che con le sue partite a carte mi ha sempre fatto svagare prima di eventi importanti, Claudia, che nonostante la distanza, figli e marito c'è sempre e Andrea che anche a distanza continua a sostenermi.

Ringrazio gli amici conosciuti a Torino con i quali ho condiviso le gioie e i dolori della vita universitaria, perché mi avete fatto sentire a casa nonostante la distanza ,senza di voi probabilmente l'esperienza a Torino non sarebbe stata poi così bella.