

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi e studio dello shortage del mercato dei semiconduttori e le sue
implicazioni – Applicazione del Modello di Newsvendor**



Relatori

Prof. Galetto Maurizio

Correlatore

Dott.ssa Alessandra Toso

Candidato

Rienzi Marco

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

1	<i>Premessa.....</i>	4
2	<i>Lista dei simboli</i>	5
3	<i>Breve introduzione dell'azienda CNHi.....</i>	6
4	<i>Dal TPS al WCM – un breve riassunto dell'evoluzione dei sistemi</i>	8
4.1	Il Toyota Production System (TPS) e la sua nascita.....	8
4.2	Pull, Push e JIT.....	10
4.3	La nascita del WCM	12
4.4	ZERO Scorte	15
5	<i>Il mercato dei semiconduttori nell'ultimo biennio e i suoi sviluppi</i>	17
5.1	La supply chain dei semiconduttori nel mondo.....	21
6	<i>L'impatto del covid-19 – cause e conseguenze sul mercato elettrico e dei semiconduttori</i>	26
7	<i>Il modello Toyota</i>	27
7.1	Implicazioni gestionali	29
7.2	Implicazioni pratiche	30
8	<i>Il Modello Newsvendor.....</i>	32
9	<i>Il metodo CVaR.....</i>	43
9.1	Misure di rischio coerente	45
9.2	L'applicazione C-VaR Rockafellar e Uryasev.....	47
10	<i>Safety Stock</i>	51
11	<i>The Quantitative Supply Chain - Joannès Vermorel – Calcolo del livello di servizio.....</i>	57
12	<i>Analisi preliminare e confronto tra i modelli introdotti</i>	61
12.1	Andamento rispetto al prezzo P	62
12.2	Andamento rispetto al prezzo C	64
12.3	Andamento rispetto al salvage value R	67
12.4	Andamento rispetto allo shortage cost S	69
12.5	Andamento rispetto al livello di confidenza statistico α	71
12.6	Andamento rispetto al livello di avversione al rischio λ	73
12.7	Andamento rispetto al livello di avversione al backorder rate w	74
12.8	Distribuzione Normale e di Poisson.....	76
13	<i>Introduzione dei parametri del problema</i>	77
13.1	Carrying cost o costo di mantenimento	79
13.2	Costi di handling o gestione	80
13.3	Costo di storage o magazzino.....	81

13.4	Costo del capitale	82
13.5	Costo di deprezzamento	83
13.6	Shrinkage o Costi di Rischio	85
13.7	Stockout Cost o costo di rottura scorte.....	86
13.8	Applicazione Specifica	92
13.8.1	CASO #1A.....	92
13.8.2	CASO #2A.....	97
13.8.3	CASO #3A.....	99
13.8.4	CASO #4A.....	101
13.8.5	CASO #5A.....	102
14	<i>Conclusioni</i>	103
15	<i>Indice delle figure.....</i>	104
16	<i>Indice delle tabelle</i>	106
17	<i>Sitografia.....</i>	108
18	<i>Articoli</i>	111
19	<i>Appendice.....</i>	112
19.1	Codice Matlab	112
19.2	Tabelle Numeriche	115
19.2.1	Riferimento grafico 12.1.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di P "	115
19.2.2	Riferimento grafico 12.2.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di C "	116
19.2.3	Riferimento grafico 12.1.2 "Grafico andamento Q^* in funzione di P con dettaglio inversione"	116
19.2.4	Riferimento grafico 12.3.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di R "	116
19.2.5	Riferimento grafico 12.4.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di S "	117
19.2.6	Riferimento grafico 12.5.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di α "	117
19.2.7	Riferimento grafico 12.6.2 "Grafico Andamento Q^* in funzione di α con inversione di monotonia" ..	117
19.2.8	Riferimento grafico 12.7.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di w "	118
19.2.9	Riferimento grafico 12.6.1 "Grafico Andamento Q^* in funzione di λ "	118
19.2.10	Tabella di riferimento di calcolo per i service level	118
19.2.11	Tabella di dettaglio per conteggio di shortage impact tra componenti presi in considerazione da 'Tabella di riferimento di calcolo per i service level'	122
19.3	Dimostrazione passaggi dell'articolo	124

1 Premessa

La proposta di questa tesi nasce dal suggerimento di trovare un metodo quantitativo per la gestione delle problematiche relative alla situazione del mercato elettrico in generale a causa delle carenze di materia prima e componenti causati da una serie di eventi che guidati dalle conseguenze del Covid-19 ha fortemente impattato le catene produttive e del valore di molti settori. Il focus sul mercato elettrico è dato dal grande impatto che hanno avuto i semiconduttori e alcuni altri componenti con logistiche, produzioni o disponibilità specifiche.

L'interesse della tesi è quello di riuscire ad applicare metodi quantitativi sotto opportune ipotesi per determinare quale possa essere la migliore gestione degli ordini e delle scorte dei componenti più critici, rimanendo un modello generale che seguendo i vincoli previsti può essere applicato in diverse categorie e segmenti di mercato.

Nell'ambito aziendale, la selezione dei componenti più critici, così come è stata effettuata da Toyota permettendole di resistere all'impatto sul mercato della disruption della supply chain, e l'analisi sulla loro gestione in termini quantitativi, ma anche in termini di propensione al rischio in ambito decisionale, sono gli obiettivi che questa tesi vuole raggiungere partendo da studi effettuati negli ultimi anni.

La base dall'analisi si fonda su un modello di Newsvendor che include non solo il livello di avversione al rischio, già affrontato in alcuni studi precedenti ricercabili tra gli articoli (18), ma anche il backorder rate che non era mai stato affrontato congiuntamente con parametro di propensione al rischio applicato al modello di Newsvendor prima dello studio preso in considerazione risalente al 2020 che verrà introdotto nel capitolo 9.

Questo nuovo studio permette di inserirsi in un contesto fortemente influenzato dagli effetti del Covid-19 dal punto di vista della catena di fornitura e di gestione logistica e di magazzino, unitamente a valutazioni di tipo più generale sulle potenziali applicabilità future.

Come verrà sottolineato più volte, tutti i dati contenuti nell'elaborato sono stati modificati opportunamente per proteggere i numeri aziendali, pur mantenendo le relazioni e alcune proporzionalità e situazioni tipiche di alcuni componenti che sono necessarie e interessanti in fase di analisi.

2 Lista dei simboli

α livello di confidenza statistico

μ valore atteso medio

λ livello di avversione al rischio del decisore

w backorder rate

δ / ε errore o scarto rispetto al valore atteso medio

$\sum$ sommatoria

C costo

Min funzione minore

Sup $\{ \}$ estremo superiore dell'intervallo

K costante (o 'c' nel paragrafo)

Q^* quantità ottimale dell'ordine

VaR Value at Risk

CVaR Conditional Value at Risk

$E[X]$ valore atteso di X

$\int_{-\infty}^{\infty}$ integrale indefinito

ρ funzione di rischio generica

Φ^{-1} funzione inversa di distribuzione

3 Breve introduzione dell'azienda CNHi

CNH Industrial nasce formalmente nel novembre 2012, ma diviene effettivamente operante nel settembre del 2013. E' il risultato della fusione fra due importanti gruppi industriali: CNH Global e Fiat Industrial. CNH Global era una società nata a sua volta da una fusione, avvenuta nel 1999, fra, New Holland N.V. e Case Corporation. CNH Global concentra i propri sforzi su tre segmenti operativi: macchine agricole, macchine movimento terra e servizi finanziari.

Al tempo della fusione con Fiat Industrial, CNH Global poteva contare su un numero di 37 plant sparsi su 170 paesi. Fiat Industrial era un gruppo industriale italiano operante nel settore dei veicoli industriali pesanti e militari, autobus, macchine per l'agricoltura e le costruzioni e motori industriali e marini. Tale gruppo, nato dallo scorporo delle suddette attività da parte di Fiat Group, è stato attivo fra gli anni 2011 e 2013.

Tra la fine del 2021 e l'inizio del 2022 c'è stata una scissione del gruppo tra CNHi ed Iveco Group che sono diventate due entità legalmente separate dopo una collaborazione durata circa 10 anni.

I numeri riportati di seguito non tengono conto dell'aggiornamento completato della scissione definitiva con Iveco Group.

CNH Industrial è considerabile una delle più grandi compagnie produttrici di capital goods nel mondo.

È presente in 180 paesi e può contare su più di 64.000 dipendenti impiegati in un totale di 66 stabilimenti produttivi e in 54 centri di ricerca e sviluppo. (*chindustrial.com*)



Figura 1.1 – Stabilimenti CNHi; Fonte: *cnhindustrial.com*

Tralasciando il settore dei servizi i due settori principali su cui si sviluppa sono il settore AG – Agricoltura e CE – Construction, mentre il segmento CV è stato asportato insieme alla scissione da Iveco e powertrain (FPT) si occupa cross-sector della gestione dei motori per i segmenti precedenti.



Figura 1.2 – CNHi Industrial Foundation – I principali Brand; Fonte: cnhindustrial.com

AG

Agricultural Equipment progetta, realizza e distribuisce un insieme di macchinari pesanti, rivolti all'uso agricolo, come trattori, attrezzature per la semina e la raccolta e diffusori di 12 repellenti automatici. Agricultural Equipment, inoltre, è specializzata in altri segmenti chiave, come quelli della raccolta del cotone, della piantagione di zucchero e della piantagione dell'uva. Le linee di prodotto di Agricultural Equipment sono vendute tramite i marchi Case IH e New Holland Agriculture. A questi ultimi, si aggiunge il marchio STEYR in esclusiva per l'Europa, ed il marchio Miller per il mercato del Nord America e l'Australia. Ai brand appena elencati, che potrebbero essere definiti storici, si aggiungono i marchi Kongskilde, Overum e JF, inglobati a seguito dell'acquisizione del business grass and soil dall'azienda Kongskilde Industries, risalente al febbraio del 2017.

CE

Construction Equipment si occupa della progettazione, realizzazione e distribuzione dei macchinari impiegati nell'ambito costruttivo. È possibile suddividere i prodotti di Construction Equipment in due settori, ovvero Heavy Construction e Light Construction. Fra i prodotti di Heavy Construction vi sono gli scavatori su ruota, compattatori e livellatrici, mentre fra i beni catalogati come Light Construction ritroviamo, ad esempio, mini-scavatori, pale gommate compatte e sollevatori telescopici. La vendita e la distribuzione dei prodotti Construction Equipment viene effettuata tramite i marchi CASE Construction e New Holland Construction, quest'ultima si concentra principalmente nella vendita di Light Equipment, ad eccezione dell'America Latina dove si concentra anche sul segmento Heavy Construction.

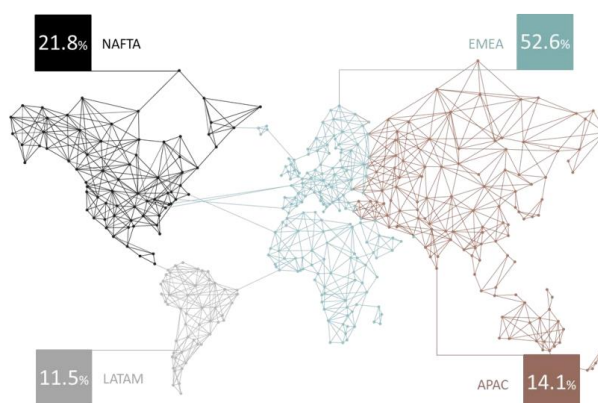


Figura 1.3 Distribuzione dei ricavi tra le varie Region; Fonte: CNH Industrial Corporate Presentation

4 Dal TPS al WCM – un breve riassunto dell’evoluzione dei sistemi

Il più rivoluzionario e impattante sistema di gestione e organizzazione della value chain di un prodotto è stato sicuramente messo in pratica dalla Toyota, che ha anche dimostrato, come vedremo in seguito, di essere tra le migliori aziende in termini di resistenza alle conseguenze della pandemia – ma proprio alcune ‘modifiche’ al suo classico sistema l’hanno aiutata a gestire meglio le situazioni di stockout per mancanza di materie prime e semilavorati.

Per iniziare a contestualizzare alcune riflessioni svolte sull’analisi verrà introdotto un breve riassunto dell’evoluzione del sistema di gestione aziendale.

1. Taylor e il metodo MTM (misurazione tempi e metodi)
2. Ford: la catena di montaggio e la produzione di massa
3. Toyota e i principi del TPS (Toyota Production System)
4. L’evoluzione del TPS nel WCM (World Class Manufacturing)
 - a. i principi tecnici
 - b. i principi manageriali di gestione dell’organizzazione

4.1 Il Toyota Production System (TPS) e la sua nascita.

Il principio dell’analisi della catena del valore parte con Taylor agli inizi del 1900 con quello che è il cosiddetto approccio ‘MTM’ Misurazione Tempi e Metodi. Questo particolare approccio innovativo per il periodo in cui fu introdotto si basava su quattro principi base utilizzati per organizzare il lavoro con metodo scientifico.

Il primo punto era lo studio e la raccolta dati dei metodi di lavorazione, includendo le modalità con cui veniva svolta ogni singola fase del processo stesso ➔ lo scopo era quindi di arrivare a definire degli ‘standard’ operativi da poter utilizzare come metrica, in particolare per ogni operatore di ciascuna fase veniva acquisito il tempo effettivo di lavoro e poi veniva calcolato un tempo standard.

Il secondo step era quello di dividere i vari operatori nei ruoli in cui potessero operare con il maggiore livello di efficienza; dopo aver definito il ‘modo di lavorare’ standard, si inseriva l’operatore corretto nell’attività in cui performava nel migliore dei modi.

Il terzo punto si focalizzava sulla soggettività del singolo operatore, voleva instaurare buoni rapporti di collaborazione tra i singoli operatori e i diversi livelli dirigenziali in modo da creare un ambiente di lavoro che supportasse la migliore espressione lavorativa del singolo.

Il quarto punto invece si focalizzava sui livelli più alti della gestione aziendale: puntava a riorganizzare il livello dirigenziale e a interporre, tra i livelli più alti decisionali e quelli più operativi, un organo predisposto alla programmazione dei metodi di sviluppo della gerarchia, che si sarebbe poi anche occupato di gestione e controllo dei problemi a livello aggregato e singolo.

Tra il 1908 e il 1914 gli insegnamenti del ‘taylorismo’ influenzarono gli sviluppi della Ford Motor Company. Henry Ford, fu il primo a pensare ad un’auto che potesse essere ‘per la massa’, accessibile quindi a tutti sia dal punto di vista del costo che dell’utilizzo; il costo dell’auto per la prima volta era inferiore al salario medio di un operatore. Oltre alla creazione di un prodotto per la massa, ci furono anche grandi incentivi per i singoli operai la cui paga venne quasi raddoppiata, mentre dal punto di vista dei costi aziendali si riuscì a diminuire del 58% circa, sostenendo senza problemi l’aumento dei salari. Questa spinta fece crescere le vendite esponenzialmente e il focus si spostò su quella che era la catena di produzione del veicolo stesso che andava ottimizzata. L’organizzazione del lavoro e la gestione del processo, in modo particolare sulla catena di

montaggio. Prevedeva infatti di organizzare le persone e le attrezzature da utilizzare secondo l'ordine effettivo di impiego nelle fasi. Rivoluzionare la gestione del movimento del prodotto, in quanto non era più l'operaio a cambiare postazione, ma l'operaio rimane fisso nella sua area di lavoro ed era il componente ad essere trasportato nelle varie fasi. Anche il montaggio veniva effettuato direttamente sul trasportatore di linea senza avere una zona dedicata disaccoppiata. L'ultimo punto da menzionare è inoltre la ricerca della standardizzazione dei componenti effettuata tramite l'imposizione ai fornitori di basse tolleranze sui pezzi richiesti.

Negli Anni '70 inoltre ci furono ulteriori sviluppi all'organizzazione di lavoro Fordiana, tra cui le isole di lavoro che vennero introdotte da Alfa Romeo e la ricerca dell'automatizzazione delle fasi di produzione che venne sviluppata dalla Fiat con l'idea di ridurre l'impiego dell'uomo.

Il Toyota Production System (TPS) nacque grazie alla spinta di rinascita dopo la sconfitta del Giappone della Seconda Guerra Mondiale. Inizialmente la Toyota cerca di imitare le tecniche di controllo di qualità in essere nel mercato americano, così come le loro linee di assemblaggio. Per poter raggiungere quello che è riconosciuto come il TPS la Toyota dovette rovesciare alcuni dei cardini del modello Fordista e rivoluzionare il sistema gestionale; questo modello si è sviluppato tra gli Anni '80 e '90 ed è anche riconosciuto come Lean Production.

Il TPS si basa quindi su due idee fondamentali: il cosiddetto 'just in time' e l'idea del 'Kaizen' o miglioramento continuo. Questi due principi base sono anche conosciuti come i due 'pilastri' fondanti e hanno in comune l'idea di base di eliminare totalmente gli sprechi. L'idea del just in time rispecchia la volontà di fare arrivare ogni componente in linea nell'esatto momento in cui serve e con le corrette quantità necessarie; dalla linea poi il concetto si estende a tutta la catena del valore dall'ordine primario del cliente alla gestione delle scorte e degli ordini ai fornitori. Il miglioramento continua si traduce nella volontà di ridurre i difetti e gli sprechi di produzione, non solo aumentando la percentuale di automazione a scapito dell'utilizzo dell'operatore, ma anche riuscendo a individuare le anomalie e poter bloccare e risolvere nel minor tempo possibile le problematiche. Seguendo il principio del Kaizen ogni volta che si incontra un'anomalia si deve tenerne traccia e agire per poter rimuovere le cause della stessa.

L'idea del just in time applicata al settore industriale dell'automotive venne studiata e acquisita dall'osservazione dei supermarket americani che rispecchiavano perfettamente il concetto in quanto, il cliente era in grado di avere il prodotto che desiderava nella quantità esatta che desiderava e in tempi ridotti. Da questa osservazione fu introdotta la gestione tramite i 'Kan Ban' o cartellini che hanno come obiettivo il tracciamento del flusso e dello stato di ogni singolo prodotto.

L'eliminazione di sprechi e inefficienze veniva anche applicata anche con l'eliminazione dei magazzini intermedi tra le postazioni di lavoro per eliminare stock e semilavorati fermi in eccesso. Un'ulteriore strategia è quella della sincronizzazione dei componenti: i componenti principali venivano prodotti nello stesso ordine delle fasi di montaggio, seguendo la stessa sequenza con un tempo fisso e standardizzato. Anche la disposizione nello spazio dei materiali sulla linea veniva studiata in modo da eliminare i rischi e ridurre il tempo di spostamento degli stessi, questo serviva a diminuire il materiale provvisorio in zone adiacenti alla linea.

4.2 Pull, Push e JIT

Il just in time viene ideato pensando al processo al contrario, partendo da monte e arrivando a valle; il flusso parte dal bisogno del cliente e arriva fino alla produzione all'inizio della catena del valore gestita dall'azienda, per farlo venivano utilizzati i 'Kan Ban' che tramite il loro spostamento e aggiornamento segnalavano l'ordine a valle. Questa tipologia di gestione e visione ribaltava quello che era il classico sistema di programmazione che da 'push' diventava 'pull', trainata dalla domanda. Come risultato finale si eliminavano parte dei magazzini, alcuni operai e impiegati e anche parte dell'ufficio di programmazione della produzione. Il sistema gestito in questo modo riusciva a sincronizzare il flusso partendo da quello che era l'ordine finale del cliente.

Lavorare con una logica 'pull' presuppone che ci sia un'effettiva richiesta da parte di un cliente, senza un effettivo output il processo non parte. Tutto il flusso viene tirato dall'ordine e funziona se il cliente finale può attendere tutto il tempo del processo.

Lavorare invece con logica 'push' non presuppone che ci sia una richiesta effettiva di un output del processo. Quando il cliente effettua un ordine il prodotto è già disponibile; quindi, il magazzino diventa elemento fondamentale del flusso; con push si intende un flusso spinto dalla previsione della domanda e non dagli ordini effettivi.

Le due logiche devono spesso essere bilanciate in quanto la logica di tipo 'pull' aiuta a vendere tutto quello che viene prodotto, diminuendo le scorte e le eccedenze, mentre la logica 'push' riduce al minimo le tempistiche di attesa del cliente una volta effettuato l'ordine, comprime il lead time totale a scapito di dover mantenere dei livelli di scorte a magazzino diversi da zero.

	JUST IN CASE	JUST IN TIME
OBIETTIVO PRINCIPALE	Massima efficienza	Massima efficienza
MAGAZZINI	Parte del sistema	Spreco: da eliminare
LEAD TIME	Presi come dati e incorporati nella routine di pianificazione	Ridotti al minimo
DIMENSIONI DEI LOTTI	Prese come date e viene calcolata la dimensione conveniente	È uno degli obiettivi a causa della flessibilità del sistema
PRODUZIONE	Diversi metodi - modelli MRP (Manufacturing Resource Planning)	Previsioni centralizzate
PIANIFICAZIONE & CONTROLLO	I sistemi esistenti vengono ottimizzati. Vengono richieste informazioni sugli ordini urgenti.	In coordinazione con il controllo pull locale
AVVIO DELLA PRODUZIONE	Pianificazioni decise grazie ad algoritmi. Liste di ordini urgenti.	Bisogni urgenti di unità down-stream attraverso Kanban
QUALITÀ	Livelli accettabili, enfasi sull'identificazione dei difetti.	Nessun difetto. Prevenzione degli errori.
FOCUS DELLE PERFORMANCE	Efficienza dell'unità	Efficienza del sistema/organizzazione
ORGANIZZAZIONE	Funzionale, basato sugli input	Strategico, basato sugli output
FORNITORI	Molteplici, distanti e indipendenti	Unico o duplice fornitore, visto come estensione della produzione

Tabella 4.2.1 'Just in Case e Just in Time'; fonte: pwc.com 'supply chain issues', 2019

La grande innovazione che è stata portata dal Toyota production system è basata sull'idea del miglioramento continuo. Non deve essere una scala di step successivi che vanno implementati per raggiungere un migliore livello di efficienza, bensì un ciclo continuo riapplicato all'infinito e deve essere applicato dagli stessi operatori in produzione.

L'idea del 'Kaizen' è quella di 'cambiare in meglio e continuare a migliorare'. Uno dei punti fondamentali è quindi 'cercare di fare di più utilizzando di meno', essenziale è quindi il focus alla riduzione degli sprechi che è stata affrontata introducendo il controllo qualità con ispezione visiva della linea di produzione, effettuato direttamente dagli operatori e dai tecnici di linea. In questo

modo l'operatore è chiamato ad avere più potere decisionale nell'individuare l'anomalia e poter fermare la produzione per evitare prodotti non conformi e limitare gli sprechi; deve collaborare creando un team che sappia interagire e intervenire per eliminare direttamente le cause del difetto, trovando una soluzione definitiva e non solamente risolvendo il singolo problema senza risalire alla radice (uno dei metodi introdotti è quello dei '5 perché', che consisteva nel chiedersi per cinque volte consecutive la causa di un certo avvenimento, solitamente un fermo macchina o un'anomalia, in modo da individuare la radice primaria, la causa da correggere).

Questo serve a ridurre i tempi di fermo macchina, aumentare la qualità del prodotto e creare un ambiente in cui ci sia maggiore sicurezza per l'operaio e per l'utilizzo delle macchine. Queste aree di miglioramento continuo sono riconducibili al 'Just in Time', alla 'Total Quality Maintenance' e ai metodi di 'Problem Solving' che si rispecchiano anche nell'organizzazione stessa delle fasi di lavoro e del posto di lavoro stesso espresso nei suoi spazi.

In ottica di miglioramento continuo si è iniziato a prendere in considerazione anche l'organizzazione della struttura aziendale. I singoli team che seguono processi sia funzionali che inter funzionali diventano responsabili dei propri risultati e di quelli dell'intera funzione aziendale.

La cultura aziendale organizzativa si basa quindi sulla collaborazione, questo ultimo e ulteriore punto di sviluppo in contrasto rispetto all'organizzazione gerarchica, che divide la responsabilità secondo livelli decisionali e diminuisce lo scambio informativo tra i vari livelli. L'obiettivo finale anche in questo caso è formalizzare dei KPI per agevolare lo scambio informativo e l'efficienza in termini di risorse impiegate e tempistiche.

4.3 La nascita del WCM

Il WCM nasce e si sviluppa intorno agli anni '80 per la volontà di introdurre il TPS nelle imprese americane; la spinta definitiva è data dalla crisi del decennio successivo che, dopo la riduzione di organico e la perdita di personale ad alta competenza, creò l'ambiente ideale per poter sviluppare gruppi di ricerca che potessero costruire modelli di miglioramento continuo ancora più evoluti del TPS.

Il WCM introdotto in FCA (Fiat Auto Group) aveva come principali innovazioni il focused improvement o miglioramento mirato e il cost deployment o costo di distribuzione; entrambe queste metodologie innovative per il gruppo richiamavano concetti del TPS e li sviluppavano con maggiore attenzione alla riduzione degli sprechi e un intervento mirato nelle aree di effettivo interesse tramite il cost deployment che individua i fattori ultimi che causano inefficienze in un processo produttivo e propone step di miglioramento generici applicabili ad ognuna.

Gli sprechi maggiori avvengono inoltre in ambito logistica e controllo qualità dei materiali, con perdite, inefficienze o sprechi produttivi; anche in questo caso il metodo 'costi-qualità' riprendeva concetti cardine del TPS, quali la centralizzazione del personale, incluso quello di linea, per individuare e analizzare in prima battuta l'output dei processi e le possibili cause di fermi o inefficienze.

Dopo il riconoscimento del WCM come tale in FCA, vennero introdotti quelli che sono definiti i 10 pilastri tecnici del WCM, 10 principi che definiscono il metodo e ne danno le indicazioni per applicarlo.

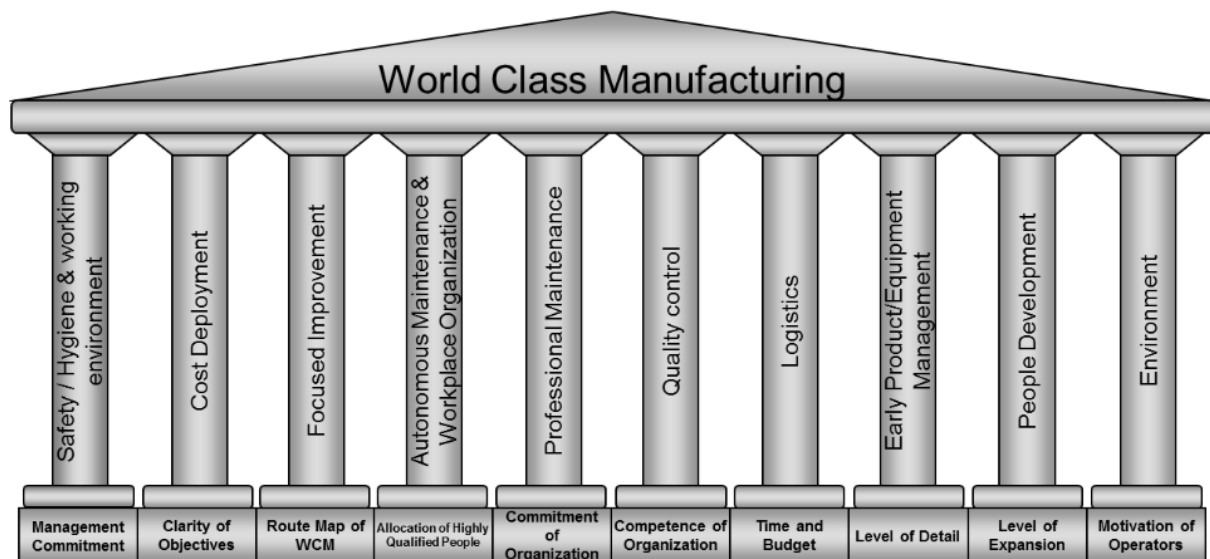


Figura 4.3.1 'I 10 pilastri del WCM'; fonte: hbt.com

Come è possibile vederli riassunti anche in maniera visiva a rappresentare dei veri e propri pilastri, elenchiamo qui i 10 principi fondanti del WCM:

1. **Safety** – molte volte lo si trova come primo dei pilastri, inteso come pulizia ed igiene nella gestione del luogo di lavoro, unitamente all'organizzazione delle attrezzature e degli step lavorativi del singolo operatore.

2. **Cost Deployment** – come già anticipato è il metodo principale innovativo introdotto dal WCM che punta a chiarificare gli obiettivi e le zone specifiche su cui intervenire per migliorare l'efficienza e diminuire gli sprechi attraverso un metodo a step successivi ed iterativi che vengono utilizzati insieme al focused improvement. L'obiettivo è di dare un vero e proprio costo oggettivo rispetto a parametri agli sprechi o inefficienze.
3. **Focused Improvement** – miglioramento focalizzato, una volta individuate le aree specifiche di miglioramento solo quelle con maggiore trade off rispetto allo sforzo applicato al miglioramento vengono prese in considerazione e priorizzate. Questo può avvenire attraverso la creazione di KPI che vengono poi raggruppati nell'OEE overall equipment efficiency.
4. **Autonomous maintenance & workplace organization** – pilastro che si unisce a quello della sicurezza, la gestione del posto del lavoro e dell'organizzazione della propria postazione diventa una responsabilità anche del diretto operatore che deve essere in grado di disporre e organizzarsi autonomamente e nel miglior modo possibile dettato dalla sua specifica esperienza – in questo modo la qualifica del singolo individuo acquista ancora più valore
5. **Professional Maintenance** – l'organizzazione e i livelli del management si prendono in carico il mantenimento di procedure e principi che seguano gli altri pilastri per poter continuare il miglioramento una volta raggiunti i primi risultati.
6. **Quality control** – uno dei pilastri più ampi del WCM. Anche questo pilastro è collegato ad ognuno degli altri nove. Si può suddividere il controllo di qualità in diverse sottofasi: prioritizzazione degli scarti e delle perdite più importanti, controllo del processo e dei metodi di lavoro, monitoraggio del mancato raggiungimento della qualità e individuazione delle cause principali, metodi per la prevenzione dell'errore e infine la standardizzazione (di metodi, tempistiche, organizzazione e raccolta dati). Uno degli esempi per la realizzazione della qualità è il metodo del poka yoke e la ripresa dei cosiddetti cartellini Kanban che riducono al minimo l'errore umano di confusione e dimenticanza.
7. **Logistics** – come già anticipato la gestione della logistica è parte fondamentale del WCM in quanto la minimizzazione delle scorte e il raggiungimento della massima efficienza implicano l'applicazione di metodi quali JIT e logiche pull. Il trade-off da ricercare sta quindi nel tempo e nei costi che si vogliono bilanciare.
8. **Early Product/Equipment Management** – viene sottolineato in questo punto il livello di dettaglio elevato che deve avere l'analisi delle cause alla radice di comportamenti scorretti e quindi perdite ed inefficienze oggettive ma anche soggettive, relative quindi al singolo comportamento della persona.

9. **People Development** – inteso anche come livello di espansione personale tramite lo sviluppo delle competenze attraverso job rotation e continuo scambio informativo con le diverse aree aziendali nell’ottica di lavoro per obiettivi comuni.
10. **Environment** – passando sugli ultimi tre pilastri che sono più specificatamente improntati alla persona e alla gestione delle cosiddette risorse umane, troviamo come ultimo pilastro quello dell’ambiente lavorativo; questo deve motivare il singolo lavoratore e deve spronarlo a fare meglio e aiutare le persone con cui interagisce. Gli ultimi tre pilastri mirano a quello che è definito l’empowerment del personale aziendale



Figura 4.3.2 ‘Gli obiettivi Zero del WCM’; fonte: hbt.com (/radotta)

Uno dei punti fondamentali della gestione del WCM è quello dell’obiettivo zero. Con obiettivo zero si intende il raggiungimento di uno stato di gestione ideale in cui si verificano:

- **ZERO Sprechi**
- **ZERO Difetti**
- **ZERO Guasti**
- **ZERO Scorte di magazzino**

In una visione più generale, che vede anche la parte di gestione delle transizioni e del flusso informativo aziendale, è possibile anche individuare gli zeri che hanno come obiettivo l’efficientamento dei flussi non solo in termini oggettivi.

L’obiettivo comprende anche evitare di perdere informazioni e opportunità, riduce la burocrazia per snellire i processi ed evitare complicazioni che farebbero allungare le tempistiche decisionali e ridurrebbero la focalizzazione su obiettivi specifici. L’orientamento al cliente e la cultura innovativa del lavoro inoltre danno un’ulteriore spinta verso la responsabilizzazione del singolo lavoratore o elemento aziendale e migliorano le performance totali delle funzioni aziendali e dell’azienda stessa come aggregato.

4.4 ZERO Scorte

Proprio uno dei cardini fondamentali del WCM è quello della gestione del magazzino e delle scorte. Il focus su questo argomento è dato dalle implicazioni logistiche e di inventario che hanno avuto un ruolo chiave tra le cause della gestione e dell'impatto della crisi data dal covid.

Con zero scorte si identifica anche la limitazione al minimo o quasi dell'inventario, strategia di pianificazione logistica come abbiamo visto tipica del JIT, il cui obiettivo è limitare il numero di stock a magazzino per singolo componente e per famiglie di componenti per poter risparmiare spazi ed evitare costi di stoccaggio non a valore aggiunto diretto. Anche il cosiddetto inventario o stock di sicurezza viene fortemente limitato o azzerato in tutti i casi in cui viene ritenuto possibile a causa di mancanza di spazio o costo troppo elevato. L'eliminazione dei sovraccosti è tipica del sistema JIT come già anticipato ma anche dei sistemi più complessi quali il cross-docking. Come tutti gli altri cardini e strategie del WCM la mira è alla massimizzazione del rendimento di tutti i processi e l'eliminazione di tutti i difetti o sprechi che incrementano direttamente o indirettamente i costi della società.

Chiaramente i vantaggi e gli svantaggi sono da tenere in forte considerazione e l'impatto che ha avuto il covid su alcuni settori, tra cui quello elettrico e nello specifico dei semiconduttori, ha di fatto riportato un grande focus su queste tematiche ed alzato diverse riflessioni più specifiche nella gestione.

Riduzione delle perdite di stock

La gestione zero scorte punta a diminuire e possibilmente eliminare le scorte, quindi riduce le probabilità di perdita di stock a causa di deterioramento o di prodotti non richiesti o non più utilizzati. Soprattutto l'automotive come nel caso specifico dell'analisi ha una lista di componenti particolarmente soggetti ad inventario obsoleto che rischiano di diventare investimenti prima immobilizzati e poi persi. Inoltre se ci sono variazioni di domanda importante o ciclicità si inserisce un ulteriore rischio, così come avvenuto nel momento di disruption della supply chain nel mercato elettrico.

Risparmio dei costi di magazzino

Una conseguenza diretta del minore utilizzo di stock è la diminuzione dei costi associati per la gestione e il mantenimento delle riserve a magazzino. Un vantaggio della strategia zero scorte è quello di limitare lo spazio e il numero di magazzini stesso utilizzati da un'azienda per poter razionalizzare le eventuali uniche scorte imprescindibili e strettamente necessarie al mantenimento del flusso logistico e produttivo. In questo modo si ha anche l'opportunità di migliorare altre aree non dedicate allo stoccaggio quali quella di ricezione e smistamento o di controllo dei lotti in entrata. Inoltre è possibile determinare una gestione più snella con l'utilizzo di buffer intermedi sia in produzione che a partire dallo stoccaggio diretto temporaneo dei componenti in aree provvisorie; in questo ultimo caso la gestione però si complica esponenzialmente.

Ottimizzazione del capitale umano

Come già sottolineato il WCM ha un forte orientamento anche alla persona stessa e alla sua realizzazione e sviluppo all'interno dell'azienda. Il numero di operatori che deve gestire lo stock di componenti quindi diminuisce e può essere dirottato verso attività a maggiore valore aggiunto per l'azienda e per lo sviluppo dell'operatore stesso.

I principali problemi legati a questo tipo di gestione sono quelli relativi alla massima precisione esecutiva di tutte le fasi della logistica di approvvigionamento, le rotture di stock sono molto sensibili e avvengono appena un'entrata o un'uscita di merce non viene registrata correttamente in termini di quantità e tempistiche o non corrisponde all'ordine effettivo. Senza la gestione di uno stock di sicurezza o alcun tipo di scorta, il modello risulta poco flessibile e con una logistica non elastica; non sono adatti a cambiamenti di domanda o picchi particolari data la tempistica di reazione molto lunga.

Da una parte quindi la gestione permette un'ottimizzazione delle risorse e un efficientamento dei costi di stoccaggio con minimizzazione dell'impatto del magazzino; dall'altra richiede una precisione elevata che se non rispettata rischia gravi danni alla logistica e all'emissione degli ordini con possibili conseguenze anche dal punto di vista del danno di immagine aziendale e di deterioramento dei rapporti commerciali.

Il punto sulla scarsa flessibilità e la poca scorta hanno influenzato negativamente l'incremento esponenziale di domanda di componenti, tra cui semiconduttori, e la minimizzazione di scorte e la scarsa reattività alla fluttuazione di mercato ha reso vulnerabili diverse aziende e intermediari della catena di fornitura. Questo è il motivo per cui il

Riferimenti capitolo: 17.3, 17.7, 17.22, 18.1, 18.2, 18.16.

5 Il mercato dei semiconduttori nell'ultimo biennio e i suoi sviluppi

Per poter comprendere meglio il contesto da cui l'analisi oggetto della tesi è partita, è bene avere una chiara idea della struttura del mercato dei semiconduttori dell'ultimo anno e confrontarla successivamente con la sua evoluzione dagli anni precedenti. Questa contestualizzazione è dovuta al motivo

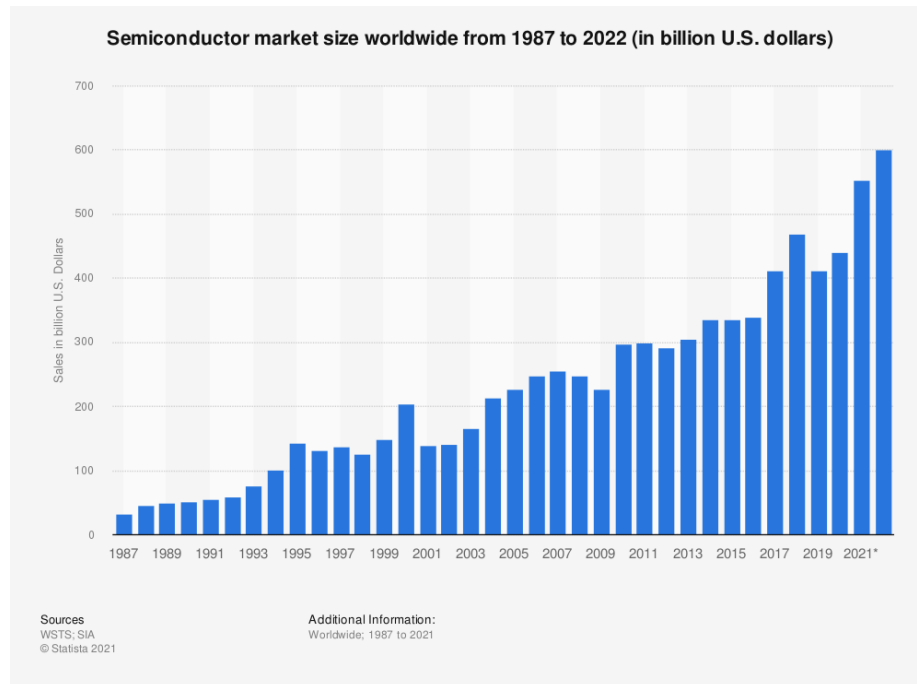


Figura 5.1 'Semiconductor Market Size'; fonte: Statista.com

Prendendo in considerazione lo scenario globale, i revenues del mercato dei semiconduttori hanno avuto nel corso degli anni un lento, ma costante, trend di aumento. Se prendiamo in considerazione gli ultimi 5 anni, vediamo come il mercato sembrava essersi assestato su un livello di equilibrio (2012-2016) intorno ai 335 miliardi di dollari, mentre a ricominciato la sua crescita a partire dal 2017, con un enorme aumento nel 2018 (468 miliardi di dollari) seguito dalla caduta del 2019-2020 causata dalle conseguenze dell'impatto del covid-19 che cercheremo di spiegare. A fine 2021 il mercato ha raggiunto i 550 miliardi di dollari circa, con una proiezione nel 2022 di 600 miliardi. Il mercato sembrerebbe quindi non solo essersi ripreso, ma ha anche aumentato il tasso di crescita year over year. L'evoluzione delle applicazioni del mercato dei semiconduttori è stata tracciata da uno studio, partendo dalle quote di utilizzo del 2019, nella sua evoluzione durante il covid (2020-2021) è stato predetto un modello di forecast sull'anno 2024. L'impatto dello smartworking e la rapida espansione ed integrazione tecnologica nella vita quotidiana hanno fatto da boost per tutti i settori. I maggiormente impattati a livello di espansione sono certamente i data center, server e storage di dati, unitamente agli smartphone che stanno diventando sempre più performanti. Il settore automotive è stimato in crescita del 50% circa nei prossimi 4-5 anni, la distinta dei materiali dei veicoli in termini di componenti elettrici ed elettronici aumenterà di circa il 30% (*Boston Consulting Group, BCG.com*), sottolineando l'introduzione sempre più aggressiva di veicoli completamente elettrici o ibridi, molto è stato fatto anche dal punto di vista politico-sociale a sostegno di questa campagna rivoluzionaria di veicoli elettrici nell'uso comune, probabilmente a partire dal 2025. Oltre all'espansione della BoM dei veicoli, si prevede che la % di peso dei componenti elettrici ed elettronici all'interno del costo totale dell'automobile potrà raggiungere il 50% entro il 2030 (*Statista.com*).

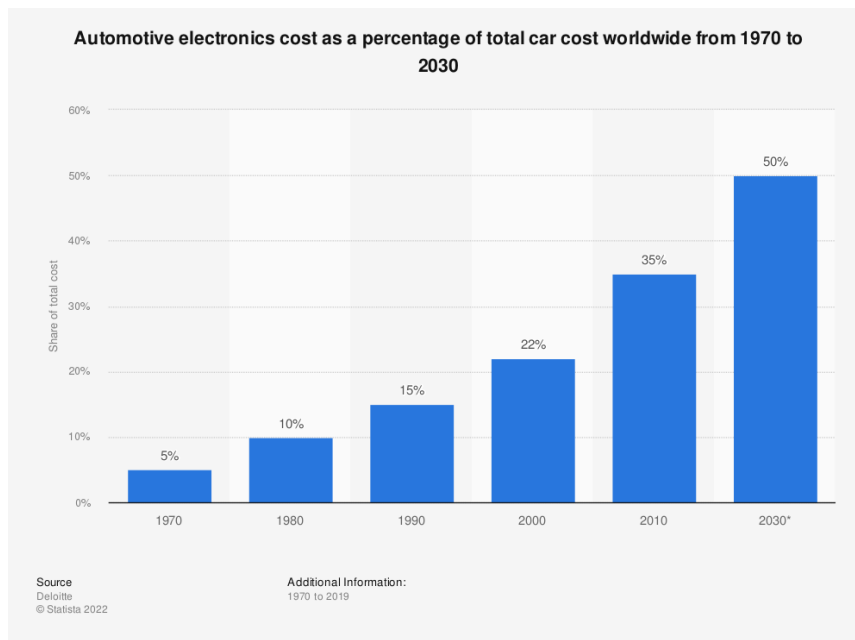


Figura 5.2 ‘Automotive electronic cost’; fonte: Statista.com

Non avranno invece un’espansione altrettanto grande le applicazioni dei semiconduttori nel segmento dei PC e dell’elettronica d’ufficio come visibile dal grafico successivo (figura 5.3)

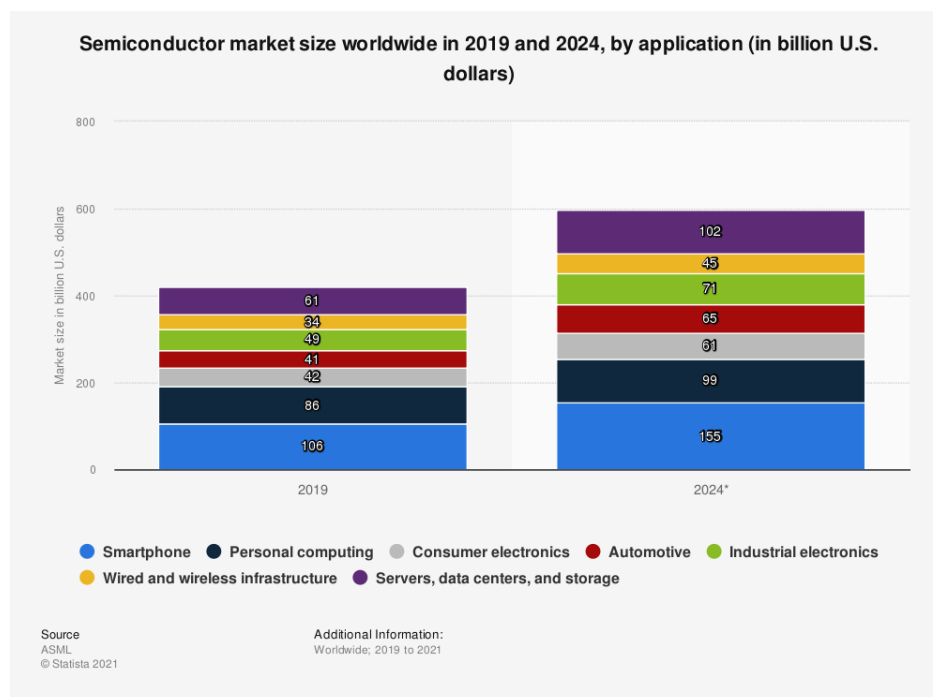


Figura 5.3 ‘Semiconductor market size 19-24’; fonte: Statista.com

Un altro fattore estremamente importante per valutare al meglio la situazione del mercato e la sua evoluzione in tempi di covid, è tenere conto della prevalenza del mercato manifatturiero asiatico e la sua continua espansione, che sta togliendo quote di mercato negli ultimi 25-30 anni e sembra che il trend non voglia invertirsi. Da un mercato produttivo diviso prevalentemente tra USA, Europa e Giappone degli anni '90, si è passati all'introduzione sul mercato di Taiwan e Sud Corea, seguite poi in un periodo successivo dalla Cina.

Vediamo dal grafico sotto come ancora una volta abbiamo conferma della delocalizzazione della produzione dei wafer e dei semiconduttori divisa tra Cina, Sud Corea e Taiwan, seguite poi da Giappone e in minore percentuale Europa e America. Le prime tre potenze manifatturiere degli anni '90, che detenevano sostanzialmente più del 98% di tutto il mercato, si ritrovano ora a ricoprire solo il 35% del mercato totale. La supply chain, come vedremo in seguito, ha subito una drastica evoluzione e i vecchi maggiori produttori di chip sono diventati sostanzialmente clienti del mercato produttivo che si è spostato in Asia. Qui possiamo inoltre trovare il primo segnale di allarme del rischio della nazionalizzazione e della protezione della territorialità che è emerso proprio negli ultimi anni segnati dalla pandemia, come reazione e protezione da ulteriori minacce esterne. I dati sotto riportati nel grafico sono stati stimati a partire dal 2019-2020 con una proiezione su 10 anni (*Statista.com*).

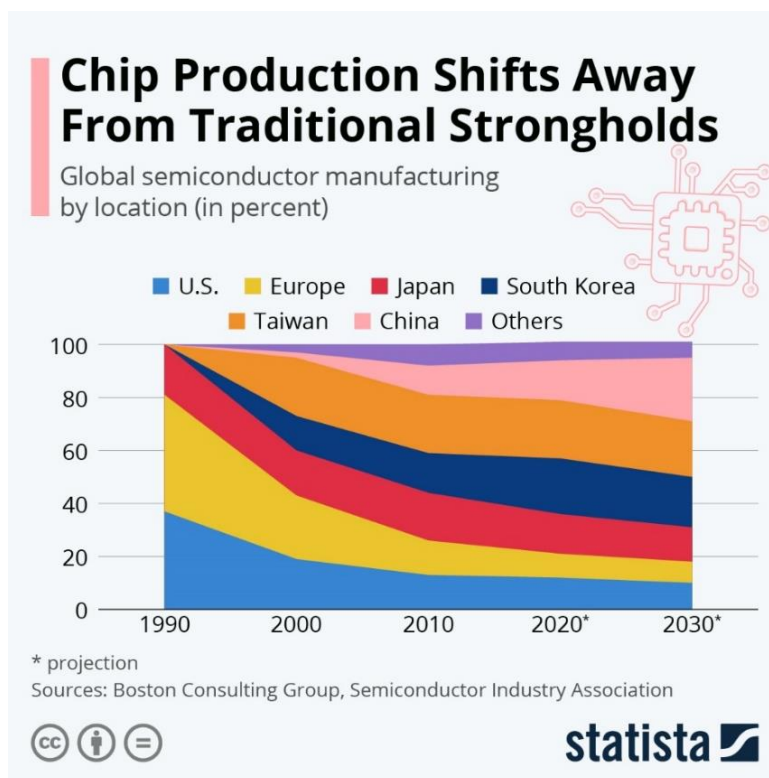


Figura 5.4 'Global semiconductor manufacturing by location'; fonte: Statista.com

Per avere un'idea della domanda di semiconduttori nel primo anno dopo lo scoppio della pandemia, vediamo come in realtà i segmenti maggiori rimangono quello della telecomunicazione e dei computer, settori che avrebbero dovuto essere seguiti con più attenzione dallo stesso mercato automotive che è sembrato trascurare le potenziali minacce di crescita di domanda e di utilizzo e consumo di semiconduttori nell'ultimo biennio da fette di mercato complementari che attingono allo stesso bacino di fornitori. Sotto nella tabella la stima della SIA (Semiconductor Industry Association, figura 5.5) che ha rielaborato le percentuali nel primo anno di parziali conseguenze del virus.

Adjacent industries competing for the semiconductor

End Use Category	Demand Share by End use	Total Value (\$ Billion)
Communication	33%	136.0
Computer	28.5%	117.3
Consumer	13.3%	54.7
Automotive	12.2%	50.2
Industrial	11.9%	48.9
Government	1.3%	5.2

Source: Semiconductor Industry Association, 2020

Figura 5.5 'Industrie coinvolte nel mercato dei semiconduttori'; fonte: SIA, 2020

Come si può notare dalla tabella il settore automotive è il quarto utilizzatore di semiconduttori nel mercato con un 12,2% del totale del valore stimato globale del mercato end-user.

5.1 La supply chain dei semiconduttori nel mondo

Un altro dei motivi che ha portato maggiore impatto delle cause del covid-19 sul segmento è proprio la catena del valore che caratterizza i semiconduttori in generale, così come altre tipologie di componenti elettronici complementari e derivati o assemblati da essi.

Le fasi principali della catena del valore dalla produzione all'end user dei semiconduttori possono essere raggruppate in tre macro-fasi.

Design: i design dei semiconduttori vengono inizialmente creati, sia per utilizzo globale che per utilizzo specifico. Questo viene effettuato da aziende di semiconduttori non-fabbricanti, da aziende manifatturiere elettroniche o da aziende di design indipendenti.

Manufacturing: è divisa in due parti, nella parte front end del processo i semiconduttori vengono creati da fonderie o aziende manifatturiere esterne, la realizzazione avviene con la creazione del cosiddetto 'wafer' di silicone che viene poi diviso in più chip nei vari step del processo produttivo. Nella parte back end del processo i vari chip creati vengono assemblati in pacchetti che saranno il core dei componenti elettronici che potranno essere a loro volta montati sulle schede di circuito. In questa parte è incluso il testing a diverse temperature e condizioni di voltaggio/amperaggio elettrico. A volte il processo di assemblaggio e testing può essere fatto da un'azienda esterna al processo in outsourcing.

End product integration: i chip sono integrati nei prodotti dalle OEM (Original Equipment manufacturers) o dalle EMS (Electronic Manufacturing Service) che si occupano anche della vendita del prodotto una volta integrato. Un'eccezione a questo processo sono gli IDMs (Integrated Device Manufacturers) che a differenza del modello di approvvigionamento separato, creano i propri chip e li integrano direttamente; solitamente queste ultime hanno comunque una parte di fornitura manifatturiera dei chip sostenuta dalle fonderie. A questa fase seguono quelle legate alla distribuzione fino all'end user.

Una cosa importante da sottolineare è come queste fasi siano distanti tra loro dal punto di vista fisico-geografico. Nella mappa riassuntiva (figura 5.1.1) vediamo come si possano individuare delle macroaree in cui queste fasi si suddividono: mentre la fase di design è maggiormente concentrata nell'America centro-settentrionale, la parte di manufacturing e produzione vera e propria fino all'integrazione e ai testing è concentrata tutta in Asia. L'Europa gioca un ruolo fondamentale invece nello sviluppo di brevetti e delle tematiche legali legate alla proprietà intellettuale dei prodotti, inoltre è centrale nel flusso di distribuzione dei prodotti integrati. Questa scelta è prettamente legata alla criticità di dover eventualmente separare le fasi più delicate del ciclo produttivo, ovvero quelle di creazione dei wafer con quelle di manufacturing, seguite poi dall'integrazione e l'assemblaggio. Anche la fase di testing non può essere separata e svolta internamente dal fornitore finale del prodotto perché qualsiasi tipologia di mancato requisito tecnico o test non superato richiederebbe di rimandare eventualmente indietro il lotto fino al produttore finale o tester che svolge i test end of line dei vari componenti singoli o assemblati, quindi poter avere le fasi geolocalizzate in maniera strategica è fondamentale per la gestione più rapida non solo del flusso standard dei componenti, ma anche per una gestione più snella delle problematiche.

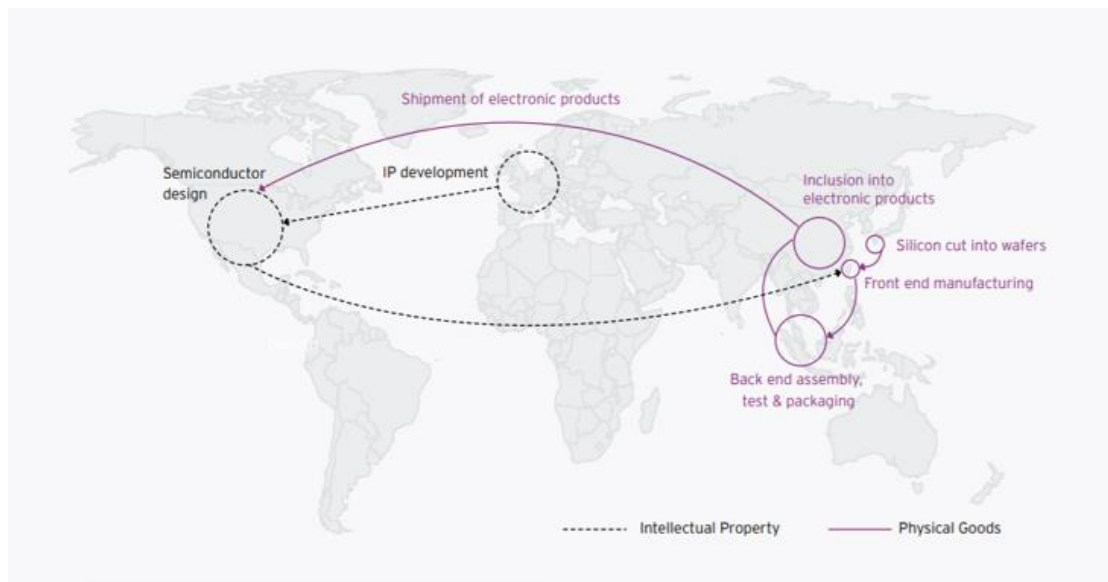


Figura 5.1.1 ‘Mappatura supply chain’, fonte: Fortunebusinessinsight.com

La supply chain del settore automotive delle applicazioni dei chip e dei semiconduttori è molto più concentrata di quello che potrebbe sembrare guardando solamente alle percentuali di quote del mercato. Mentre la value chain è per lo più suddivisa e frammentata dal punto di vista non solo gestionale e organizzativo da parte di diverse imprese, ma anche da un punto di vista di geolocalizzazione. Questo fa in modo da dover aggiungere un ulteriore punto all’analisi, la rete di distribuzione e produzione è su pianta globale, raggiungendo possibili cause da tenere sotto controllo dal punto di vista dei ritardi; anche in regime stazionario ritardi amministrativi o minori possono incidere propagandosi in maniera esponenziale.

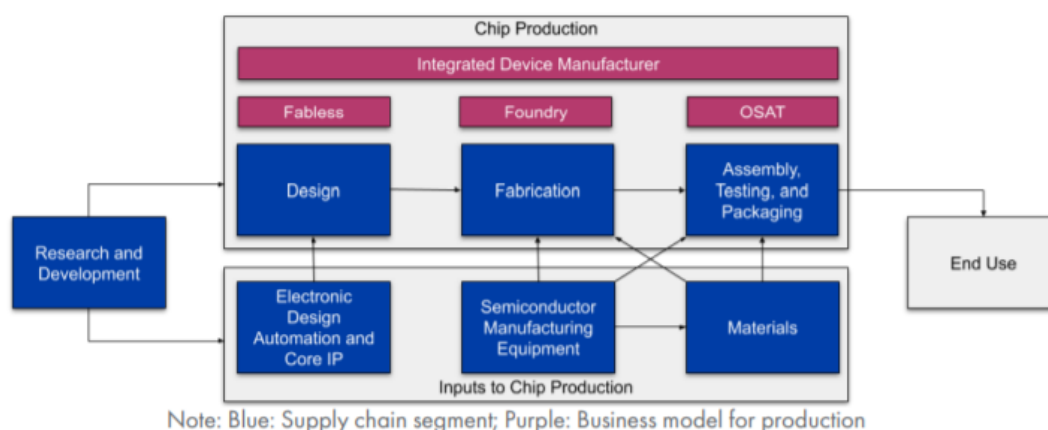


Figura 5.1.2 ‘Chip Production Model; fonte: theeconomictimes.com

Prendendo come esempio alcuni fornitori di unità di micro controllo (MCU) maggiormente impattati da disruption tra il 2020-2021, vediamo come molti non producono in-house i semiconduttori ma fanno outsourcing come la maggior parte dei fornitori finali di semiconduttori; il fattore da sottolineare è la forte dipendenza da *TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company)*, che non solo detiene la maggior quota di share nel mercato semiconduttore, ma è legata alla supply chain dei fornitori che si appoggiano per la fase produttiva ad un’azienda esterna, e quando non completamente incaricata del 100% della quota produttiva, rientra comunque nel gruppo di aziende manifatturiere esterne scelte.

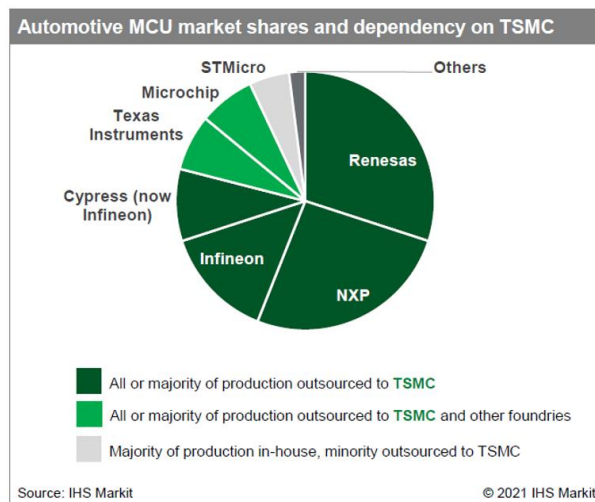


Figura 5.1.3 ‘Automotive MCU market share and dependency on TSMC’; fonte: IHS Markit, 2021

L’impatto su quella che è tutta la catena, è stato il crollo di produttività della principale fornitrice manifatturiera di chip. TSMC a causa della scarsità e difficile reperibilità delle materie prime ha diminuito notevolmente il suo output produttivo (*GEP consulence, 2020*); inoltre un grosso impatto lo ha avuto anche la parziale chiusura e la riduzione di forza lavoro causata dalla diffusione del covid-19. Questo ha causato, nonostante l’aumento delle vendite nel 2020 del 25% rispetto al 2019, una diminuzione del margine operativo dell’18% (Bilanci pubblici TSMC). Un’interessante osservazione da fare è capire come la TSMC in realtà risulti di fatto il centro di fornitura di un portafoglio di distributori che potrebbe erroneamente sembrare particolarmente differenziato, ma che in realtà si appoggia per il 70% della fornitura totale all’apporto di TSMC (*IHS Markit*). Un’altra osservazione su TSMC è data dai suoi investimenti in ricerca e sviluppo che nel Q1 del 2021 sono diminuiti dell’80%, ed è probabilmente l’indice di criticità dei bilanci aziendali della stessa che si sono scontrati con il dover sostenere l’operatività contro una riduzione di vendite e margine; nonostante la ripresa del mercato, la forte diminuzione dei margini e gli extra costi legati a procurement e ricerca di materiali hanno reso inevitabile tagliare le spese in altri settori e, come spesso accade erroneamente, il settore più facile in cui ‘recuperare i soldi’ evitando tagli a spese operative è proprio quello degli investimenti. Il grosso problema è quello di cadere nella trappola della visione a breve termine, risulta ai libri un buon risparmio ed una diminuzione dei costi e delle uscite di cassa ma a lungo termine verrà evidenziato il mancato potenziale valore aggiunto degli investimenti tagliati. Questo potrebbe essere un ulteriore campanello di allarme per la futura dipendenza dall’azienda, nonostante i numeri delle vendite sembrano dare ragione alle scelte aziendali, finché i margini lordi e netti e i ROE e ROA non crescono a ritmo costante come nel periodo antecedente alla pandemia (*Statista.com*), soprattutto con minori investimenti, non può essere un buon segnale o quanto meno deve essere il campanello di allarme che deve mantenere costante il monitoraggio della situazione.

Il mercato dei semiconduttori è quindi fortemente concentrato in asia, nello specifico l’87% di tutto il mercato manifatturiero è composto da Taiwan, Cina e Sud Corea. Nella figura 5.1.4 le percentuali di market share nel 2021 del mercato manifatturiero di semiconduttori (produzione diretta/OEM). La prima voce da sola detiene più della metà delle quote di mercato, motivo per cui Taiwan è la nazione principale per la produzione degli stessi. Prendendo le prime quattro aziende per quote si ottiene l’85% del totale del mercato, indice di oligopolio che viene spartito solo in minore parte dagli Stati Uniti.

Se a tutto ciò si aggiunge come tutte le principali aziende del processo si appoggiano proprio alla TSMC per dare in outsourcing la produzione – si accentua una visione monopolistica della fase medio-alta della catena del valore.

Company	Market share	Country
TSMC	54%	Taiwan 🇹🇼
Samsung	17%	South Korea 🇰🇷
UMC	7%	Taiwan 🇹🇼
GlobalFoundries	7%	U.S. 🇺🇸
SMIC	5%	China 🇨🇳
HH Grace	1%	China 🇨🇳
PSMC	1%	Taiwan 🇹🇼
VIS	1%	Taiwan 🇹🇼
DB HiTek	1%	China 🇨🇳
Tower Semiconductor	1%	Israel 🇮🇱
Other firms	5%	N/A

Figura 5.1.4 ‘Semiconductor OEM market share per country’; fonte: visualcapitalist.com

Nella successiva figura è possibile identificare come le varie fasi di design e manufacturing (front end e back end) siano suddivise dal punto di vista geografico e di suddivisione per tipologia di semilavorato e utilizzo finale.

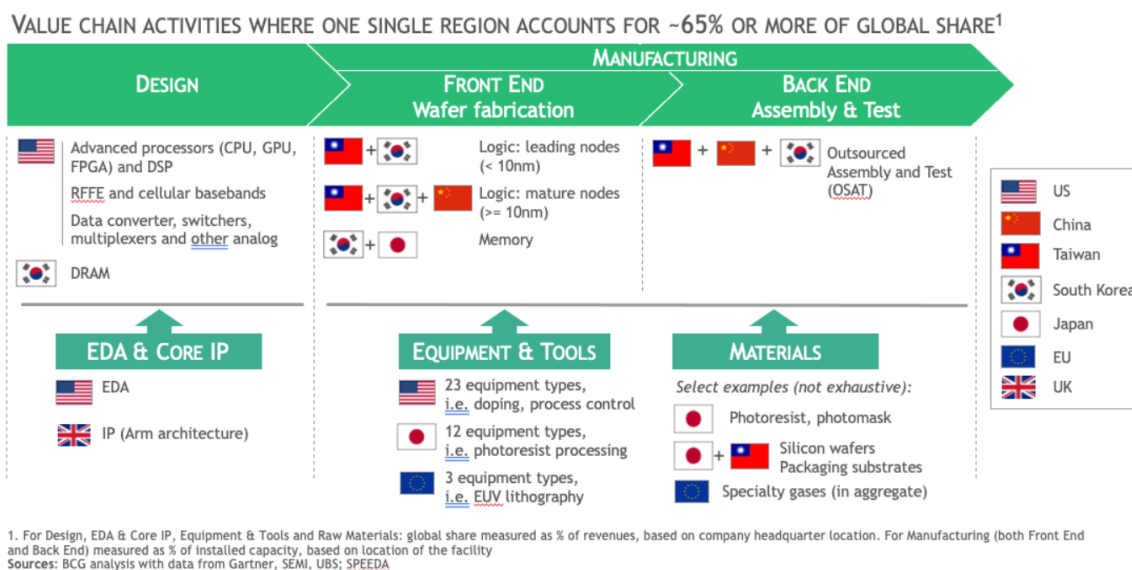


Figura 5.1.5 ‘Value Chain Activities’; fonte: bcg.com

Una ricerca effettuata intervistando un gruppo di senior executive ha infatti sottolineato come i problemi diretti della supply chain non siano la principale causa della disruption nel mercato (KPMG tramite Statista.com, figura 5.1.6).

Infatti il ritorno al territorialismo e le politiche di nazionalismo, soprattutto applicate nelle regioni Asiatiche hanno portato a cascata tutte le problematiche evidenziate nei vari step della supply chain, in aggiunta al problema di base di scarsità di materia prima da poter lavorare.

Il fatto di avere globalizzato la catena di fornitura dei semiconduttori, volendo localizzare in modo concentrato le varie fasi produttive, ha fatto sì che una volta costretti a dover scegliere e quindi dare

precedenza ai propri clienti, i principali fornitori asiatici abbiano deciso di iniziare non soltanto dai principali clienti in ordine di grandezza o di importanza in termini di longevità e potere contrattuale, ma soprattutto a prioritizzare chi avrebbero potuto fornire più velocemente e più efficientemente, ovvero i più vicini anche dal punto di vista geografico e giuridico, i territori asiatici stessi.

Questo ha fatto sì che una buona percentuale dello stock prodotto, già insufficiente a sostenere la domanda globale, fosse deviato in un canale preferenziale a sostegno del mercato interno. La lontananza e le regolamentazioni su importazioni e contratti commerciali con il resto del mondo hanno giocato a favore della disruption della supply chain già in crisi per i diversi motivi sottolineati. Come riportato nel grafico sotto (figura 5.1.6) il 53% degli intervistati ha individuato come prima causa delle problematiche legate alla disruption il territorialismo che ha concentrato e centralizzato la catena del valore e ne ha interrotto i legami fisici e informativi.

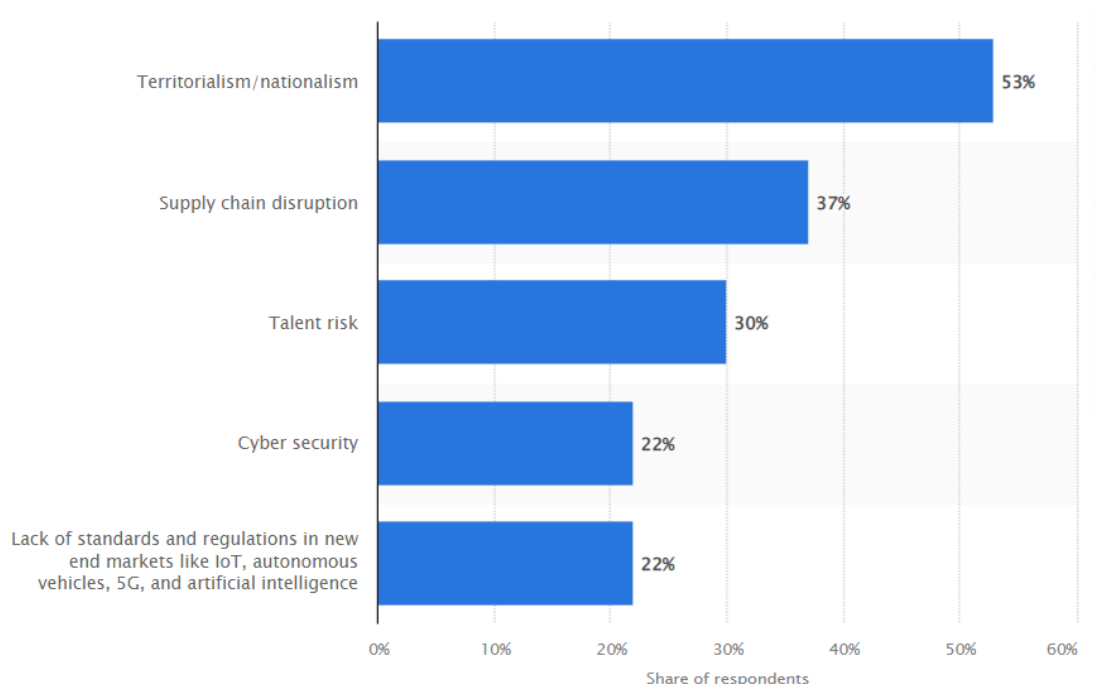


Figura 5.1.6 ‘Leading issues’; fonte: statista.com

Riferimenti capitolo 5: 17.5, 18.7, 18.10, 18.11, 18.14, 18.16, 18.17, 18.18, 18.20, 18.22, 18.24, 18.25, 18.26.

6 L'impatto del covid-19 – cause e conseguenze sul mercato elettrico e dei semiconduttori

Le motivazioni come abbiamo già accennato sono multiple, probabilmente gli indicatori dell'imminente catastrofe si sarebbero potuti notare, ma sicuramente non si sarebbe potuto prevedere l'impatto devastante del covid-19. La mancanza di materie prime e lo stop della produzione e quindi lo strozzamento dei colli di bottiglia delle supply chain, non sono le uniche cause relative alla disruption. Nello stesso anno che ha seguito lo scoppio della pandemia, si è creato un mix di eventi che hanno sovrapposto ed amplificato i loro effetti. Lo shortage di materie prime è iniziato intorno a metà 2020, i primi grandi stop produttivi imposti (e non) si sono visti in Asia nel Dicembre del 2020, seguiti successivamente dagli effetti pandemici di taglio della forza lavoro disponibile. Il passaggio allo smartworking e l'imposizione del lockdown hanno determinato la crescita vertiginosa della domanda di elettronica, sicuramente non pronosticabile. L'utilizzo di pc, smartphone e l'upgrade informatico-tecnologico di molti elettrodomestici di uso quotidiano ha incrementato ulteriormente la domanda di chip e semiconduttori.

Inoltre il lancio della nuova console PS5 e dei nuovi modelli di smartphone (anticipatamente, per sfruttare l'enorme domanda creatasi) da parte dei più grandi marchi internazionali, ha sollecitato in maniera ancora maggiore quella che era la domanda prevista fino a quel momento.

Le cause però non sono limitate ad una sfortunata combinazione di fattori, poiché hanno anche messo in luce alcune problematiche legate ad alcuni modelli e schemi che sono da anni utilizzati nel mondo delle industrie, come quello del WCM e derivati.

Il forte impatto anche in termini di allungamento di tutti i lead time della catena produttiva per sopperire alla capacità produttiva ridotta e saturata contemporaneamente dagli eventi, hanno portato alcuni componenti critici del mercato dei semiconduttori ad avere lead time fino a 220 giorni, più di metà anno di ciclo dall'ordine alla consegna effettiva. Ancora a marzo 2022 alcuni dei componenti più critici tra i semiconduttori e alcuni assemblati e derivati del mercato elettronico avevano un lead time medio intorno alle 26.6 settimane (The Register, D. Martin Aprile 2022). Per capire l'entità dell'impatto che ha avuto il ruolo del lead time basti pensare che ad Aprile del 2022 i componenti più critici per la stessa categoria avevano un lead time medio di 13.9 settimane tenendo conto dei picchi maggiori di mercato. Nella figura 6.1 è possibile vedere come a metà 2021 si stesse già prevedendo un recupero della crescita come per i volumi pre pandemia legati al 2018.

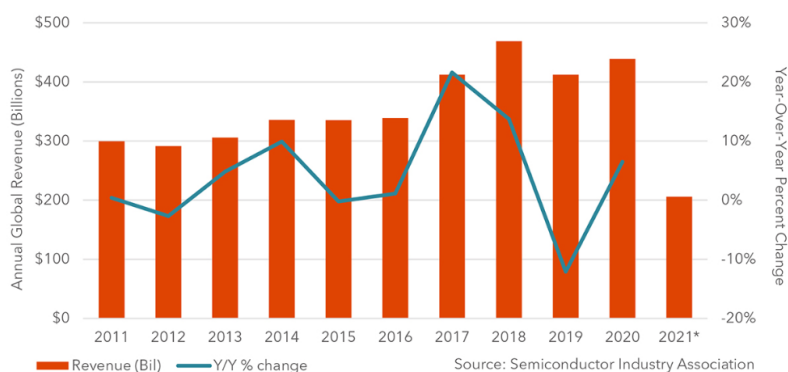


Figura 6.1 'global semiconductor revenue and yoy %'

Riferimenti capitolo 6: 17.5, 17.5, 18.27:

7 Il modello Toyota

Tra le aziende meno colpite dalla disruption legata al covid c'è la Toyota. Cercheremo quindi di analizzare quelli che sono i dati economico finanziari partendo dai vari bilanci negli anni e l'obiettivo sarà quello di trovare evidenza della sua gestione dell'emergenza e del suo piano preventivo.

Si parla di soprattutto di prevenzione in quanto per buona parte l'azienda è riuscita a fare fronte allo shortage di semiconduttori sul mercato grazie ad un lavoro svolto negli anni, che ha radici nel tragico evento del terremoto/tsunami del 2011. In quell'occasione gli impianti produttivi e i relativi magazzini della compagnia furono gravemente danneggiati e si trovarono davanti ad una situazione particolarmente critica nel seguente anno per poter ripartire con la produzione e raggiungere il regime precedente. Questo disastro è stato l'input che permise a Toyota di muoversi per evitare altri disastri futuri non prevedibili. Un ultimo obiettivo di questa analisi sarà capire quale sia il corretto trade-off di investimento in prevenzione rispetto all'effettivo rischio di perdita.

Nel 2011 le conseguenze del disastro nucleare e del relativo tsunami misero in ginocchio la produzione della Toyota e di tutti i suoi competitors di settore asiatici. Ci vollero 6 mesi prima di ritornare a livelli di produttività in linea con quelli precedenti al disastro.

La Toyota è vista come la pioniera del WCM e successivamente la prima impresa rivoluzionaria ad applicare la metodologia derivata del 'just-in-time', vera e propria evoluzione diretta dei pilastri fondamentali del WCM come introdotto nel capitolo 4.3.

La politica degli 'zero' prevedeva la riduzione di tutte le inefficienze che possono crearsi durante la fase che va dall'approvvigionamento di materiale fino allo sviluppo, produzione e vendita. In quest'ottica ci si focalizza, tra altri aspetti, sul magazzino e sul suo livello ridotto. E' importante seguire una linea che mantenga un buon indice di rotazione di magazzino, bassi i volumi di stock (inclusi i buffer di disaccoppiamento nei colli di bottiglia) per evitare obsolescenza ed inefficienza di allocazione di risorse immobilizzate (costo di magazzino e costo rottamazione) e ridurre al minimo le scorte, in particolare quelle di sicurezza, per lavorare in ottima 'make-to-order' che sposa la filosofia del JIT.

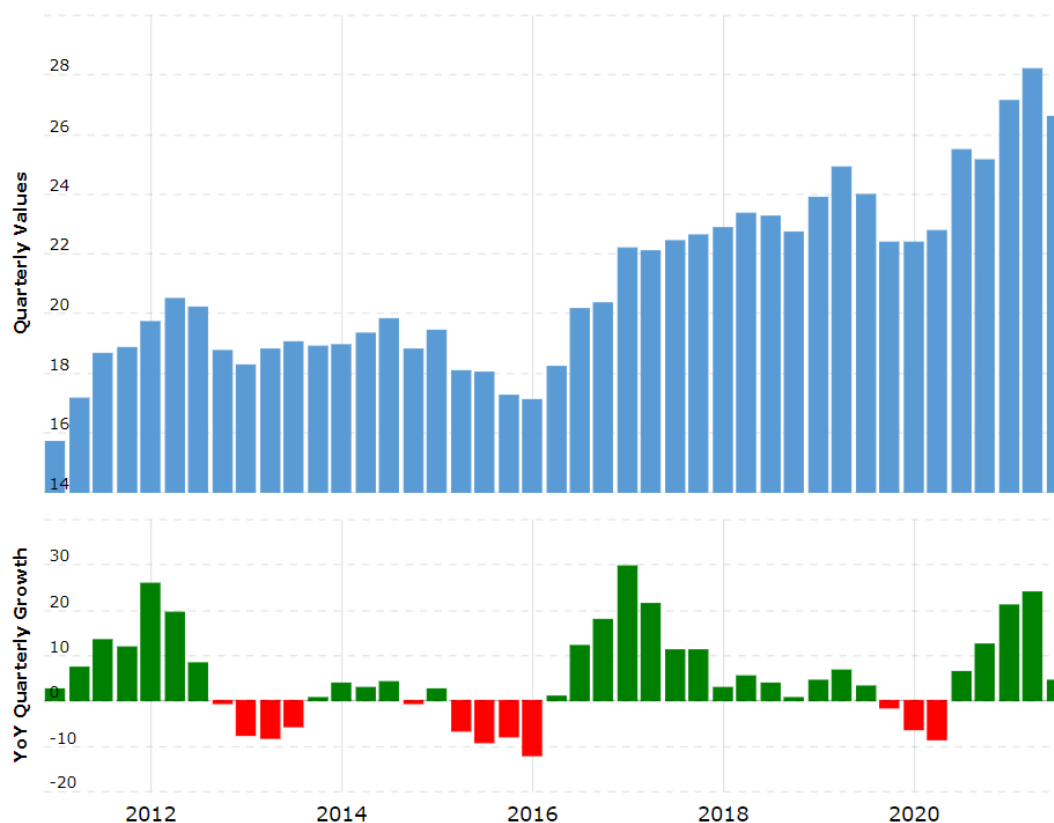
Sembra che il classico modello del WCM però sia stato ampiamente contaminato da politiche di gestione di stock e magazzino completamente diverse.

Entrando nei dettagli e parlando di numeri, vediamo che dopo l'anno di disruption causato dal terremoto e le relative conseguenze del 2011, dopo un quinquennio di stabilizzazione, dal 2011 al 2016, in cui sostanzialmente il valore dei magazzini si è ristabilizzato intono ai 20 milioni* di dollari (valore soglia di ripresa nel 2012), si ha avuto una rapida espansione del livello del valore di magazzino nei successivi 5 anni. In questo trend di crescita possiamo comunque notare come nel corso degli anni (solitamente con cadenza biennale o triennale) è stata comunque applicata la politica di razionalizzazione del magazzino e di efficientamento, impronta tipica del WCM, arrivando fino a riduzioni anno su anno del 12,3% (Q1 2016). Dal 2016 il trend di aumento e crescita di magazzino è evidente e raggiunge anche picchi particolarmente elevati anno su anno (Q1 2017, Q4 2020).

Il trend più interessante è proprio quello a cavallo di Q2 e Q3 del 2020 in cui c'è stato il maggiore impatto nella catena del valore dei semiconduttori e di tutte le materie prime essenziali in produzione. La riduzione significativa del 9% circa rispetto allo stesso periodo del 2019 evidenzia come, nonostante la politica efficace attuata da Toyota che analizzeremo nel dettaglio, abbiano

comunque subito un impatto, seppur decisamente minore rispetto al resto del mercato, sugli investimenti e sulle scorte a magazzino.

A partire dal Q4 2020 la ripresa parziale del mercato ha permesso di riportare in crescita i livelli di scorta di materia, anche tenendo conto delle tempistiche di reazione e ordine e dei lead time di consegna allungati; una buona porzione dell'aumento nel Q4 2020 è probabilmente dovuta a ordini effettuati quando già l'emergenza era in atto e quindi risalenti anche a periodi precedenti di 9 mesi circa. L'ottima gestione delle scorte è data dal +23,8% di crescita year over year nel Q2 del 2021 (*global.toyota.com – bilancio pubblico e analisi per shareholders*).



• Figura 7.1 'Toyota YoY growth'; fonte: global.toyota.com

- L'inventary a fine settembre 2021 è stato di **\$26.6B**, con un incremento year over year del 4,51%
- L'inventary annuale del 2021 ha chiuso a **\$27.1B**, con un aumento del 21,19% rispetto al 2020.
- L'inventary annuale del 2020 ha chiuso a **\$22.4B**, con una diminuzione del 6,3% rispetto al 2019
- L'inventary annuale del 2019 ha chiuso a **\$23.9B**, con un aumento del 4,28% rispetto al 2018.

Questi dati aiutano a capire come nonostante l'impatto sulla supply chain, le scorte totali del primo anno colpito dalla pandemia, sono diminuite solamente del 6,3%, per poi risalire fino al 21% nell'anno successivo, portando il valore dell'inventary a livelli simili a quelli del 2012, anno post disastro termonucleare.

Un livello di dettaglio maggiore sulla voce dell'inventario potrebbe aiutare a capire quanto sia stato investito in % rispetto ad una tradizionale concorrente, ma questo dato non è chiaramente reso

pubblico dall'azienda, se non quello aggregato a conto economico. Inoltre non è detto che le voci di investimento prese in considerazione dai fogli di bilancio pubblici siano un'indicazione coerente dell'effettiva percentuale investita nel dettaglio del magazzino e delle scorte; non è dato il costo sostenuto per l'aumento delle scorte annue né il mancato premio di scontistica a cui Toyota ha rinunciato annualmente per mantenere i componenti nei magazzini dei suoi fornitori, ad ogni modo è un ottimo indicatore di come il costo possa essere gestito, dal punto di vista finanziario è stato preferito registrare una minore riduzione di costi o minore bonus di scontistica ricevuto, rispetto ad una effettiva riduzione di costo o premio fidelizzazione contrattuale in aggiunta all'uscita del costo di mantenimento di stoccaggio a magazzino presso i propri fornitori: potrebbe essere un'ulteriore interessante fonte di valutazione ed ulteriore analisi da contestualizzare presso ogni azienda specifica, ma non verrà affrontata in questa tesi in maniera approfondita. Rimane un possibile spunto futuro nel caso vengano riprese le azioni messe in atto anche dal punto di vista finanziario e di bilancio per mantenere la solidità aziendale agli occhi degli investitori esterni.

Interessante è vedere come sarà anche la prima azienda a recuperare già dal secondo quarto dell'anno 2022 i profitti ai livelli pre-pandemici, anche grazie al lancio di veicoli elettrici e ibridi (reuters.com). Il profitto del Q4 del 2021 aveva già raddoppiato quello dello stesso quarter dell'anno precedente.

7.1 Implicazioni gestionali

La gestione e il sostegno di questa tipologia di modello porta ad alcune riflessioni preliminare sulle potenziali azioni da intraprendere, ne riporteremo alcune di seguito.

Aumentare il forecast della domanda per un periodo di almeno 4-5 anni. Evitare tutti i possibili colli di bottiglia analizzando e spaccettando le supply chain di tutti i propri fornitori, conoscere le reti dei tier 1,2 e dei possibili distributori di tutti i componenti più critici in modo da poter allocare un budget di criticità più appropriato ad eventuali ordini con extra-charge sia per maggiore margine di rivendita di distributori, sia per spedizioni rapide urgenti. Avere un completo controllo delle BoM dei propri part venduti; conoscere i subcomponenti contenuti in ogni BoM ed eventualmente richiedere le BoM anche dei singoli subcomponenti assemblati che vengono comprati direttamente. Condividere in modo trasparente le informazioni sui subcomponenti con i propri fornitori in modo da tenere sotto controllo le criticità da entrambe le parti; un'ulteriore idea potrebbe essere quella di condividere informazioni sulla BoM in totale trasparenza anche ai clienti finali: in questo caso si dovrebbe valutare il rischio di troppa disclosure informativa e quindi perdita di potere contrattuale ed eventuale percentuale di margine sulla vendita finale; allo stesso tempo potrebbe essere una strategia per poter fidelizzare il cliente ed rendersi completamente disponibili alla collaborazione, senza contare che anche in questo caso, seppur in minore parte, il cliente finale può aiutare nel tracking delle criticità del prodotto acquistato e delle eventuali indisponibilità del prodotto stesso per mancanza di subcomponenti o parti che lo compongono nella BoM. Essendo nel suo interesse, anche il lato cliente potrebbe aiutare nel recuperare informazioni utili su come e dove reperire alcuni parti, inoltre potrebbe essere un modo per rendere trasparenti eventuali difficoltà tempistiche e sovrapprezzi da dover affrontare e ribaltare sul cliente finale. Sviluppare roadmap strategiche che uniscano tutti gli stakeholder e i principali attori del contesto: i produttori di wafer e semiconduttori finiti, i principali vendors di semiconduttori OEMs, la domanda tecnologica e il suo sviluppo, i designer dei semiconduttori e delle famiglie di derivati o di prodotti affini. Sicuramente la creazione di un portafoglio differenziato a diversi livelli sui numerosi tier disponibili nelle supply chain è la base da cui partire per poi implementare tutte le restanti strategie.

Il trade off da cercare è quindi un incremento dello stock di inventory e di risorse ‘upstream’ nel flusso della supply chain a discapito di una riduzione di efficienza della loro gestione o, un incremento della complessità organizzativa e gestionale.

Per dare alcuni numeri dell’efficacia della gestione secondo Toyota, nel 2021 c’è stato un aumento year-over-year del 27,4% delle vendite nel settore automotive nel mondo, che si è riflesso in una crescita del mercato divisa con il 13,2% per il mercato asiatico, l’11,3% per il mercato in nord america e il 7,1% in europa. Prendendo in considerazione tutti i segmenti di mercato gestiti da Toyota, l’incremento delle vendite yoy è stato in media dell’8%. (fonte Toyota.eu)

7.2 Implicazioni pratiche

Dal punto di vista qualitativo le politiche implementate e la gestione a livello macro è quindi stata affrontata. Per portare un contributo più significativo dal punto di vista metodologico, partiremo da uno studio del 2013 di Kenichi Nakashima e Tithma Sornamanapong.

Questo studio condotto nel 2013 aveva come obiettivo quello di comprendere come poter migliorare la gestione della supply chain proprio nel settore dei semiconduttori. Lo studio aveva già messo in evidenza gli aspetti più critici della catena del valore: data l’applicazione dei metodi di lean manufacturing da parte degli OEMs e dei tier-1, si hanno ripercussioni negative sui tier-2 a causa delle fluttuazioni degli ordini. Il problema principale è la mancanza di flusso informativo tra i vari livelli di tier e gli OEMs principali: soprattutto il livello informativo tra i tier-1 e tier-2 di una stessa catena spesso è scarso e poco supportato, traducendosi in una scarsa precisione della stima della domanda effettiva, e un peggiore forecast. Nella figura 7.2.1 possiamo vedere come le relazioni nella supply chain degli n-tier sia complessa. Spesso sono presenti interrelazioni tra gli stessi tier-1 e tier-2 che complicano ulteriormente un flusso già di per sé di difficile gestione nella sua versione ‘standard’.

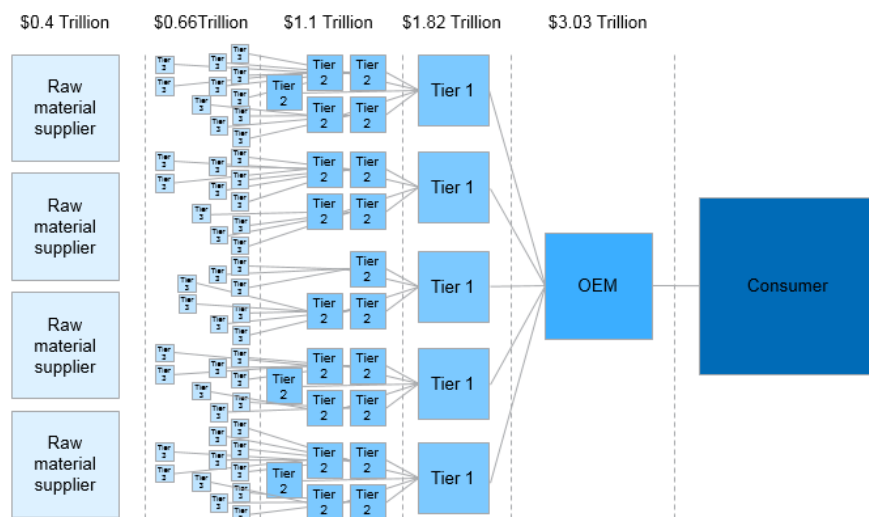


Figura 7.2.1 ‘Tier n supply distribution’, fonte: ricardo.com

La teoria del lean manufacturing attualmente applicata per la maggior parte dei processi produttivi, conta sull’ideologia pull che si basa sull’avere a disposizione le giuste scorte di materiale al corretto momento in modo da poter soddisfare nel minor tempo possibile l’eventuale richiesta del prodotto. Questo significa che il livello di efficienza deve essere massimo a tutti gli step della catena del

valore, in accordo con la filosofia 'zero sprechi'. Però per avere tutto al posto e al momento giusto, uno dei primi campi impattati è proprio lo stock di magazzino che deve essere minimizzato e non eccedere a quella che potrebbe essere la possibile domanda in arrivo, scorte di sicurezza a parte.

Il problema è focalizzato principalmente nel secondo step di flusso informativo della catena, mentre tra OEMs e tier-1 la domanda ha un livello di accuratezza accettabile, lo scambio informativo tra tier-1 e tier-2 è meno fluido ed efficace; questi ultimi non riescono infatti a rispondere a repentine fluttuazioni della domanda, soprattutto non riescono a rispondere a ordini urgenti con brevi lead time. Quindi il livello di incertezza della domanda e le fluttuazioni degli ordini che ricevono i tier-2 rendono impossibile prevedere con accuratezza le richieste future. Diversi studi precedenti hanno dimostrato come la condivisione di informazioni tra fornitori e team acquisti migliori sensibilmente diversi aspetti per entrambi i lati della catena del valore: Younghui e Rajesh (18.10) hanno stimato una percentuale di risparmio lato fornitori attraverso la condivisione di informazioni al lato acquisti. Lee, Padmanabhan e Whang (18.11) nel loro studio hanno dimostrato come aumentare il flusso informativo e il livello di informazione tra reparto acquisti e vendite dei fornitori possa aiutare a diminuire la varianza della domanda e quindi rendere più stabile la supply chain. Più comune invece è la conoscenza dei benefici alla catena del valore e di fornitura portati dalle tecniche di lean production che sono state oggetto di molteplici studi negli anni. Anche Rema e Paul (18.9) hanno studiato politiche di magazzino in cui il fornitore condivide informazioni preliminari su possibili ordini prima che questi si trasformino in ordine finale confermato, in modo che vengano gestiti in modo efficiente gli overstock e gli understock. In pratica hanno dimostrato come anticipare ordini di approvvigionamento materiale o di un possibile ordine futuro confermato aumenti l'efficienza e accorci i lead time, diminuendo i ritardi e soprattutto migliorando i rapporti tra cliente e fornitore gestendo un flusso di informazioni in maniera più aperta.

Alcune delle implicazioni interessanti fornite da BCG sono relative alla trasparenza della bill of material dei componenti, della tracciabilità della catena degli n-tier, dell'estensione e copertura contrattuale su planning e piazzamento degli ordini, dell'aumento di magazzino e stock di sicurezza, del miglioramento delle relazioni tra gli n-tier della catena e dall'integrazione verticale delle fasi di produzione (bgc.com ed esperienza aziendale).

Questi punti verranno ripresi in fase finale di analisi ed analizzati.

Riferimenti capitolo 7: 17.22, 18.3, 18.9, 18.10

8 Il Modello Newsvendor

Il modello di Newsvendor (o Newsboy) standard si presta a molteplici analisi per quanto riguarda il livello di magazzino e relative decisioni sugli ordini, ottimizzandone i costi. In particolare uno dei suoi obiettivi principali è quello di calcolare la quantità di magazzino che massimizza il profitto o l'utilità di chi deve decidere quanto ordinare rispetto ad un determinato forecast e di conseguenza, come gestire la quantità e la frequenza degli ordini e il relativo magazzino associato. Il focus del modello è quindi di particolare interesse proprio per il grande ruolo che le scorte in dotazione a Toyota hanno permesso alla stessa di ritardare gli effetti della mancanza delle materie prime.

Per capire come è strutturato il modello bisogna inizialmente introdurre alcune variabili e alcune delle quantità più tipiche del modello tradizionale. Per quanto riguarda tutta l'introduzione sul modello standard il riferimento in letteratura è il libro *'The Single-Period Inventory Model with Spectral Risk Measures'*, Johannes Fichtinger (2011).

L'ipotesi principale ed iniziale di tutta la trattazione del modello standard è quella del *'single-period'*, della presa di decisione in un unico intervallo di tempo determinato, che non ha possibilità di prendere decisioni parziali o preventive e vederne il risultato per poi procedere ad un'altra decisione in due momenti diversi e successivi; questo tipo di trattazione sui periodi multipli ha diversi riferimenti in letteratura e ha fondamenti legati alla teoria dei giochi, ma non verrà presa in considerazione in questa tesi, può sicuramente essere un tema di sviluppo di futuri lavori che possono prendere spunto da questo.

Passiamo quindi all'introduzione di parametri del modello più classico disponibile in letteratura.

Si definisce *'Overage Cost'* il costo che viene subito nel momento in cui si ordina un'unità extra rispetto a quella che sarebbe la quantità ottimale da ordinare data la domanda previsiva come input. In altri termini può anche essere definito come l'incremento di profitto che si avrebbe avuto ordinando un'unità in meno (e quindi sostenuto minori costi di ordine). Si suppone come ipotesi che si abbia stock extra invenduto o obsoleto che non verrà venduto nel single-period analizzato.

$$C_0 = \text{'Overage Cost'}$$

L'overage cost può quindi essere definito come il costo dell'unità, meno il *'salvage value'* ovvero il valore minimo a cui riesco a rivendere l'oggetto. Il salvage value (r) è sempre minore del costo di acquisto per definizione.

$$C_0 = \text{Cost} - \text{Salvage Value} = c - r$$

8.1

Allo stesso modo si definisce *'Underage Cost'* il costo di aver ordinato un'unità in meno rispetto a quella che sarebbe stata la quantità ottimale da ordinare data la domanda. In altre parole è il costo che viene subito come mancata opportunità di vendita dell'unità extra che poteva essere richiesta, è quindi il costo di non vendita di un'unità richiesta ($D > q$).

$$C_u = \text{'Underage Cost'}$$

Viene quindi definito come il prezzo della potenziale vendita, meno il costo standard di acquisto dell'unità. Il vincolo in questo caso è che il prezzo sia uguale al costo più una percentuale maggiore di zero che può essere adattata a seconda del settore.

$$C_u = Price - Cost = p - c$$

8.2

Definiamo anche Q = quantità ordinata e il cosiddetto A/F ratio, ovvero l'indice del rapporto tra la domanda attuale (actual) e la domanda prevista (forecast).

$$A/F_{ratio} = \frac{Actual\ Demand}{Forecast\ Demand}$$

8.3

Una parte fondamentale del modello standard si basa sul livello di confidenza con cui può essere stimato l'A/F ratio, solitamente il range di dati che viene definito accettabile varia a seconda del settore di mercato e del tipo di andamento della domanda che può essere specifico anche della tipologia del prodotto stesso. Questo tipo di indice è utile nella trattazione standard che si basa sul previsivo in funzione dello storico dei dati. Nella trattazione specifica del caso di studio non verrà utilizzata questa metrica.

Come da definizione, ordinare un'unità in più rispetto alla domanda prevista, aumenta la probabilità di overage. La probabilità di overage può quindi essere definita come la probabilità che la domanda effettiva sia inferiore della quantità effettivamente ordinata.

$$F(Q) = Prob \{Demand \leq Q\}$$

8.4

Il costo marginale di overstocking, causato dall'aver ordinato un'unità extra e non averla venduta a causa della domanda inferiore, è definito dal numero di unità comprate.

$$Marginal\ cost\ of\ overstocking = C_o \times F(Q)$$

8.5

In modo complementare viene definita la probabilità di underage, ovvero il benefit che l'ordine di un'unità extra provoca nella riduzione della probabilità di underage, di dover quindi rimanere senza stock da poter vendere nel momento in cui la domanda sia superiore all'offerta.

$$1-F(Q) = Prob \{Demand > Q\}$$

8.6

Il benefit marginale di understocking dipende quindi dalla probabilità di underage

$$Marginal\ benefit\ of\ understocking = C_u \times (1 - F(Q))$$

8.7

All'aumentare quindi di unità extra ordinate rispetto a quelle ottimali data la domanda prevista, il benefit marginale atteso dall'ordine della n-esima unità extra decresce, mentre il costo marginale atteso aumenta. Qui sotto il grafico degli andamenti dei benefit e dei costi marginali al variare di Q .

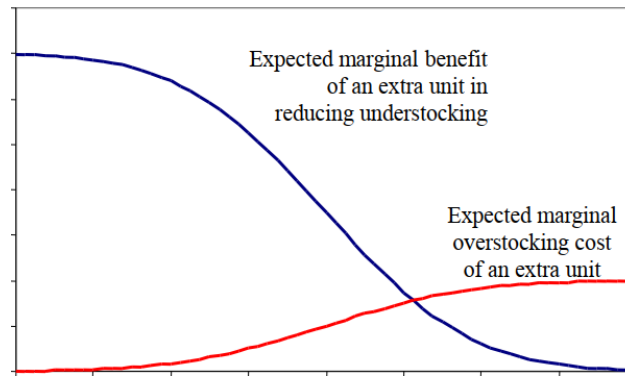


Figura 8.1 'Andamento costi marginali' ,fonte: *Cachon & Terwiesch, Matching Supply with Demand*

Un modo per minimizzare contemporaneamente overage e underage cost è quello di eguagliare il costo marginale di overstocking della Q-esima unità al suo benefit marginale, trovando quindi la quantità Q di minimo costo:

$$C_0 \times F(Q) = C_u \times (1 - F(Q))$$

8.8

Risolvendo in funzione della $F(Q)$, probabilità di overage, si trova quello che è un indice particolarmente utile nei calcoli futuri che viene definito come Critical Ratio o indice di criticità. In altre parole per poter minimizzare i costi di underage C_u ed overage C_0 , bisogna scegliere la corretta quantità Q che eviti la perdita di vendite con una probabilità $F(Q)$, che eguagli quindi il critical ratio.

$$F(Q) = \frac{C_u}{C_0 + C_u}$$

8.9

Attraverso il critical ratio è possibile ricavare il valore percentuale ed associarlo al percentile dei record nel tempo di domanda attuale e forecast e quindi associarlo all' A/F_{ratio} corrispondente che andrà poi moltiplicato per la domanda prevista inizialmente, in modo da dare una stima corretta della quantità attuale.

La $F(Q)$, probabilità di overage stock, domanda inferiore alla quantità ordinata, è anche definita come 'probabilità di 'in-stock', probabilità che la domanda sarà sotto al punto di riordino, o lo eguagli. E' detta anche Cycle Service Level.

Si definisce invece ESC, ovvero expected shortage in a season o ciclo, la differenza tra la domanda e la quantità effettivamente disponibile.

$$ESC = Shortage = \begin{cases} D - Q & \text{se } D \geq Q \\ 0 & \text{se } D < Q \end{cases}$$

8.10

L'ESC si può anche definire in maniera più generale per qualsiasi modello di distribuzione utilizzato per modellare la domanda prevista.

$$ESC = \int_{x=Q}^{\infty} (x - Q) * f(x) dx$$

8.11

Dove Q è la quantità, f(x) è la densità di probabilità della funzione di domanda x, x indica il valore della domanda puntuale nel calcolo dell'integrale.

Un ultimo modo di calcolare lo shortage atteso è quello di sommare la possibilità che la domanda sia inferiore allo stock effettivamente disponibile per la probabilità che accada, lavorando quindi non nel continuo dell'integrale ma nel discreto.

$$Expected Shortage = \sum_{d=Q+1}^{\infty} (D - Q) * P(D = d)$$

8.12

Un altro modo per definire la domanda è la somma delle vendite più le vendite perse, ovvero quelle potenziali non avvenute. D = vendite + vendite perse. Vendite previste sono la differenza tra la media delle vendite attese (μ), meno le vendite perse. Il livello di inventory è invece la somma delle vendite effettive e del leftover inventory. Per calcolare il leftover inventory atteso è possibile sottrarre al livello di stock disponibile Q le vendite attese.

Avendo definito tutte le variabili principali del modello, è possibile ora capire come calcolare il profitto.

Profitto atteso

$$\begin{aligned} &= [(Prezzo - Costo) * vendite attese] \\ &- [(Costo - Valore di svalutazione) * inventory leftover atteso] \\ &= ((p - c) * (\mu - vendite perse)) - [(c - r) * (Q - \mu + vendite perse)] \end{aligned}$$

8.13

E' possibile dimostrare che nel modello di Newsboy o Newsvendor massimizzare il profitto o minimizzare il costo portano alla medesima soluzione. Detti p il prezzo, v il valore di recupero o salvage value, c il costo per unità, Q la quantità di stock e D la domanda si definisce il profitto come:

$$Profitto (Q, D) = \begin{cases} (p - c)D - (c - r)(Q - D) & \text{se } D \leq Q \text{ Overage} \\ (p - c)Q & \text{se } D > Q \text{ Underage} \end{cases}$$

8.14

$$Costo (Q, D) = \begin{cases} (c - r)(Q - D) & \text{se } D \leq Q \text{ Overage} \\ (p - c)(D - Q) & \text{se } D > Q \text{ Underage} \end{cases}$$

8.15

$$Profitto (Q, D) + Costo (Q, D) = \begin{cases} (p - c)D & \text{se } D \leq Q \text{ Overage} \\ (p - c)D & \text{se } D > Q \text{ Underage} \end{cases}$$

8.16

Quindi il profitto atteso e il costo atteso sono uguali alla differenza del prezzo meno il costo ($p-c$) per la domanda attesa $E[D]$, ed entrambi sono costanti nello stock di quantità Q . Minimizzare il costo o massimizzare il profitto porta quindi alla stessa soluzione di quantità ottima da ordinare.

E' importante sottolineare quali sono le implicazioni a monte del modello di Newsboy, che si pone come obiettivo la ricerca della quantità ottima da ordinare nei casi di massimo profitto o minimo costo, che abbiamo visto essere equivalenti e portano alla stessa soluzione Q^* . Il limite nel modello sta nelle ipotesi a monte, che selezionano un singolo prodotto nel singolo periodo temporale, e limitano le scelte in tal senso; questi risultati quindi sono validi solamente con una distribuzione generica stocastica della domanda D , il riferimento ad un singolo periodo o ciclo o stagione di vendita e per un singolo prodotto, senza interazione specifica con gli altri eventuali prodotti del portafoglio gestito.

Gli altri vincoli del modello standard sono legati ai costi, secondo le seguenti disuguaglianze: $p > c > r$; il modello mantiene senso con le uguaglianze ma questo caso specifico sarà discusso poi nell'analisi numerica. Perde il senso nel caso in cui le disuguaglianze non vengono rispettate ma potrebbe essere comunque interessante un'analisi in cui il costo di mancanza di un'unità sia maggiore del potenziale prezzo di vendita (considerando eventuali perdite di clienti e quote di mercato, portando i clienti a passare ad un altro brand concorrente).

Un ulteriore dettaglio al costo di underage può essere aggiunto con il termine del costo di penalità associato ad ogni vendita persa, trasformando la definizione di costo di underage unitario come:

$$C_u = \text{Price} - \text{Cost} + \text{Penalty} = p - c + g$$

8.17

Nel caso di domanda discreta, si può determinare l'equazione del costo atteso come somma dei due casi di overage ed underage:

$$\text{Expected Cost}(Q) = \sum_{D=0}^x P(D) * \text{Cost}(Q, D) = C_o \sum_{D=0}^{Q-1} P(D) * (Q - D) + C_u \sum_{D=Q}^{Q-1} P(D) * (D - Q).$$

8.18

La somma dei due termini può essere utilizzata per analizzare il costo atteso minore, valutando quindi il punto in cui il costo di ordinare un'unità extra $Q+1$ è lo stesso costo che verrebbe sostenuto per ordinarne soltanto Q . La quantità ottimale Q^* è quindi la più piccola tra le quantità che soddisfa la disuguaglianza sotto, che utilizza il critical ratio come indicatore del livello di probabilità di incontrare la domanda D . La formula (15) sarà quella utilizzata per l'analisi della domanda discreta e non continua, con riferimento al modello di forecast con distribuzione di Poisson invece del caso utilizzato nel modello standard per le trattazioni classiche con il modello di distribuzione Normale o Gaussiano.

$$P(Q^*) = \sum_{d=Q+1}^{Q^*} P(D) \geq C_u / (C_u + C_o)$$

8.19

E' possibile scegliere la migliore distribuzione per la domanda, solitamente per semplicità di calcolo si utilizzano come anticipato la distribuzione normale o quella di Poisson. Per lo specifico caso del mercato dei semiconduttori, per scegliere una distribuzione semplificativa nei calcoli, data la bassa durabilità dei prodotti e del forecast e la grande incertezza nella domanda, una distribuzione di Poisson è più adatta di una distribuzione normale a modellare il calcolo, non si vincola alla distribuzione simmetrica delle code e rende più flessibile la modellazione discreta rispetto ad un'approssimazione continua (*'A study on semiconductor supply chain management', Nakashima & Sornamapong*). Ci sono poi modelli previsivi di domanda molto più complessi e specifici a seconda del singolo settore, ad ogni modo il focus di questo lavoro è incentrato prettamente sul trovare un modello di Newsvendor che possa essere applicato in determinate condizioni di mercato, a prescindere dal tipo di funzione di previsione della domanda che si voglia utilizzare. Il modello è infatti 'distaccato' per lo più, fino al momento del calcolo specifico di profitto e marginalità. Il modello di Newsvendor si presta all'utilizzo di qualsiasi modello di distribuzione con le relative conseguenze di maggiore complessità nei calcoli relativi; la distribuzione normale come però anticipato rimane il metodo più semplice per la trattazione di modelli a livello teorico, rispettando i vincoli imposti dalle ipotesi della distribuzione normale si può applicare all'analisi anche del mercato di semiconduttori. Ad ogni modo le ipotesi verranno riprese all'inizio del modello.

Per poter contestualizzare al meglio il modello ai dati disponibili dall'azienda, partendo dal modello studiato da Liu, Chan e Xu, è stato possibile modellare il problema di Newsvendor in uno scenario con backorders.

Entrando nello specifico della modellazione che sarà trattata, è opportuno sottolineare le condizioni che vincolano il modello di calcolo di Newsvendor. Come anticipato verrà utilizzato il metodo di ottimizzazione della quantità secondo vincolo di massimo profitto o minimo costo atteso. Esistono anche altri tipi di ottimizzazione meno utilizzati ma che possono essere utilizzati per ulteriori analisi (es. minimo costo di shortage). Il metodo prevede il vincolo del 'single period': deve essere presa quindi una 'one-time decision', c'è una prima osservazione potenziale dello storico della domanda solo nella fase di modellazione della funzione previsiva della stessa. Non viene però presa una decisione su due intervalli di tempo differenti e consecutivi, non è quindi possibile osservare un risultato parziale di una propria decisione iniziale. La decisione di ottimizzazione si basa su un solo intervallo di tempo e ha solo una quantità ottima Q^* minima che massimizza il profitto. Questo porta alla soluzione base del problema di newsvendor che cerca la minima Q^* che pareggi la probabilità di successo al critical ratio.

Dato che lo studio ha l'idea di valorizzare le implicazioni manageriali e gestionali e quindi fornire un supporto anche qualitativo alle scelte di gestione di scorte e ordini nel portafoglio di prodotti, è interessante tenere conto non solo del semplice profitto, ma dell'utilità. Visti i risvolti degli ultimi anni di mercato, causati dalla disruption dell'impatto del covid e successivamente della guerra, il modello che verrà utilizzato ha un parametro che misura il livello di ordini arretrati, detto anche 'backorder rate', e verrà definito in un intervallo unitario $[0,1]$. Questo parametro misura la quantità di domanda in eccesso che può essere presa in carico come backorder ed alimentare il backlog rate nonostante l'impossibilità immediata a soddisfare l'ordine secondo le tempistiche o condizioni generali standard. Indica quindi quale percentuale della domanda in eccesso posso potenzialmente soddisfare portandola a profitto.

La trattazione del modello che seguirà è un breve riassunto dello studio di *Xiaoqing Liu, Felix T. S. Chan e Xinsheng Xu*, nell'articolo *'Hedging Risks in the Loss-Averse Newsvendor Problem with Backlogging'* (2019, *Mathematics*, MDPI). [rif. 17.36]

In modo più generico possibile, è possibile definire il profitto come la somma delle vendite effettive per il delta tra il prezzo di vendita e il costo di acquisto, più la percentuale di ordini in backlog che

potrebbero essere soddisfatti se fosse possibile vendere. Notiamo che la differenza tra domanda e quantità effettiva deve essere sempre positiva o, al più, nulla. Questo perché nel caso di sufficienti unità acquistate, il profitto non decresce causa overstock, ma verrà pesato un eventuale ordine eccessivo dalle potenziali perdite.

$$P(q) = (p - c) \min \{q, D\} + (p - c) w(D - q)^+$$

8.20

Qui viene introdotto il backorder o backlog rate per la prima volta nel modello Newsvendor.

Un backorder è un ordine che viene preso in carico nonostante non possa essere evaso con le tempistiche standard a causa di stockout. Il backorder è un indicatore della qualità della gestione del magazzino – un backorder che viene gestito in tempi brevi è indice di una grande domanda che viene gestita con opportuno tempismo e azioni per sostenerla, mentre un backorder che rimane insoluto nel tempo indica un'azienda che ha problemi a stare al passo con le variazioni di domanda o tenta di salvare parte del potenziale profitto perso o non capitalizzato a causa delle mancate vendite; questo comportamento però tende a

Nel caso di $w=0$, non ci sono backorder, tutta la domanda in eccesso verrà persa. Nessuna percentuale della domanda in eccesso può essere trasformata in backlog ed essere quindi recuperata. Il profitto diventa quindi:

$$P(q) = (p - c) * q \text{ per } q < D$$

8.21

Nel caso invece di domanda in eccesso, tutta potenzialmente trasformabile in backlog, il valore del backorder rate è massimo $w=1$. Questo significa che potenzialmente, tutta la domanda in eccesso può di fatto essere trasformata da semplici backorder in backlog in vista di nuovo stock disponibile. In questo caso è come se tutta la domanda di fatto può contribuire allo stesso modo al profitto.

$$P(q) = (p - c) * wD \text{ per } q = 0 \text{ e } w = 1$$

8.22

Tenendo w espresso in lettere in quanto a seconda del livello di backorder che viene recuperato, diminuirà il secondo membro e tornerà il primo membro di profitto effettivo con il backlog → nel caso specifico il profitto totale è dato appunto dalla domanda stessa. Essendo in 'one-time-decision' consideriamo come se tutto possa essere potenzialmente reso profittevole al tempo della scelta di allocazione della quantità ottimale q^* a magazzino (o di ordine da piazzare).

Per informazione generale che viene riportata anche nell'articolo in citazione, l'Efficient Consumer Response of Europe' ha preso in considerazione diversi mercati e calcolato una percentuale generica del 15% di possibile backlog della domanda in eccesso se in situazione di stockout. Lo studio risale al 2019 ed è solo una percentuale generica che prende in considerazione anche mercati completamente diversi da quello produttivo-industriale.

Allo stesso modo è possibile identificare le perdite del modello che hanno due contributi: le perdite causate da ordini eccessivi, ovvero da overage ($q > D$) e quelle causate dalle mancate vendite causate da stock ordinato insufficiente a soddisfare la domanda ($q < D$).

$$L(q)=(c-r)(q-D)^+ + s(1-w)(D-q)^+$$

8.23

Dove q indica lo stock ordinato, D è la domanda effettiva, c è il costo, r è il salvage value ed s è il costo di shortage unitario per ogni vendita persa. Il primo termine misura quindi le perdite causate da un ordine eccessivo di stock, che vanno rivendute al prezzo r inferiore al costo c . Mentre il secondo membro misura la quantità di ordini insoluti rispetto alla domanda effettiva, riscalati della % recuperata di backlog nonostante un ordine q inferiore a D , moltiplicati per il costo unitario di shortage. Le ipotesi dei costi sono quindi: $p \geq c \geq r \geq 0$.

Per poter quindi tenere conto nell'ottimizzazione non solo dei puri costi di vendita e acquisto, si introduce la funzione di utilità, che tiene conto non solo dei parametri di costo, incluso quello di shortage, ma anche del backlog rate e successivamente si potrà introdurre l'avversione al rischio come parametro gestionale.

In generale possiamo scrivere la funzione utilità come la differenza tra le funzioni di profitto e di perdita già definite precedentemente. Per poter trarre delle conclusioni più interessanti anche dal punto di vista decisionale, verrà introdotto come già fatto da studi precedenti (**) il parametro di avversione al rischio λ , in questo caso specifico moltiplicato per l'intera funzione delle perdite. Definiamo quindi la funzione utilità come:

$$U(q) = P(q) - \lambda L(q) = (p - c) * \min\{q, D\} + (p - c)w(D - q)^+ - \lambda[(c - r)(q - D)^+ + s(1 - w)(D - q)^+]$$

8.24

“In economia, l'avversione al rischio è la proprietà che caratterizza un agente economico che preferisce sempre un ammontare certo rispetto a una quantità aleatoria. Caratterizzando più in generale l'atteggiamento di un agente economico nei confronti del rischio, si parla di:

- Avversione al rischio se un agente preferisce sempre ottenere con certezza il valore atteso di una data quantità aleatoria rispetto alla quantità aleatoria stessa;
- Neutralità al rischio se un agente è sempre indifferente tra valore atteso di una quantità aleatoria e la quantità aleatoria stessa;
- Propensione al rischio (o amore per il rischio) se un agente preferisce sempre una data quantità aleatoria rispetto a ottenere il suo valore atteso con sicurezza.”
-

Il parametro λ misura il livello di avversione o propensione al rischio di Newsvendor; il vincolo sul parametro è $\lambda \geq 1$ in quanto non è possibile ottenere un'utilità che non tenga conto del rischio delle possibili perdite o non si parlerebbe di modello di ottimizzazione dell'utilità ($\lambda=1$). Nel caso di avversione al rischio nulla o anche definita neutralità ($\lambda=1$) il modello di utilità è identico al caso standard del modello di Newsvendor con l'aggiunta del backorder rate (Schweitzer and Cachon). Includendo del parametro di avversione al rischio, si pesa in maniera maggiore l'impatto delle perdite sulla soddisfazione del Newsvendor. Maggiore è l'avversione al rischio, maggiore sarà il parametro λ , maggiore sarà l'impatto delle potenziali perdite per mancanza di stock o overstock rispetto al profitto effettivo. In questo modo è possibile quindi scrivere la funzione utilità nei parametri $p, c, r, s, D, q \rightarrow$ che sono i classici valori del modello standard, con l'aggiunta dello shortage cost, più i parametri λ e w che aiuteranno a misurare l'avversione al rischio e la percentuale di recupero del backlog di domanda.

E' possibile applicare l'operatore di valore atteso della funzione alla funzione utilità e utilizzare una generica variabile randomica che può assumere un qualsiasi valore di errore o scarto rispetto al valore atteso: non ci interessa in questo studio il valore potenziale ma semplicemente il fatto che nella derivazione possa essere semplificato in quanto non funzione di q .

Data la lunghezza e il numero di passaggi della dimostrazione, questa verrà riportata in appendice così come nello studio di Xiaoqing Liu, Felix T. S. Chan e Xinsheng Xu che riporta i passaggi matematici principali per il passaggio a valore atteso e successivamente alle derivate. Di seguito saranno riportati soltanto alcuni dei passaggi principali della dimostrazione completa.

$$E[U(q)] = (1-w)(p-c+\lambda s)q + (w(p-c)-\lambda s(1-w))E(\xi) - [(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)] \int_0^q (q-t) dF(t).$$

8.25

Come anticipato il passaggio al valore atteso è necessario per poter semplificare il secondo termine del profitto atteso e successivamente l'integrale sulla funzione di densità di probabilità della domanda attesa. Derivando per q è possibile ottenere quindi la seguente equazione.

$$\frac{\partial E[U(q)]}{\partial q} = (1-w)(p-c+\lambda s) - [(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)] F(q).$$

8.26

Prima di poter cercare il punto di ottimo è necessario applicare nuovamente la derivata rispetto a q per poter studiare il segno della derivata seconda. Essendo la funzione di densità di probabilità $f(q)$ sempre positiva, l'eventuale segno sarà dato dalla parentesi quadra; essendo anche questa una somma tra termini positivi, il segno all'inizio della funzione dominerà. E' quindi dimostrato che la funzione è concava in q e quindi l'utilità attesa avrà un punto di massimo.

$$\frac{\partial^2 E[U(q)]}{\partial q^2} = -[(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)] f(q) < 0$$

8.27

Dimostrata la concavità si può quindi prendere l'equazione della derivata prima e imporla uguale a 0 per poter trovare la quantità ottima rispetto alla massima utilità attesa per il Newsvendor.

$$\frac{\partial E[U(q)]}{\partial q} = (1-w)(p-c+\lambda s) - [(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)] F(q).$$

8.28

Imponendo il secondo membro uguale a zero, è possibile trovare la quantità ottima da ordinare q^* .

$$(1-w)(p-c+\lambda s) - [(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)] F(q^*) = 0$$

8.29

E' quindi possibile ricavare la quantità di ordine ottimo q^* per il caso con

$$q^* = F^{-1} \left[\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} \right]$$

8.30

Questa conclusione è la stessa dimostrata dallo studio di Xiaoqing Liu, Felix T. S. Chan e Xinsheng Xu. E' possibile quindi iniziare la discussione per capire come meglio applicarla a casi reali e analizzare la variazione e gli effetti dei due nuovi parametri inseriti. In un primo momento seguiranno le prime conclusioni già ricavate dall'articolo di Liu e Xu.

I due casi particolari principali sono quello in cui l'avversione al rischio del Newsvendor è nulla, quindi è neutrale al rischio e non ci sono backorder, quindi nessun ordine è arretrato. Nelle condizioni specifiche di $\lambda=1$ e $w=0$, la quantità ottima di ordine è quindi:

$$q^1 = q^* \Big|_{w=0, \lambda=1} = F^{-1} \left[\frac{p-c+s}{p-r+s} \right]$$

8.31

Questa soluzione non è altro che quella che si troverebbe nel modello standard con l'aggiunta dei costi di shortage unitari s legati alle vendite mancate definite anche come penalty cost.

Nel caso specifico di shortage cost nullo per le vendite perse e di livello di backorder nullo, è possibile trovare la quantità ottimale che deriva dal modello standard di Newsvendor con l'aggiunta della dipendenza dal parametro di avversione al rischio λ . Quindi con le condizioni $w=0$ ed $s=0$, la quantità ottima sarà:

$$q^2 = q^* \Big|_{w=0, s=0} = F^{-1} \left[\frac{p-c}{p-c+\lambda(c-r)} \right]$$

8.32

Dal punto di vista qualitativo lo studio iniziale ha dimostrato i seguenti andamenti a seconda delle derivate prime parziali applicate alla formula (n.):

- Q^* è crescente nel salvage value
- Q^* è crescente nello shortage cost s
- Q^* è crescente nel prezzo di vendita p
- Q^* è decrescente nel costo di acquisto c

Fino a questo punto le derivate hanno sottolineato quello che può essere anche intuito dal 'buon senso', al crescere del costo del componente e al diminuire dell'eventuale ricavo in caso di rivendita a costo inferiore a p , il mio ordine ideale si riduce per contenere le perdite. Esattamente in accordo con questi andamenti, maggiore è il prezzo a cui lo rivendo o il costo che devo supportare in caso di mancata vendite del componente per indisponibilità, maggiore sarà lo stock che ordinerò per evitare mancati guadagni. E' più interessante dal punto di vista decisionale l'analisi sugli altri parametri.

E' possibile verificare in modo semplice come la derivata prima della funzione quantità ottimale rispetto al backlog rate w sia negativa: al crescere della percentuale w e quindi al diminuire della quantità di backorder che può essere trasformato in backlog, la quantità ottimale da ordinare diminuisce; anche dal punto di vista intuitivo, questo risultato è prevedibile come i precedenti, ma offre spunti di riflessione interessante sui fattori che possono a loro volta influenzare il backlog rate così come definito. Inoltre è interessante sottolineare come sia indipendente dall'avversità al rischio: che sia neutrale o meno il Newsvendor, al crescere del backlog rate, la quantità ottimale da ordinare si riduce. Per la soluzione è utile ricordare che w, λ, s, r, c, p sono sempre maggiori di 0; nello specifico λ è maggiore o uguale ad 1 e la quantità $(p-c+\lambda s)$ è per definizione di vincolo sempre positiva ($p > c > r$)

$$\frac{\partial q^*}{\partial w} = - \frac{1}{f \left[F^{-1} \left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} \right) \right]} \frac{\lambda(p-c+\lambda s)(c-r)}{[(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)]^2} \leq 0$$

8.33

Uno dei punti innovativi di questo studio è quello dell'introduzione del backlog rate w , non era ancora stato affrontato in letteratura un modello che unificasse il valore di avversione al rischio con il valore di backorder di un certo componente; proprio il fatto che durante la pandemia si sono verificati molti casi di shortage e incrementali ordini di domanda in eccesso sono stati trasformati in backorder accettati dal fornitore a causa di mancanza di alternative a breve termine. Il punto fondamentale che verrà discusso anche nell'analisi è che il meccanismo di backordering per salvare e recuperare parte della domanda in eccesso non è sempre ottimale in quanto aumentare in maniera eccessiva la percentuale di backlog può portare alla perdita di clienti ed essere scambiato come un metodo per nascondere problemi di gestione della supply chain, inoltre il costo del singolo backorder all'azienda può includere eventuale perdita di clienti fidelizzati o non acquisizione di nuovi. E' necessario non puntare esclusivamente sul backlog della domanda in eccesso per poter salvare i potenziali profitti persi ma bilanciarne in maniera corretta l'utilizzo in modo da evitare enormi costi sul singolo backorder. Questo è il motivo principale per cui viene utilizzato ed introdotto il metodo CVaR nello step decisionale del modello di newsvendor che tiene conto sia dell'avversione al rischio soggettiva del decisore che del grado di backorder del componente.

Riferimenti capitolo 8: 17.5, 17.18, 17.19, 17.29, 17.30, 17.33, 17.34, 17.35, 17.36, 17.37, 18.8, 18.10, 18.11, 18.12, 18.13, 18.19

9 Il metodo CVaR

Per introdurre il metodo statistico di ottimizzazione partiamo con le definizioni associate alla varianza. Seguiranno delle definizioni dalla letteratura che prendono spunto dalla presentazione *Risk Management and Financial Engineering Lab, University of Florida – ‘VaR vs CVaR in Risk Management and Optimization - Uryasev’* (presentazione di Sarykalin, Serraino, Kalinchenko) e *‘Some Remarks on Value-at-Risk’, Georg Ch. Pflug (Cap.1, Department of Statistics and Decision Support Systems University of Vienna)*.

Il valore atteso o ‘expected’ di una variabile casuale è anche chiamato, a volte, valore medio della variabile. Viene definito a seconda del caso continuo o discreto della distribuzione, rispettivamente come:

$$\mathbb{E}[X] := \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$$

9.1

$$\mathbb{E}[X] := \sum_{k=-\infty}^{\infty} k P(X = k)$$

9.2

La varianza associata ad una variabile casuale X è definita come il range di valori entro cui si può ottenere una misura di X , indica di quanto si può discostare dal valore medio una certa misura casuale o valore rilevato di X :

$$\text{Var}(X) := \mathbb{E}[(X - \mathbb{E}[X])^2]$$

9.3

La definizione di VaR o Value-at-Risk è il valore della massima perdita che non verrà superato entro un certo livello di confidenza. Per dare una definizione matematica del VaR, possiamo scriverlo come:

$$\text{VaR}_{\alpha}(X) := \min\{c : P(X \leq c) \geq \alpha\}$$

9.4

Dove X è una variabile casuale che rappresenta le perdite (nel nostro caso), mentre α è il valore della percentuale del livello di confidenza a cui associo il valore di VaR. Il VaR- α è quindi definibile in diversi modi, ad esempio è definibile come la massima perdita che non verrà superata con probabilità α . E’ anche l’ α -quantile della distribuzione della funzione X delle perdite. Il valore di VaR- α è il più piccolo valore delle perdite nell’ $(1-\alpha) \times 100\%$ dei casi peggiori o in maniera complementare è la più grande perdita possibile nell’ $\alpha \times 100\%$ dei casi.

Definito il VaR è possibile introdurre la definizione di C-VaR o Conditional Value-at-Risk: il C-VaR è il valore atteso delle perdite, vincolate o condizionate al superamento delle perdite della soglia del VaR dato un livello di confidenza definito come α . Volendolo tradurre in linguaggio matematico, il C-VaR di una variabile casuale X dato il livello di confidenza α è definito come il valore atteso di:

$$CVaR_{\alpha}(X) := \mathbb{E}[X | X \geq VaR_{\alpha}(X)]$$

9.5

In letteratura delle definizioni alternative del C-VaR sono Average Value-at-Risk, Tails Conditional Expectation e Expected Shortfall. Spesso però tutte queste tre definizioni alternative sono utilizzate per differenti varianti del C-VaR; nella trattazione di questa tesi non verrà fatta distinzione.

Per poter trovare il $VaR_{\alpha}(X)$ data una distribuzione della variabile casuale X , si può utilizzare la funzione di distribuzione cumulata della variabile stessa. Una volta calcolata la VaR_{α} è possibile ricavare la $CVaR_{\alpha}(X)$ riportando il valore associato sul grafico di funzione di densità di probabilità e calcolando il valore medio atteso dell'area tagliata (quindi puntuale). Non è quindi possibile calcolare nessun $CVaR$ riportandone il valore sulla funzione di distribuzione di probabilità cumulata in quanto non ha significato.

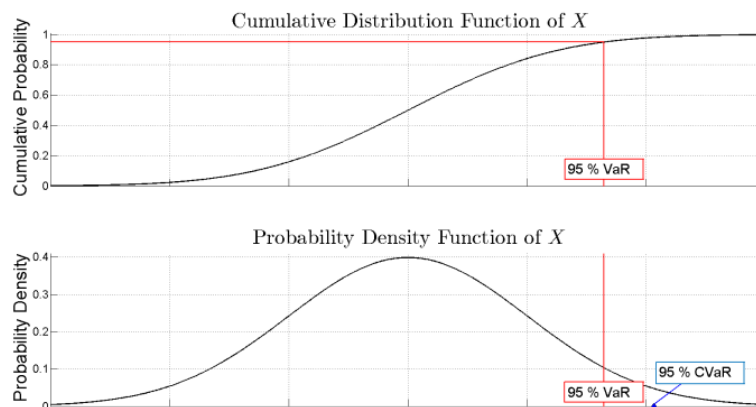


Figura 9.1 'Densità di probabilità Normale', fonte: researchgate.net

Per poter visualizzare sullo stesso grafico di distribuzione dei profitti, per semplicità di rappresentazione è stata considerata una distribuzione normale simmetrica con valore atteso incentrato a zero, diventa più chiara l'evidenza dell'area tagliata da $1-\alpha$ il cui valore atteso è dato proprio dal $CVaR$ associato.

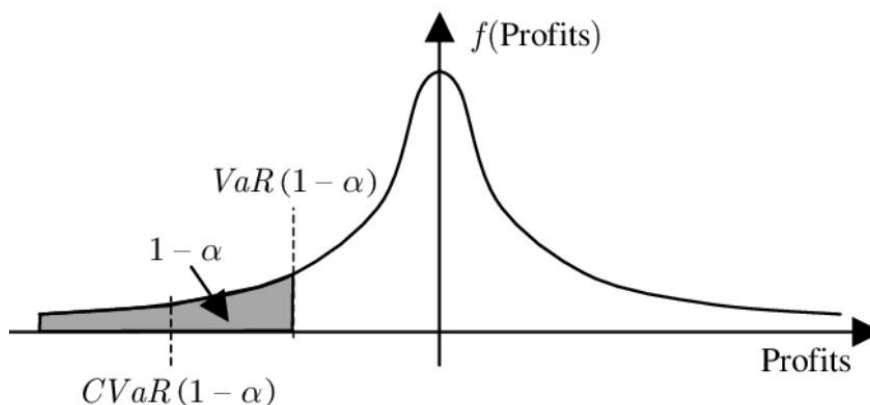


Figura 9.2 'Densità di probabilità Normale', fonte: researchgate.net

Se viene utilizzato come strumento statistico di appoggio la sola varianza di una funzione, si incontrano principalmente due problemi: il primo è che la varianza è uno strumento valido per funzioni di distribuzioni normali o simmetriche, le distribuzioni asimmetriche delle perdite non

verrebbero quindi prese in considerazione, in aggiunta a questo la distribuzione normale di una variabile come le perdite associate a determinati prodotti e segmenti di mercato è un'approssimazione poco coerente; secondo non è una funzione monotona, quindi è possibile che venga ritenuta semplicemente più rischiosa una distribuzione con varianza più ampia ma le cui perdite possono non eccedere il valore di un'altra distribuzione con varianza minore.

Per poter evitare quindi i rischi associati ad utilizzare l'ottimizzazione vincolata standard al problema di Newsvendor e la non coerenza della misura del rischio della varianza, verrà applicato il metodo C-VaR solitamente utilizzato nel risk management per la gestione di portafogli finanziari. Questa misura statistica può però essere utilizzata in maniera generica sotto determinati vincoli poiché più coerente della misura della varianza, nello specifico introdurremo il modello di ottimizzazione di Rockafellar e Uryasev che viene utilizzato per ottimizzare portafogli finanziari e ha ottime applicazioni operative grazie all'introduzione di una funzione di supporto al calcolo.

9.1 Misure di rischio coerente

Per poter definire una misura di rischio come coerente, P. Artzner ha individuato una serie di assiomi o proprietà che la misura deve rispettare (*'Coherent Measures of Risk' – Philippe Artzner, 1998*). Nello specifico vengono definiti 4 assiomi: monotonia, equivarianza di transitività, subaddittività e omogeneità positiva. Per poterli definire, detti X ed Y due variabili casuali delle perdite, c uno scalare che rappresenta una perdita e ρ una funzione di rischio generica (che rappresenta la variabile di perdita X o Y in funzione del suo rischio associato):

- **Monotonia:** una misura di rischio è monotona se per ogni valore di X o Y soddisfa la seguente condizione

$$X \leq Y \Rightarrow \rho(X) \leq \rho(Y)$$

9.6

- **Translation Equivariance:** una misura di rischio è equivariante se per ogni valore di X e c soddisfa la seguente condizione

$$\rho(X + c) = \rho(X) + c$$

9.7

- **Subaddittività:** una misura di rischio gode della subaddittività se per ogni valore di X ed Y soddisfa la seguente condizione

$$\rho(X + Y) \leq \rho(X) + \rho(Y)$$

9.8

- **Omogeneità positiva:** una misura di rischio gode della proprietà di omogeneità positiva se per ogni valore di X ed λ (scalare generico) soddisfa la seguente condizione

$$\rho(\lambda X) = \lambda \rho(X)$$

9.9

In altre parole, per arrivare a questi 4 assiomi Artzner ha individuato 4 comportamenti fondamentali delle misure di rischio per far sì che possano essere utilizzate in modo coerente. Nel caso della monotonia, si nota subito come un 'aumento delle perdite corrisponde necessariamente ad un aumento del rischio, la relazione è biunivoca, maggiori rischi implicano maggiori perdite e

viceversa. L'equivarianza dice che aumentare o diminuire le perdite di una quantità c , diminuisce il rischio della stessa quantità: questa potrebbe essere vista come una forzatura o un vincolo, ma è necessario imporre questo tipo di relazione tra rischio e perdite, in quanto qualsiasi altro tipo di relazione tra le variabili andrebbe analizzato nello specifico e riportato nelle condizioni date da Artzner per indicare la misura di rischio come coerente. La subaddittività serve per indicare come la differenziazione di un portafoglio diminuisca il rischio totale (e quindi le perdite se vengono soddisfatte gli altri 3 assiomi). Infine l'omogeneità positiva vincola il raddoppio del rischio al raddoppio delle perdite, dato un qualsiasi parametro moltiplicativo per l'aumento del rischio del portafoglio, le perdite verranno moltiplicate ed aumenteranno con lo stesso parametro.

Definiti quindi questi 4 assiomi si può dimostrare come il value-at-risk VaR non sia una misura coerente del rischio; il VaR non gode della proprietà di subaddittività, quindi non è una misura coerente. E' facilmente dimostrabile prendendo due possibili opzioni che hanno un valore di perdita diversa da zero (ed uguale tra le due opzioni) nel 4% dei casi per ciascuna, e uguale a zero in tutti gli altri casi con probabilità totale aggregata complementare del 96%; se si calcola la varianza per entrambe le singole opzioni al livello di confidenza del 95% ($\alpha=0,05$) troveremo varianza zero per ognuna. Mentre se calcoliamo la varianza per lo scenario che somma le due opzioni possibili insieme, la varianza associata diversa da zero che ha probabilità 4% per ognuno dei singoli. Quindi fallisce il criterio di subaddittività.

Riferimenti capitolo 9: 17.18, 17.19, 17.30, 17.33, 17.35, 17.36, 17.37, 18.8, 18.10, 18.11, 18.12, 18.17, 18.18, 18.19

9.2 L'applicazione C-VaR Rockafellar e Uryasev

Per poter calcolare operativamente i valori, Uryasev e Rockafeller hanno introdotto una funzione ausiliaria che identifica il valore atteso condizionato (rispetto alla statistica α) del profitto $P(x)$ sotto il quantile $\text{VaR}-\alpha |P(x)|$. Questo nuovo metodo introdotto permette di non calcolare il VaR della funzione, ma calcolare direttamente il minimo valore atteso della funzione associata costruita come sotto, dove u è il valore atteso del profitto, E indica il valore atteso e $P(x)$ è la funzione generica del profitto.

$$F(x, u) = u - \frac{1}{1 - \alpha} E[u - P(x)]^+$$

9.10

In termini più generici è stato dimostrato da Rockafellar e Uryasev che calcolare il minimo della funzione $\text{CVaR}-\alpha$ tra i possibili valori possibili di x appartenenti al set di soluzioni S , è equivalente al calcolo del minimo della funzione attesa associata introdotta precedentemente, dove in notazione generica X è la funzione oggetto di studio (nello specifico il profitto), dipendente dai valori x delle possibili soluzioni appartenenti ad S ed r che sono i possibili valori casuali delle perdite che possono presentarsi; in questo caso il valore u atteso è definito come generica costante 'c' in quanto rappresenta un numero finito appartenente ad R del valore atteso della funzione $X(x, r)$.

$$\min_{x \in S} \text{CVaR}_\alpha(x) = \min_{x \in S, c \in R} \left(c + \frac{1}{1 - \alpha} E[(X(x, r) - c)^+] \right)$$

9.11

Nella funzione, u identifica il profitto target del valore $\text{VaR}-\alpha |P(x)|$ che definisce la probabilità che il profitto $P(x)$ non superi il livello target $\text{VaR}-\alpha |P(x)|$ sia pari a $(1-\alpha)$.

Possiamo quindi partire dalla funzione di profitto trovata nel problema per definirne il VaR associato, con livello di confidenza α :

$$\text{VaR}_\alpha[P(x)] = \sup \{y \in R \mid \Pr \{P(x) \geq y\} \geq \alpha\}$$

9.12

Dove il VaR denota la probabilità che il profitto ecceda la soglia del valore y con livello di confidenza maggiore o uguale ad α e la funzione di profitto è quella definita in precedenza:

$$P(q) = (p - c) \min \{q, D\} + (p - c) w(D - q)^+$$

9.13

Applicando ora la definizione di C-VaR- α partendo dalla VaR- α del profitto sopra definita, è possibile scrivere:

$$CVaR_{\alpha}[P(x)] = E[P(x) | P(x) \leq VaR_{\alpha}[P(x)]]$$

9.14

Come per l'introduzione generale, il C-VaR- α misura il valore atteso (o medio) del profitto sotto il quantile tagliato dalla quantità VaR- α → in altre parole il VaR indica un range di possibili perdite attese sotto un certo livello di confidenza mentre il C-VaR indica il valore atteso e quindi una media delle possibili perdite sotto il quantile VaR- α che indica quanto il possibile profitto P(x) si discosta dalla media attesa, in relazione al possibile range di perdite.

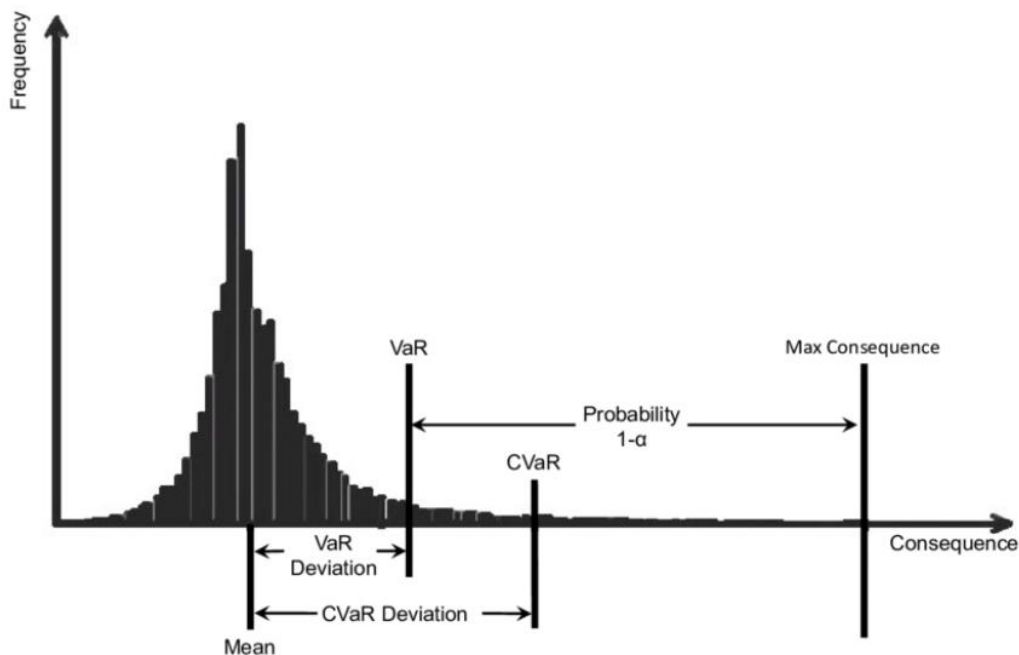


Figura 9.2.1 ‘Densità di probabilità Normale’, fonte: Encyclopedia of Operations Research and Management Science, VaR and CVaR Deviations [Source: Sarykalin et al (2008)]

Nel loro articolo, Liu, Chan e Xiu (*Hedging Risks in the Loss-Averse Newsvendor Problem with Backlogging*), affrontano l’ottimizzazione della funzione utilità secondo il metodo C-VaR di Rockafellar e Uryasev. La funzione di appoggio utilizzata è la stessa, con un cambio di segno:

$$F(x, u) = u - \frac{1}{1 - \alpha} E[u - P(x)]^+$$

9.15

Dove nella funzione F(x,u), u rappresenta il profitto target o atteso derivante dall’applicazione del VaR- α [P(x)] che è la probabilità che profitto P(x) non superi il valore target VaR- α [P(x)] con un valore 1- α . La quantità $1/(1-\alpha) * E[u-P(x)]$ è il valore atteso condizionato della possibile differenza tra il profitto P(x) e il VaR- α [P(x)] quando il profitto non può raggiungere il valore VaR- α [P(x)].

La funzione F(x,u) quindi rappresenta il valore atteso condizionato del profitto P(x) sotto il quantile VaR- α [P(x)]. Massimizzando F(x,u) è dimostrato che si ottiene il valore massimo del CVaR α [P(x)].

Applicando quindi il Value at Risk sotto il livello di confidenza α all'utilità in funzione della quantità a magazzino o di ordine, è possibile passare direttamente alla formula del $CVaR_\alpha[U(q)]$. Di seguito le definizioni di VaR come superiore del valore y appartenente ad R tale per cui il profitto atteso è superiore ad esso con un livello di confidenza maggiore di α .

$$VaR_\alpha[U(q)] = \sup \{y \in R \mid \Pr \{U(q) \geq y\} \geq \alpha\}$$

9.16

$$CVaR_\alpha[U(q)] = E[U(q) \mid U(q) \leq VaR_\alpha[U(q)]]$$

9.17

Nel caso quindi del modello completo, inclusivo di backorder rate e propensione al rischio, la massimizzazione dell'utilità secondo metodo CVaR secondo Rockafellar e Uryasev dedotta dallo studio di Liu, Chan e Xiu è la seguente riportata sotto. Per la dimostrazione completa dei passaggi mancanti, riporto ai passaggi dell'articolo che sono riportati in appendice (19.3)

$$q^\alpha = \begin{cases} M & s \leq \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}, \\ \frac{(p-c+\lambda(c-r))M + (\lambda s(1-w) - w(p-c))N}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} & s > \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}, \end{cases}$$

9.18

dove

$$M = F^{-1} \left[\frac{(1-\alpha)(1-w)(p-c+\lambda s)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} \right], N = F^{-1} \left[\frac{(1-\alpha)(1-w)(p-c+\lambda s)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} + \alpha \right]$$

9.19

Questa soluzione finale dell'articolo porta già punti di riflessione interessanti da applicare. Innanzitutto nello studio dell'articolo l'unico esempio numerico riportato è relativo alla distribuzione normale della domanda prevista, l'utilizzo di una distribuzione non continua come quella di Poisson o distribuzioni più complesse a più parametri di curva possono essere un interessante oggetto di ulteriori sviluppi, in quanto non sempre l'approssimazione Gaussiana si adatta ai casi specifici, o per lo meno ne è una forzatura di cui va sempre tenuto conto – un modo per evitare vincoli e approssimazioni di livello troppo elevato, è proprio utilizzare una distribuzione diversa. Questo non implica il cambiamento della formula di per sé, ma solamente un diverso processo iterativo piuttosto che inverso nei calcoli parziali della stessa.

Un altro punto interessante è quello della soglia del *salvage value*: a seconda del suo valore infatti il modello cambia soluzione; in caso di salvage value molto piccoli o comunque trascurabili rispetto al valore discriminante $w(p-c)/\lambda(1-w)$, d'ora in avanti anche definito come valore soglia o *'threshold'*, il modello assume una struttura della soluzione simile al caso di ottimizzazione rispetto all'utilità massima senza utilizzo del conditional – value at risk, mentre lo sviluppo vero e proprio della soluzione del modello con CVaR è data dal caso in cui il salvage value superi la soglia. Un'indicazione importante ci viene quindi subito data dalla quantità discriminante: il valore del margine $(p-c)$ e della quantità di domanda in eccesso che verrà persa $(1-w)$ sono le due quantità che guidano il valore finale insieme alla propensione al rischio del decisore λ .

Lo shortage cost a volte viene definito anche costo di domanda insoddisfatta, è il costo che si subisce per una mancata vendita relativo alla condizione di domanda eccedente lo stock disponibile. Il costo non è un semplice costo di mancata entrata, bensì va valutato sotto aspetti anche meno ‘oggettivabili’. Nel caso in cui la domanda in eccesso possa essere trasformata in backlog, non viene persa definitivamente ma può essere soddisfatta quando la prossima spedizione andrà a riportare a regime il livello di stock del magazzino (replenishment); in questo caso il fatto di dover far attendere i propri clienti e causare ritardi per shortage temporari può risultare in una perdita vera e propria di interesse del cliente nel fare ulteriore business con l’azienda stessa: perdita di clienti e quote di mercato verranno causate se il ritardo della consegna sarà troppo ampio per essere accettato dal cliente. Ulteriori costi di mancato profitto o ritardo del cashflow si aggiungeranno ai costi amministrativi extra per la gestione degli stessi. Per un’azienda manifatturiera (OEM) nello specifico il costo di shortage causato dal ritardo di alcuni componenti può essere associato con il ritardo nel completare il processo di produzione fino alla consegna stessa del componente finale. Esiste poi il caso di impossibilità di fare backlog: succede quando la domanda in eccesso rispetto allo stock disponibile non può essere soddisfatta dall’azienda nemmeno attendendo la prossima consegna di stock già ordinato. Se la domanda può essere quindi soddisfatta da una spedizione espressa extra, lo shortage cost sarà quindi definito come l’extra costo della spedizione stessa relativo all’ordine da soddisfare. Se invece la domanda non può essere soddisfatta e gli ordini vengono cancellati, il caso peggiore per l’azienda, il costo di shortage deve tenere conto del mancato profitto degli ordini persi insieme al futuro business perso e relative quote di mercato inferiori. Verrà approfondito nell’analisi numerica il metodo con cui sono stati definiti tutti i parametri, tra cui il costo di shortage e sotto quali ipotesi.

L’ottimizzazione della quantità con applicazione del metodo C-VaR al modello di Newsvendor era già stata affrontata da JOHANNES FICHTINGER nel libro ‘*The Single-Period Inventory Model with Spectral Risk Measures*’, ma non conteneva nessun riferimento a parametri che tenessero conto del possibile backlog della domanda in eccesso né riferimenti alla predisposizione al rischio del decisore. Per poter effettuare oltre che analisi puntuali sul nuovo modello discusso, anche dei paragoni rispetto ai modelli precedenti, introdurremo anche la quantità ottimale con applicazione del metodo C-Var- α secondo lo studio del libro di Fichtinger ➔ allo stesso modo è stato applicato il metodo di Rockafellar e Uryasev (2000). I parametri utilizzati sono gli stessi del modello utilizzato, per poter presentare perfetta coerenza con le formule del libro, le variabili sono le seguenti:

- P prezzo di vendita unitario
- C costo di acquisto unitario
- V salvage value unitario o costo di rientro (A differenza del modello discusso in cui è definito con la lettera R)
- S penalty o shortage cost
- α livello statistico di confidenza

Non essendoci i parametri di propensione al rischio λ e di backlog rate w , l’equazione di ottimizzazione dell’utilità è sempre risolvibile in forma chiusa ed ha un’unica soluzione che è la seguente:

$$y^* = \frac{p-v}{p-v+s} F^{-1} \left(\alpha \frac{p-c+s}{p-v+s} \right) + \frac{s}{p-v+s} F^{-1} \left(1 - \alpha \frac{c-v}{p-v+s} \right)$$

9.20

Questa stessa formulazione è coerente con l’ultimo modello studiato nel caso in cui si derivi la stessa soluzione, escludendo il parametro di propensione al rischio λ nella definizione della funzione di appoggio di Rockafellar e Uryasev e ponendo $w=0$.

10 Safety Stock

Come già anticipato nell'introduzione della tesi sulle possibili cause e soluzioni alla disruption del mercato dell'elettrico, l'enorme dilatazione del lead time è stato sicuramente un fattore determinante nello sbilanciamento della supply chain, che incontrando buffer e safety stock non sufficientemente dimensionati per poter supportare l'iniziale impatto di mancate consegne. Nel modello introdotto di ricerca della quantità d'ordine ottimale, non viene preso in considerazione quello che è tutto il discorso di logistica e di magazzino; questi due aspetti potranno essere eventualmente approfonditi in un secondo momento e potranno essere spunto di ulteriori analisi future da collegare al modello di Newsvendor discusso, con particolare focus ai costi di shortage e salvage e al backlog rate in funzione dei parametri dei costi di magazzino.

Per completare il supporto al modello integrando anche la variabile del lead time che non può essere assolutamente trascurata nella trattazione, seguirà una breve analisi e discussione sulla metodologia standard di calcolo dello stock di sicurezza e del suo dimensionamento in relazione agli specifici casi di applicazione.

Lo stock di sicurezza nasce per tentare di arginare i problemi relativi all'incertezza legata alla domanda e al lead time.

L'incertezza legata alla domanda può essere funzione della tipologia di prodotto o del mercato, può essere legato alla periodicità o all'andamento stagionale delle vendite o da fattori esogeni che colpiscono determinate fette di mercato.

L'incertezza legata al lead time, a volte anche definita come incertezza di fornitura, è influenzabile da diversi fattori: il lead time di produzione, trasporto e consegna, il tempo di impacchettamento e test conformità, eventuali controlli qualità e stock obsoleti o inutilizzabili, la perdita stessa dell'ordine, il tempo legato alla variabile dei controlli lungo la catena di trasporto (dogane incluse), la frequenza con cui viene emesso un ordine, il ritardo nell'emissione dell'ordine stesso o la mancata ricezione/comunicazione; insieme a tutti questi fattori che vengono solitamente presi in considerazione, ci sono tutti gli eventi non prevedibili che possono portare all'allungamento del lead time: tra gli effetti del covid c'è stata la mancanza di materia prima, la ridotta forza produttiva e il ritardo in produzione e spedizioni; oltre a questo anche altri fattori straordinari possono causare ulteriori ritardi (es. Ever Given che ha bloccato il Canale di Suez formando un collo di bottiglia imprevisto). Tutti queste possibili cause possono aumentare i lead time della catena di fornitura e conseguentemente i rischi di shortage ed overstock a seconda della politica decisionale che si vuole perseguire.

E' bene sottolineare come uno stock di sicurezza troppo elevato andrà incontro a costi di magazzino e mantenimento molto elevati, uniti alla possibilità di possibile obsolescenza dello stock stesso ed eventuale necessità di rottamazione; se uno qualsiasi di questi costi non viene preso in considerazione o viene sottostimato si andrà incontro a perdite maggiori di quelle potenziali di non mantenimento dello stock di sicurezza; questo rischio è frutto di poca accuratezza nella previsione della domanda o delle vendite, mancanza o basso livello di comunicazione nella catena di fornitura, scarsa affidabilità dei fornitori e ritardi in produzione, qualsiasi gestione sbagliata di logistica, processi IT o fasi con intervento manuale diretto. Lo scopo di mantenere il corretto livello di stock di sicurezza è proprio il bilanciamento tra la soddisfazione del cliente, che si traduce in termini quantitativi in un livello di servizio elevato, e il costo a magazzino (e i costi accessori) che devo sostenere per mantenere lo stock. Lo stock di sicurezza è sempre legato al punto di riordino a magazzino; quest'ultimo indica la quantità esatta che una volta raggiunta a magazzino fornisce la soglia per procedere all'ordine successivo. Il reorder point è quindi un indicatore fondamentale nel controllo del magazzino e nel bilanciamento tra costi e possibili perdite.

Nella letteratura tradizionale ci sono diversi metodi per il calcolo dello stock di sicurezza e ne verranno presi in considerazione qui sotto i più interessanti, portandone i pro e i contro nelle applicazioni e, successivamente, introducendoli a completamento della gestione degli ordini tramite il modello di Newsvendor discusso nei capitoli 12 e 13.

Solitamente il modello di calcolo di stock di sicurezza si associa nella letteratura tradizionale all'EOQ ed utilizza il reorder point come misura di frequenza. In questa tesi invece l'obiettivo è quello di massimizzare i risultati ottenuti dallo studio sul modello di Newsvendor e poter integrare il calcolo dello stock di sicurezza legandolo all'ordine ottimo come già calcolato attraverso il modello discusso nel paragrafo precedente.

Il primo metodo che verrà introdotto è quello che in letteratura si chiama average-max method, o il metodo del 'padre prudente'. Questo metodo è utile quando si ha a disposizione un set di dati dello storico degli anni precedenti. La notazione che verrà utilizzata è quella della presentazione del modello dell'*Institute for Supply Management* (ISM).

Il termine average-max prende il nome dalle variabili di cui è funzione lo stock calcolato, la cui formula è:

$$SS = \text{Max LT} * \text{Avg Sales} - \text{Avg LT} * \text{Max Sales}$$

10.1

Dove 'SS' è lo stock di sicurezza, Max LT è il lead time massimo che può essere registrato, 'Avg LT' è il lead time medio del prodotto e 'Max Sales' è il massimo livello di vendite registrato nel periodo di tempo in esame. Questo metodo è il più generico possibile e presenta come pro la praticità e la generalità, può essere utilizzato sulla base di uno storico dati di basso livello di dettaglio e non richiede un'analisi approfondita ed ulteriore delle varianze dei vari periodi. La rapida variazione di LT deve essere subito registrata per il ricalcolo sia del lead time medio che dell'outlier del picco; proprio gli outliers giocano un ruolo di fondamentale importanza in questo calcolo, così come in un periodo critico come quello del covid i lead time si sono allungati, inserire subito un LT che da 6 settimane passa a 9 può anche essere un'arma a doppio taglio. Nel caso specifico rischia di creare overstocking non sempre utili, così come rischia di erodere le riserve nel caso in cui si registri una gestione 'super efficiente' della catena di fornitura da parte di un fornitore. La gestione dei picchi quindi non può essere ignorata ma va gestita con un livello di dettaglio maggiore e meno impattante (es. un ritardo di un particolare dovuto ad uno specifico caso non ricorrente può generare un ampliamento eccessivo dello stock che non verrà giustificato se in futuro la gestione tornerà nei suoi livelli standard in tempi brevi).

Per poter gestire lo stock di sicurezza con incertezza legata sia alla domanda che al lead time, la letteratura propone una formula che si avvale della legge dei grandi numeri per definire la domanda come distribuita normalmente e che non ci sia correlazione tra le variabili domanda e lead time. Definiamo con L il lead time medio, δ -demand la deviazione standard della domanda, μ -sales la media delle vendite nel singolo periodo in analisi e δ -lead time la deviazione standard del lead time nel periodo di tempo analizzato.

$$SS = Z \times \sqrt{L \times \sigma_{demand}^2 + \mu_{sales} \times \sigma_{lead\ time}^2}$$

10.2

Nel caso in cui invece si riscontrino empiricamente variazioni dipendenti tra lead time e domanda è possibile utilizzare la formula includendo la dipendenza tra le due variabili.

$$SS = Z \times \sigma_{demand} \times \sqrt{L} + Z \times \mu_{demand} \times \sigma_{lead\ time}$$

10.3

In entrambi i casi è anche presente Z il cosiddetto coefficiente di servizio o fattore di servizio.

Il valore di Z è dipendente dal tipo di distribuzione (la Gaussiana) e il livello di servizio accettabile, a sua volta legato al massimo numero di shortage che possono accadere in un dato intervallo di tempo ovvero di ordini non soddisfatti. Z è quindi ricavabile dall'inverso della funzione Normale nel caso in cui le ipotesi della stessa siano soddisfatte e applicate oppure con interazione attraverso le distribuzioni più complesse, come, ad esempio, quella di Poisson o le eventuali esponenziali derivate. Per poter decidere quale valore di Z è il più appropriato esistono diversi metodi, il più utilizzato e semplice in letterature è quello del cosiddetto 'valore di servizio' (service level); questo metodo si basa sull'individuare il nostro livello di servizio desiderato dei vari componenti; con livello di servizio si indica la percentuale di casi in cui è possibile soddisfare un ordine per quello specifico componente, maggiore è la domanda o la criticità del componente, maggiore sarà il livello di servizio che vorremmo avere per minimizzare statisticamente i casi in cui non avremo a disposizione sufficiente stock per soddisfare l'ordine.

Nel grafico sotto vediamo come imponendo l'ipotesi di distribuzione normale si abbia il livello di servizio uguale alla probabilità di copertura dello stock in percentuale come secondo i valori statistici più frequentemente usati in letteratura per i livelli di copertura principali.

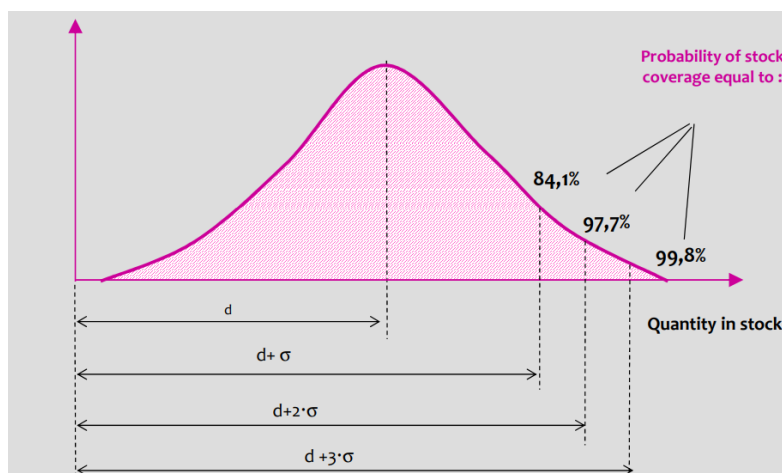


Figura 10.1 'Probability Stock per Service Rate'; fonte: researchgate.net

Qui sotto un esempio grafico della distribuzione probabilistica normale e i relativi valori di livello di servizio e valore di Z (inverso dell'area della funzione densità di probabilità tagliata dal valore Z, che quindi rimane fuori). Notiamo già la prima particolarità del modello che, sotto le ipotesi di distribuzione normale e centrata nell'origine della domanda, per un livello di servizio pari al 50% parte da una Z di valore nullo → questo significa che il valore minimo di livello di servizio accettato per un qualsiasi componente è esattamente il 50% e corrisponde ad uno stock di sicurezza nullo ($SS=0$ formula n. con $Z=0$). Nella metà dei casi in cui riceviamo un ordine di un certo componente per cui riteniamo opportuno soddisfarli, non serve tenere alcun stock di sicurezza, statisticamente quindi ci sarà un maggiore rischio di non soddisfare eventuali fluttuazioni di

domanda sul componente – questo può identificare componenti in obsolescenza, bassi o lenti rotanti o componenti che non danno valore aggiunto né sono critici.

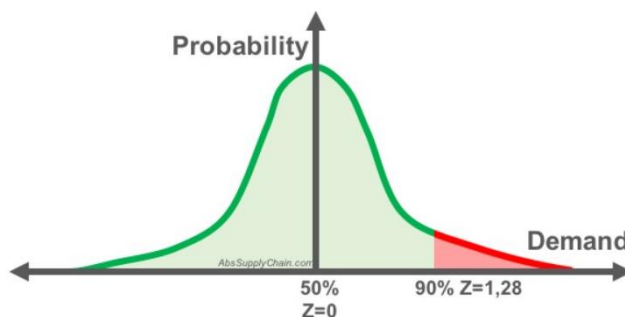


Figura 10.2 'Probability and Z value for Normal Distribution; fonte: abcsupplychain.com

Come anticipato proprio il 'service level' o livello di servizio è l'indicatore più utilizzato per poter clusterizzare i vari componenti a seconda del metodo e del criterio ritenuto più opportuno dal decisore. Nella tabella sottostante (figura 10.3) è riportata una serie di valori standard di livello di servizio a seconda di due criteri principali: il livello di rotazione del componente e il livello di rischio della domanda, che può essere definito sotto diversi aspetti. Nel caso generale sotto non sono riportati criteri di classificazione ma come anticipato sono personalizzabili e non sono vincolati, il rischio della domanda può dipendere dalla varianza della stessa, da eventuali picchi che indicano outliers non sistematici o anche dall'interdipendenza di un assemblato a più componenti come dell'utilizzo multiplo di un singolo componente su famiglie di assemblati con varianza particolarmente differente nella domanda.

Tabella del livello di servizio:

	X Low risk demand pattern	Y Medium risk demand pattern	Z High risk demand pattern
A Fast-moving items	99%	95%	80%
B Medium-moving items	95%	85%	65%
C Slow moving items	80%	65%	50%

Figura 10.3 'Required Service Level determination'; fonte: frepple.org,

Verrà utilizzato nell'analisi uno schema tabellare simile per poter calcolare il corretto livello di stock di sicurezza. Importante è definire il fatto che lo stock di sicurezza deve poter essere uno stock che 'non viene toccato' se non in casi di emergenza. Non può essere utilizzato per soddisfare ordini 'standard' in quanto in questo caso il modello di gestione di magazzino e il modello logistico andrebbero cambiati. E' importante però sottolineare come per alcuni componenti particolarmente delicati dal punto di vista della conservazione per condizioni di temperatura, umidità, vibrazioni ed esposizioni alla luce, ci siano diversi tipi di gestione di magazzino molto più stringenti e vincolanti. In alcuni casi è infatti possibile mantenere la quantità dello stock di sicurezza fisso, a patto che questo non debba essere utilizzato nel frattempo per gestire situazioni di picchi di domanda non prevedibili, con l'utilizzo di alcuni dei componenti presenti nello stock di sicurezza per soddisfare gli ordini – in questo caso è bene riordinare un lotto che rimpiazzi parzialmente o completamente lo stock di sicurezza in modo che questo non rimanga troppo a lungo non movimentato per evitare rischi di obsolescenza o degradazione del componente stesso.

I limiti dell'utilizzo della distribuzione normale per il calcolo dello stock di sicurezza sono diversi, possiamo elencarne alcuni tra i più importanti da tenere in considerazione:

- Per bassi volumi di vendita una distribuzione normale non è una buona approssimazione, diventa un vincolo di approssimazione forzato.
- Non viene considerata nessuna stagionalità delle vendite in maniera diretta – viene però introdotta nel caso la si consideri nella deviazione standard, con approssimazioni dovute alla ciclicità che vengono trasformate in 'picchi' della normale → non viene quindi preso in considerazione il fattore tempo e considerato il periodo effettivo di deviazione
- La poca sicurezza anche nelle approssimazioni della normale può comportare errori soggettivi di modifica manuale dei fattori di livello di servizio che sovradimensionano in maniera scorretta lo stock di sicurezza.
- Sottovaluta i casi estremi o i cosiddetti 'outliers' in quanto richiede la fluttuazione della maggioranza dei valori attorno al valor medio – la domanda non è quasi mai simmetrica, bensì è più aperta sulle code (a destra) → questo tipo di approssimazione si applica anche al lead time da considerare.
- Il service level di target non è mai quello reale, ma viene utilizzato di fatto per ottimizzare i valori delle formule, unito all'approssimazione della distribuzione della domanda crea maggiore dispersione degli errori.

Vediamo alcune tipologie di possibili gestioni dello stock di sicurezza.

Stock di sicurezza a zero:

Molti gestori della catena di approvvigionamento tentano di contrastare i costi di avere troppe scorte impostando lo stock di sicurezza a zero. Ciò è particolarmente comune quando si ha un picco imprevisto dell'aumento della domanda e il consecutivo ritorno a un livello normale. Mentre risolve il problema di avere troppo inventario, aumenta il rischio di non avere un buffer per gestire ulteriori fluttuazioni della domanda o ritardi dei fornitori, che possono essere anche più costosi.

Stock di sicurezza statico

Le scorte di sicurezza non crescono con l'attività, il che significa che il numero di unità attualmente destinate a scorte di sicurezza potrebbe non essere sufficiente man mano che l'attività si espande. I gestori dell'inventario dovrebbero rivedere regolarmente le strozzature e i numeri delle scorte di sicurezza e adeguarne l'importo se necessario, senza mantenerlo costante a prescindere.

Eccesso di stock di sicurezza

Avere le scorte di sicurezza è spesso necessario per evitare di perdere le vendite a causa dell'esaurimento delle suddette, ma non si può negare che riduce la liquidità disponibile dell'azienda. Avere un eccesso di scorte di sicurezza può significare meno spazio per le scorte del ciclo corrente o per i nuovi prodotti. È anche una spesa aziendale considerevole, poiché i costi di mantenimento rappresentano spesso il 20% o più del costo totale dell'inventario. Gran parte di questa spesa derivano dalle quantità aggiuntive che devono essere acquistate, dall'aumento dei costi di stoccaggio e delle ore del personale.

Formule standard di calcolo

Le formule standard per le scorte di sicurezza potrebbero non funzionare per tutti i settori o le strategie operative, soprattutto in presenza di numerose variabili sconosciute. Queste formule dovrebbero essere ottimizzate per adattarsi alle singole aziende e situazioni per fornire i calcoli più affidabili. Ne abbiamo viste alcune in questo capitolo e ne vedremo un'altra nel capitolo 13.

Ridurre lo stock di sicurezza progressivamente

E' allettante per i responsabili della catena di approvvigionamento ridurre la quantità di scorte di sicurezza man mano che i tempi di consegna medi diminuiscono. Tuttavia, oltre ai lunghi tempi di consegna, altri fattori possono causare problemi di inventario, quindi mantenere scorte di sicurezza adeguate dovrebbe essere una priorità.

Sovrautilizzo dello stock di sicurezza

Le scorte di sicurezza sono un buon scudo contro l'esaurimento delle suddette ma non è una panacea per i problemi di inventario. I responsabili della catena di fornitura devono determinare la quantità ottimale di scorte di sicurezza per ogni articolo e trovare un attento equilibrio tra i rischi e i costi delle scorte esaurite rispetto ai rischi e ai costi di avere troppe scorte a portata di mano.

Riferimenti capitolo 10: 17.27, 18.5, 18.6, 18.7

11 The Quantitative Supply Chain - Joannès Vermorel – Calcolo del livello di servizio

Un modello quantitativo di stima tratto dal capitolo 7 del The Quantitative Supply Chain (2018) di Joannès Vermorel propone una formula che lega il service level al costo di stockout e al costo di magazzino. Questo approccio può essere utile per capire quali sono i componenti più critici e proporre un metodo quantitativo alla razionalizzazione che anche Toyota ha effettuato nell'individuare 1400 componenti critici all'interno della sua supply chain; il CEO di Toyota ***** ha ammesso che il primo termine utilizzato per l'individuazione dei componenti è stato quello del lead time, con un particolare focus ai colli di bottiglia dell'intera catena produttiva; non sono disponibili ulteriori dettagli di come Toyota abbia raggiunto il numero di componenti considerati critici e su cui aumentare il livello di stock di sicurezza, ma le ipotesi dietro il modello proposto da Vermorel sembrano potersi adattare bene a prodotti generici, a patto che vengano rispettate e tenute in adeguata considerazione. Inoltre anche se non espresso esplicitamente nella formulazione finale, tiene conto proprio del fattore lead time, elemento cardine utilizzato dall'analisi di Toyota per la clusterizzazione degli elementi critici.

Di seguito verranno riassunti brevemente i passaggi chiave del modello di calcolo del livello di servizio o disponibilità.

Per spiegare il modello vanno introdotte inizialmente tre variabili:

- **P** livello di servizio ottimale o probabilità di non avere stock-out
- **M**: costo marginale unitario associato all'evento di stock-out
- **H**: inventory carrying cost unitario per la durata del lead time

Rispetto alla formulazione di Newsvendor di questi parametri c'è un'ulteriore stima del parametro di costo marginale unitario di stock-out M che, in media, viene ritenuto pari a circa tre volte il margine lordo sulla singola unità – vedremo in seguito che anche con valori inferiori il modello è comunque applicabile.

Il parametro H di costo di mantenimento a magazzino e trasporto durante il lead time viene determinato in funzione del lead time del singolo componente (d). H_y invece è il carrying cost annuale, un dato più facilmente calcolabile e disponibile.

$$H = \frac{d}{365} H_y$$

11.1

Per poter introdurre la formulazione completa del problema è opportuno definire i costi di stock-out e di inventory holding per poter ottimizzare il modello finale. L'utilizzo di questo approccio è stato scelto proprio perché richiede parametri già calcolati per il modello di Newsvendor e perché di semplice utilizzo in quanto riprende ipotesi simili a quelle già introdotte per utilizzare il modello di Newsvendor.

Il modello per arrivare alla formulazione di costificazione introduce due parametri:

- Q: il livello ammortizzato di magazzino che dipende dal livello di servizio p
- O: la media dell'overage della domanda in presenza di stock-out

Il livello ammortizzato Q viene distaccato dal forecast della domanda per poter semplificare il modello e renderlo utilizzabile in maniera semplice. L'indipendenza avviene secondo l'ipotesi di 'ammortizzazione' del trend. Q non sarà quindi funzione del forecast effettivo della domanda ma verrà approssimato con la più semplice formulazione di reorder point finora ancora non introdotto.

Q sarà quindi solo funzione del service level 'p' in quanto approssimando a reorder point l'analisi ammortizzata approssima Q come nella 11.2 (LTd = lead time demand).

$$Q(LTd, p) = \text{reorder point} = \text{lead time demand} + \text{safety stock}$$

11.2

E' possibile quindi formulare la struttura del costo del livello di magazzino in modo che dipenda solamente dal livello di servizio 'p'.

$$C(p) = Q(p)H + (1 - p)MO$$

11.3

Il primo termine $Q(p)*H$ identifica il costo di magazzino, mentre il secondo termine $(1-p)*MO$ identifica il costo di stock-out che avviene con probabilità $1-p$. Applicando l'approssimazione di $Q(p)$ con il reorder point (11.2), è possibile riscrivere la 11.3 come

$$Q(p) = Z + \sigma\Phi^{-1}(p)$$

11.4

Dove Z è la domanda 'lead', δ è l'errore atteso e Θ è l'inverso della funzione di distribuzione di probabilità cumulata associata alla distribuzione normale standard con media pari a zero e varianza pari ad uno.

Sostituendo la 11.4 nella 11.3 si ottiene la seguente formulazione della funzione di costo in p.

$$C(p) = (Z + \sigma\Phi^{-1}(p)) H + (1 - p)M\sigma$$

11.5

Scrivendola in questo modo risulta differenziabile in p , livello di servizio, e derivando si ricava

$$\frac{\partial C}{\partial p} = \sigma H \partial \Phi^{-1}(p) - \sigma M$$

11.6

Dato che si vuole risolvere il livello di servizio ottimale in modo da minimizzare il costo totale (bilanciando lo stock-out e il costo di magazzino) è possibile porla uguale a zero (11.7) e successivamente dividere per la varianza della domanda, rendendo quindi il livello di servizio in

questa formulazione con approssimazione di Q al reorder point indipendente dalla varianza della domanda.

$$\sigma H \partial \Phi^{-1}(p) - \sigma M = 0$$

11.7

Dividendo ora la 11.7 per varianza (con ipotesi di varianza diversa da zero) e scrivendo in funzione dell'inverso della funzione di densità di probabilità cumulata di p, mettendole in evidenza, troviamo:

$$\partial \Phi^{-1}(p) = \frac{M}{H}$$

11.8

In letteratura è possibile trovare il valore della derivata della funzione di densità di probabilità associata alla distribuzione normale, conosciuta anche come funzione ERP:

$$\partial \Phi^{-1}(p) = \sqrt{2\pi} e^{\frac{1}{2} \Phi^{-1}(p)^2}$$

11.9

Applicando quindi la sostituzione (11.9) alla 11.8 e utilizzando le proprietà dei logaritmi, è possibile applicare il ln ad entrambi i membri e portare l'esponente davanti alla funzione.

$$\frac{1}{2} \Phi^{-1}(p)^2 = \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{M}{H} \right)$$

11.10

Ricavando infine evidenziando p, scriviamo la formulazione conclusiva che ottiene p in funzione del costo di stock-out e di inventory holding.

$$p = \Phi \left(\sqrt{2 \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{M}{H} \right)} \right)$$

11.11

E' necessario imporre le condizioni di esistenza della formula e discutere brevemente cosa implicano le ipotesi iniziali e la formulazione finale in termini di vincoli dei parametri di problema.

La prima approssimazione è data dalla distribuzione normale della domanda che non tiene conto delle effettive variazioni delle code ma prende come riferimento il valore atteso medio. La seconda approssimazione per semplificare dalla varianza della domanda è la sostituzione della domanda 'LEAD' con il reorder point finora non utilizzato e tipico dei metodi come l'EOQ (Economic Order Quantity) che si sostituiscono solitamente all'applicazione del modello di Newsvendor. In questo caso l'unione dello stock di sicurezza può compensare le eventuali carenze del singolo ordine nel modello di Newsvendor. L'ultimo vincolo di interesse applicativo del problema è dato dalla

condizione di esistenza del logaritmo naturale che si è applicato, che si traduce nell'imposizione dell'argomento maggiore di uno.

$$M > \sqrt{2\pi} H$$

11.12

Quando non è valida l'uguaglianza la formulazione del livello di servizio così come presentata da J.Vermorel perde di significato; più nel pratico un livello di M minore del valore soglia equivale ad un componente con livello ottimale di stock di sicurezza pari a zero, in quanto la funzione costo C* non ha minimi o il livello di servizio p tenderebbe a meno infinito. (Inventory Management, chapt 11 – researchgate.com, January 2022)

Riferimenti capitolo 11: 17.40

12 Analisi preliminare e confronto tra i modelli introdotti

Prima di entrare nell'analisi di casi specifici, seguiranno alcune considerazioni di livello qualitativo e quantitativo attraverso esempi standard dell'andamento e dell'influenza dei parametri sui vari modelli, in modo da valutare in modo generico la sensibilità dell'applicazione degli stessi.

Nel confronto di seguito, seppur non affrontato dallo studio iniziale di Xiaoqing Liu, Felix T. S. Chan e Xinsheng Xu, nell'articolo 'Hedging Risks in the Loss-Averse Newsvendor Problem with Backlogging' (2019, Mathematics, MDPI) (19.17), verranno affiancati i modelli tradizionali presenti nella letteratura base su Newsvendor a quello inclusivo di backorder e livello di avversione al rischio, sia per il caso di distribuzione Gaussiana che di distribuzione di Poisson.

Per semplicità dell'andamento generale non sono affrontati casi particolari come approfondiremo successivamente negli esempi concreti, ma verranno svolte alcune riflessioni iniziali e alcuni parametri interessanti per individuare i primi comportamenti specifici tra i vari modelli.

La formulazione dei modelli come da legenda presente nei grafici è la seguente.

Qb Pois quantità ottimale con modello base tradizionale di Newsvendor e distribuzione della domanda secondo Poisson. Riferimento a '*q_base*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 8.19

Qb Nor quantità ottimale con modello base tradizionale di Newsvendor e distribuzione della domanda secondo Gauss. Riferimento a '*q_base_n*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 8.19

Open Pois quantità ottimale con modello base tradizionale di Newsvendor inclusivo di costo di penalità e distribuzione della domanda secondo Poisson. Riferimento a '*q_penalty*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Riferimento alla 8.19 e 8.18

Open Nor quantità ottimale con modello base tradizionale di Newsvendor inclusivo di costo di penalità e distribuzione della domanda secondo Poisson. Riferimento a '*q_penalty*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Riferimento alla 8.19 e 8.18

Qott Pois quantità ottimale con modello backorder e avversione al rischio di Newsvendor e distribuzione della domanda secondo Poisson. Riferimento a '*q_ottimo*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 8.30

Qott Nor quantità ottimale con modello backorder e avversione al rischio di Newsvendor e distribuzione della domanda secondo Gauss. Riferimento a '*q_ottimo_n*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 8.30

Qcvar Pois quantità ottimale con modello backorder e avversione al rischio di Newsvendor con applicazione del metodo CVaR e distribuzione della domanda secondo Poisson. Riferimento a '*q_threshold*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 9.18

Qcvar Nor quantità ottimale con modello backorder e avversione al rischio di Newsvendor con applicazione del metodo CVaR e distribuzione della domanda secondo Gauss. Riferimento a '*q_threshold_n*' nel codice in appendice 'Codice Matlab'. Per la formulazione si faccia riferimento alla 9.18

12.1 Andamento rispetto al prezzo P

I valori riferiti della tabella sottostante sono i fissati di riferimento medio prendendo alcune percentuali di rapporto di alcuni gruppi merci e rispettando i vincoli del modello presentati nel paragrafi 9.1 e 9.2. Riferimento della tabella sottostante all'appendice (19.2.3)

Costo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	s	r	q	var	α	λ	w
5	4	3	100	20	0,05	5	0,2

I valori tabellati utilizzati nel *Grafico andamento Q^* in funzione di P* sono disponibili in appendice sotto 'Tabelle Grafici', così come per tutti i seguenti grafici sugli andamenti.

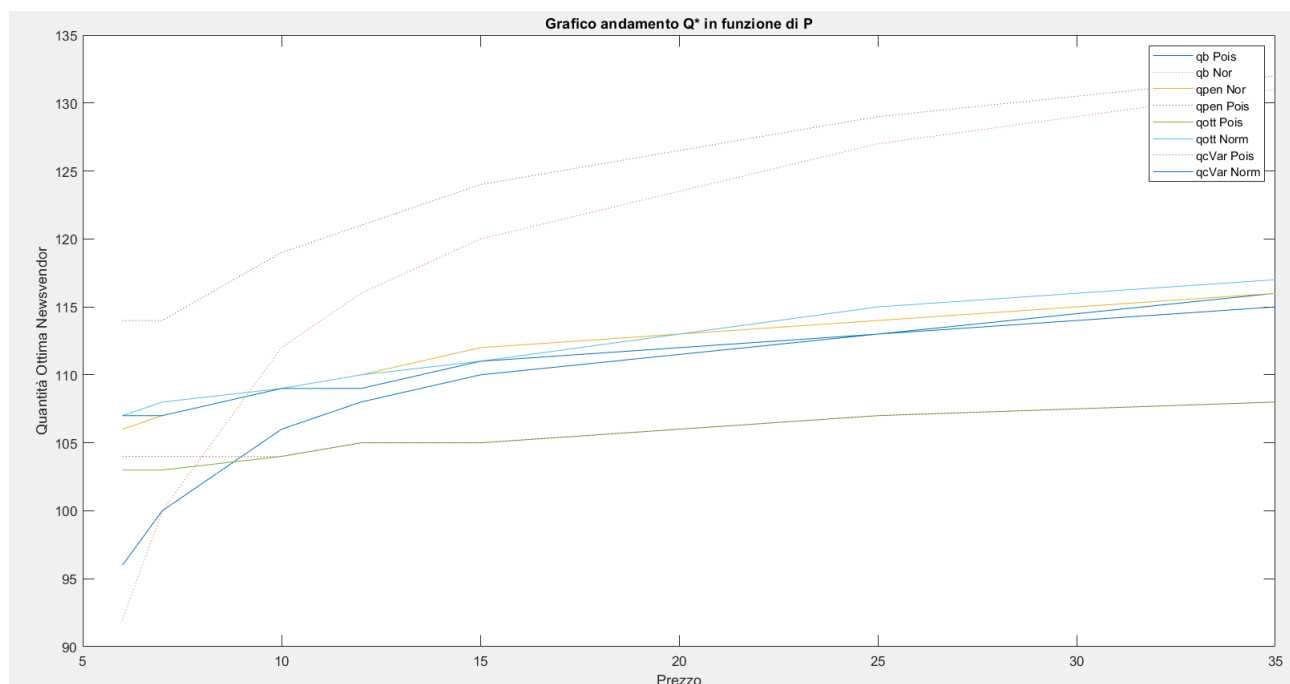


Grafico 12.1.1

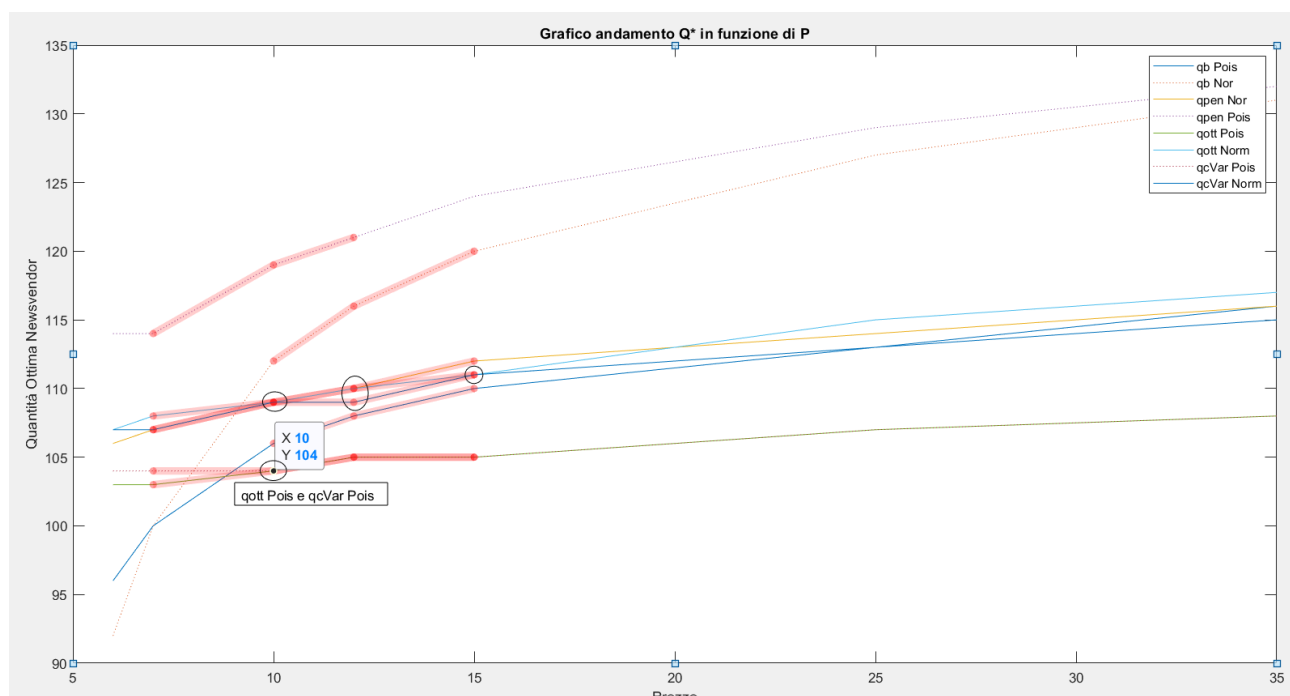


Grafico 12.1.2

Non sorprende che tutti i modelli di calcolo della quantità ottimale di Newsvendor siano direttamente proporzionali all'incremento del prezzo di vendita finale P del bene. Alcuni valori discriminanti sono visibili sia graficamente che attraverso la tabella in appendice.

E' interessante vedere come siano visibili diversi valori 'notevoli' tali per cui il valore assoluto del calcolo di Q^* secondo i diversi modelli risulti più o meno sensibile alla variazione dell'incremento del prezzo. Ci sono visibilmente diversi valori notevoli che variano in generale alla variazione anche minima in percentuale delle altre variabili, ma come è possibile notare, ci sono punti specifici in cui i vari modelli variano la sensibilità al parametro e possono essere discussi più nel dettaglio con situazioni di potenziale applicazione di una distribuzione rispetto ad un'altra o di semplificazione del modello di calcolo generale, evitando applicazioni di metodi CVaR o di introduzione di propensione al rischio e backorder.

L'elemento più interessante è dato dal punto evidenziato che corrisponde al prezzo $P=10$. In questo caso il valore di quantità secondo ottimizzazione dell'utilità o secondo applicazione del metodo CVaR con distribuzione di Poisson danno lo stesso risultato anche per incrementi ulteriori del prezzo. Questo perché ci troviamo nel caso specifico $s > \text{treshold}$, o $s > w(p-c)/\lambda(1-w)$. Con i dati definiti come sopra, anche con variazioni di prezzo maggiori del 100% rispetto al costo C , non c'è sensibilità differente nell'utilizzo del metodo di ottimizzazione classica rispetto a quello del CVaR.

I modelli più sensibili alla variazione del prezzo sono i modelli base e con penalità con distribuzione normale, mentre gli stessi modelli con distribuzione di Poisson risultano meno sensibili alla variazione del prezzo, in media il 6,2% meno sensibili all'aumento del prezzo rispetto alla quantità finale per il modello base e il 9,2% meno sensibili con l'introduzione del costo di penalità (sempre riferendoci al caso di parametri fissati come da tabella iniziale).

Ancora più in generale utilizzare il modello di distribuzione della domanda di Poisson rende meno sensibile tutti i modelli di Newsvendor rispetto all'utilizzo del modello di distribuzione Normale.

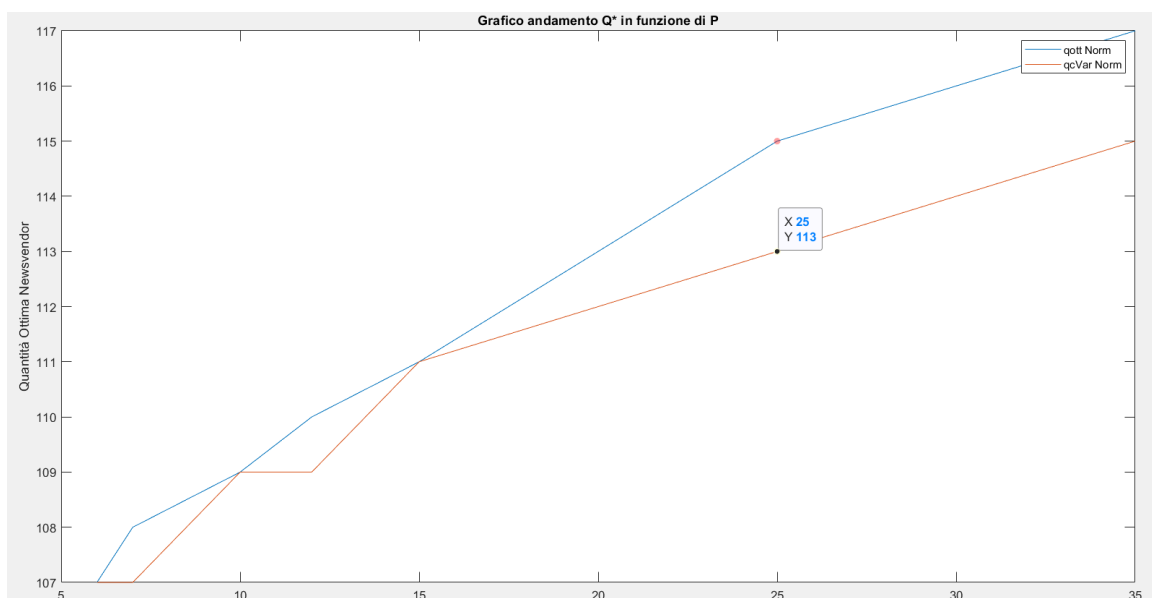


Grafico 12.1.3

Per focalizzarci sul modello più innovativo e di interesse dello studio, dato che la distribuzione di Poisson non dà risultati apprezzabili dopo la soglia $P=10$, possiamo individuare come invece il

modello di distribuzione Normale con applicazione del CVaR sia più conservativo rispetto all'ottimizzazione dell'utilità semplice. Con un livello medio-basso di avversione al rischio ($\lambda=5$) si apprezza la maggiore sensibilità conservativa del decisore per valori di P molto elevati (400% di C), mentre per valori di P minori, la conservatività dell'applicazione del modello CVaR mitiga con meno sensibilità la quantità di ordine finale, pesando meno l'avversione al rischio.

12.2 Andamento rispetto al prezzo C

Per quanto riguarda invece l'andamento del costo C , ci aspettiamo in via del tutto intuitiva e generale, un andamento complementare a quello rispetto al prezzo P . Fissiamo quindi alcuni valori che semplifichino la lettura dell'andamento così come dalla tabella sotto.

Prezzo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
p	s	r	q	var	α	λ	w
6	2,5	2	100	20	0,05	5	0,2

Riferimento 19.2.3

Esattamente come ci si aspettava, più il costo di acquisto C aumenta, minore sarà la quantità finale ottimale di Newsvendor, con diverse elasticità rispetto alla variazione così come per il prezzo. E' da far notare che anche in questo caso sono stati fissati parametri medi e 'utili' ad evidenziare solamente alcuni andamenti e trend generali, anche se sono già apprezzabili casi particolari (quale, ad esempio, il costo di acquisto C pari al costo di shortage S come nel primo caso) non verranno affrontati nello specifico, ma verranno poi analizzati nei casi specifici di componenti studiati.

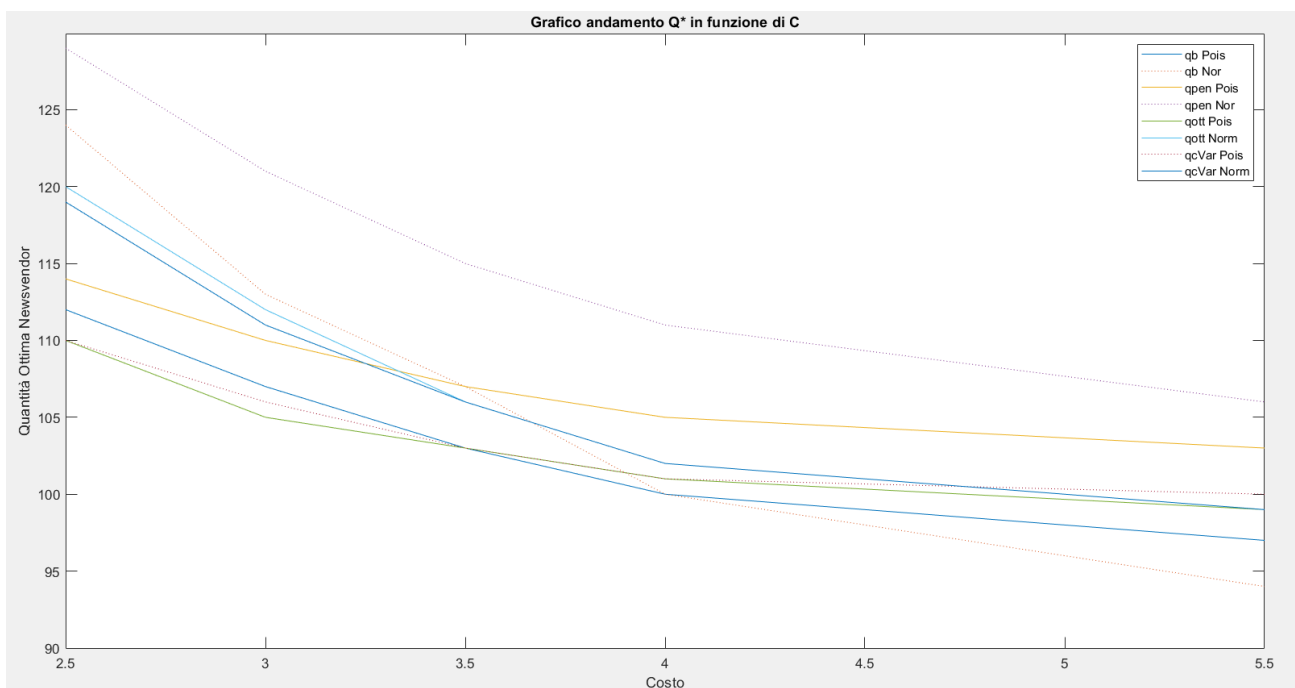


Grafico 12.2.1

Le prime considerazioni interessanti da effettuare sono legate alla quantità 'minima' effettivamente ordinata rispetto alla previsione della domanda. Per valori di bassa marginalità ($P=6$ e $C=5,5$) vediamo che il modello semplice con penalità, in entrambi i casi di distribuzione della domanda, è l'unico a suggerire di ordinare comunque quantità superiori rispetto alla previsione media della domanda ($q=100$). Qpen Pois e Nor sono entrambi superiori alla media di previsione della domanda

(+3% e +6% rispetto al valore medio con il 20% di varianza sulla domanda) anche per bassi margini (9,1% markup), mentre tutti gli altri modelli per bassi margini (9,1%) ordinano l'esatto forecast o addirittura aumentano la conservatività ordinando meno della domanda prevista con maggiore probabilità. I due modelli più sensibili al basso margine sono i modelli base di Newsvendor che si basano sul semplice critical ratio. In generale per osservare un comportamento apprezzabile per la differenza sui due modelli che tengono conto sia del backorder level che della propensione al rischio, vediamo come a seconda della distribuzione il comportamento vari leggermente.

L'interesse sui modelli che tengono in considerazione backorder e propensione al rischio ha come riscontro generale due andamenti: il primo è che per valori di marginalità sempre più piccoli, l'utilizzo del CVaR rispetto all'ottimizzazione dell'utilità semplice non porta variazioni apprezzabili con distribuzione Normale. Con distribuzione di Poisson invece è interessante notare come anche per margini molto bassi, inferiori al 9%, il modello CVaR suggerisce di ordinare all'ottimo una quantità almeno pari al forecast più probabile della domanda prevista, mentre con ottimizzazione dell'utilità e i valori fissati sopra in tabella, si arrivi ad ordinare un'unità in meno rispetto a quelle previste maggiormente dal modello.

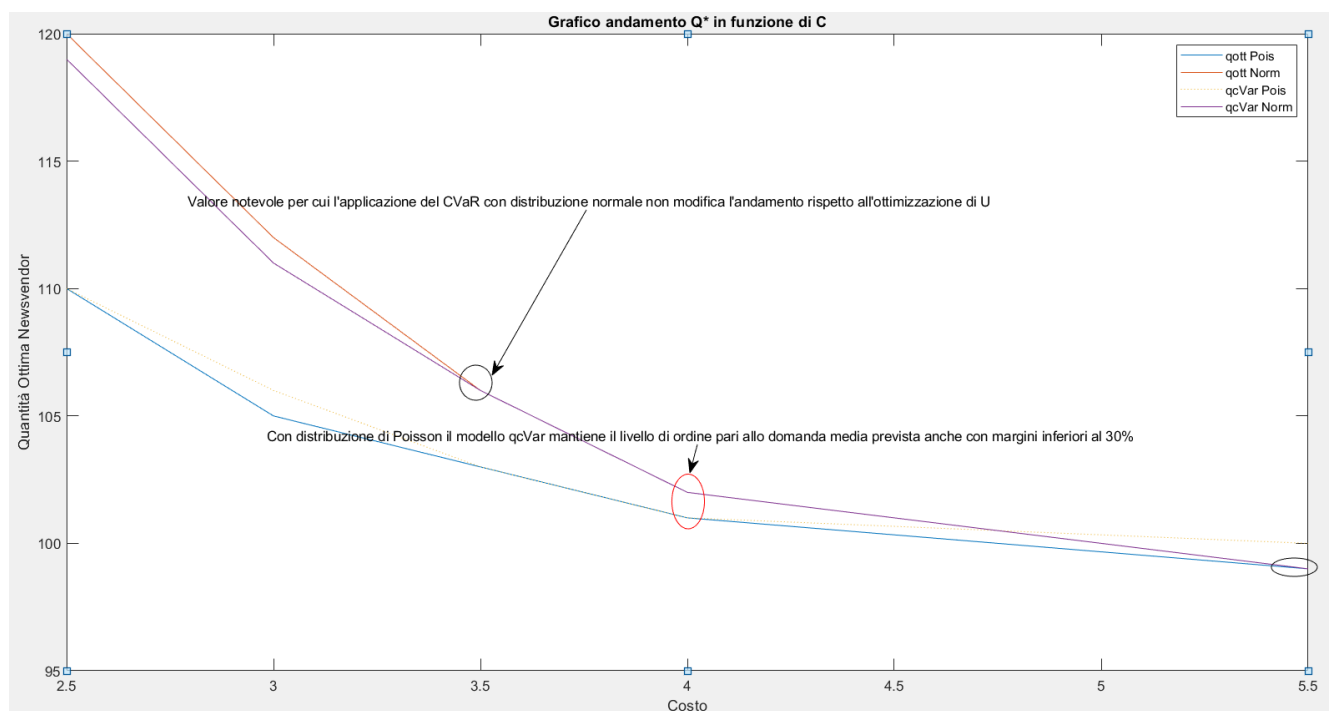


Grafico 12.2.2

Va nuovamente sottolineato che questi andamenti hanno specifici valori fissati di proporzionalità tra i vari parametri e anche solo una variazione combinata di due variabili, seppur di poca entità percentuale, può variare l'andamento – saranno apprezzati nelle analisi puntuali specifiche successive.

Per poter evidenziare le peculiarità del nuovo modello presentato, è bene però utilizzare valori particolari che permettano di evidenziare come in realtà, contro l'aspettativa intuitiva iniziale, per il modello CVaR l'aumento del prezzo P non sempre aumenta la quantità finale qcvar così come non sempre l'aumento del costo C diminuisce la quantità finale qcvar.

Un esempio ulteriore come sotto fa notare il comportamento interessante in controtendenza con i modelli classici di Newsvendor, l'ottimizzazione con l'applicazione del conditional value at risk con i parametri fissati come sotto, mostra un andamento inverso per alcuni intervalli di valori,

utilizzeremo quantità maggiori degli altri casi per evidenziare maggiormente la sensibilità del modello, inoltre verrà applicata una bassa avversione al rischio.

Costo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	s	R	Q	var	α	λ	w
5	2	2	1000	200	0,5	2	0,5

Riferimento 19.2.4

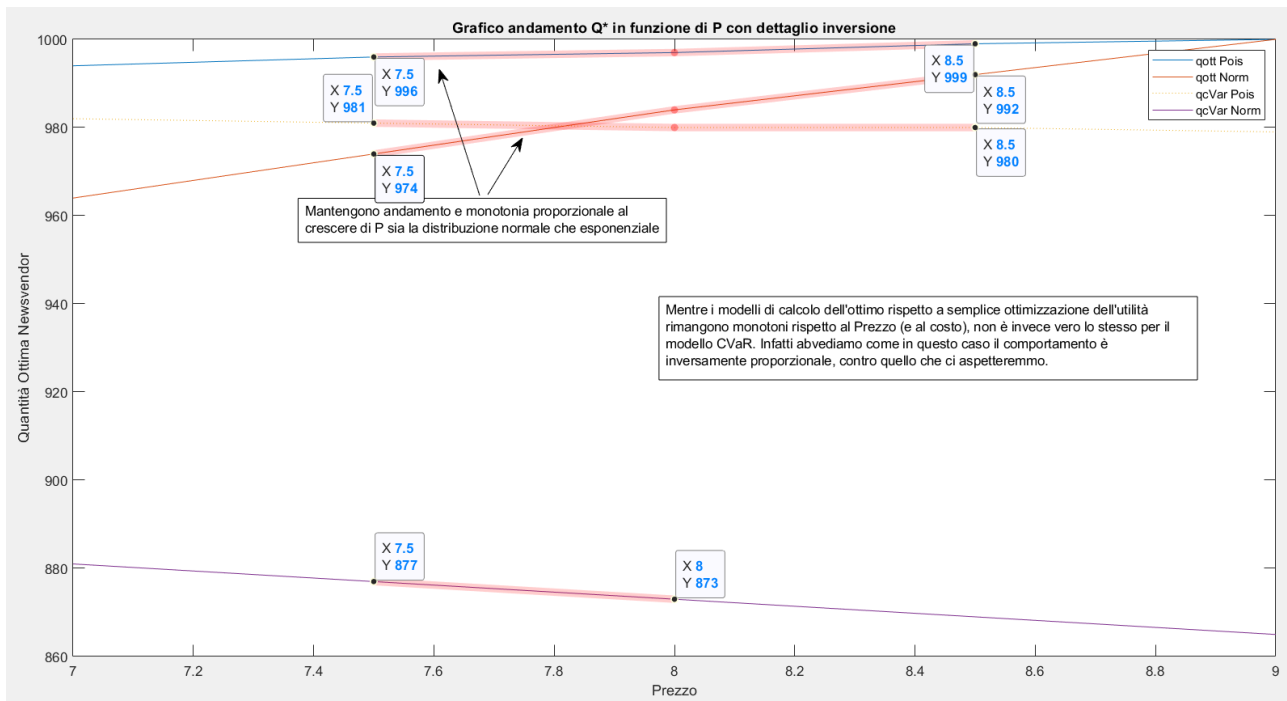


Grafico 12.2.3

La prima grande novità del modello è il fatto che applicando il metodo di Rockafellar e Uryasev la monotonia rispetto a Prezzo e Costo non è sempre rispettata – vedremo in seguito come dal punto di vista decisionale sarà molto importante capire come agire. Per questioni di ridondanza non riporterò anche l'andamento per il costo che abbiamo già visto generalizzato, ma esattamente come per il prezzo P , con gli stessi dati è possibile simulare l'andamento direttamente e inversamente proporzionale dei modelli CVaR e di ottimizzazione dell'utilità.

12.3 Andamento rispetto al salvage value R

Per quanto riguarda il salvage value R o valore di recupero, anche in questo caso intuitivamente ci aspettiamo che potendo recuperare potenzialmente più percentuale del costo del componente acquistato, la propensione ad ordinare di più aumenti; così è anche nell'andamento dei vari modelli ma con alcune considerazioni da evidenziare.

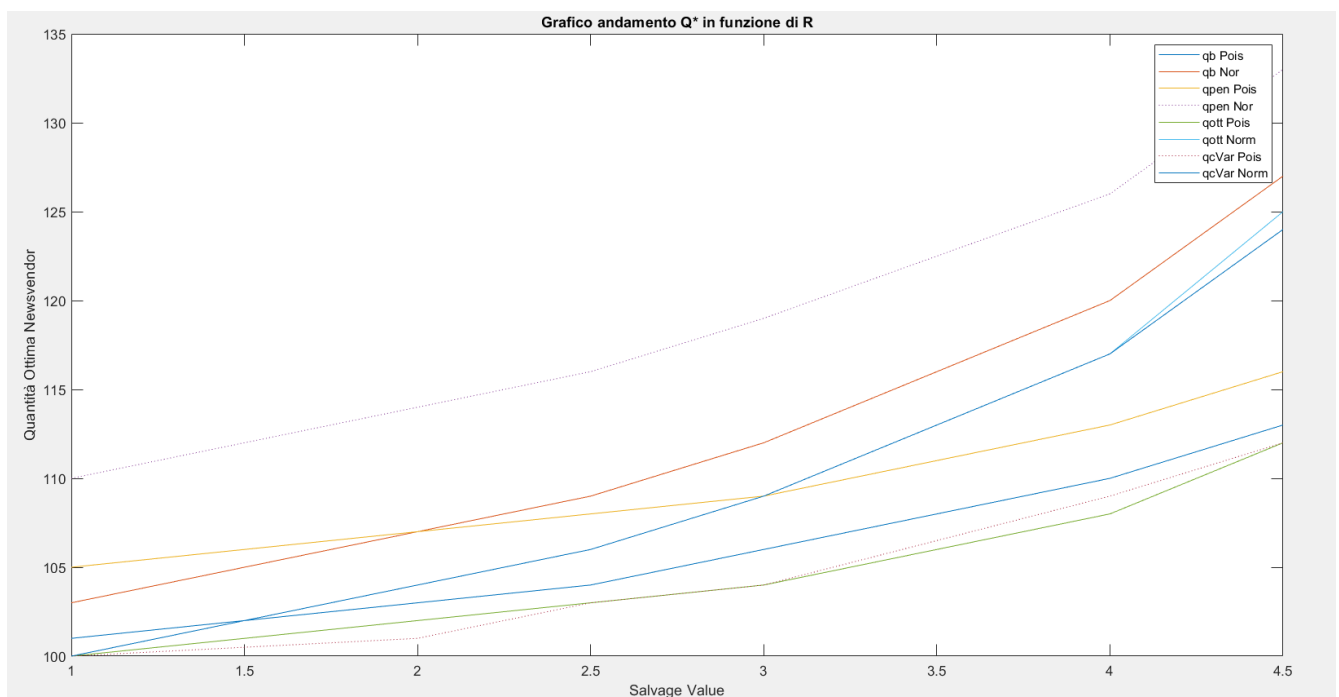
I dati tabellati completi sono disponibili in appendice (19.2).

Costo	Shortage	Prezzo	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	s	p	q	var	α	λ	w
5	4	10	100	20	0,05	5	0,2

Riferimento 19.2.5

Anche per questo andamento il modello più sensibile alla variazione del salvage value è quello di Newsvendor base con costo di penalità legato allo shortage. I valori maggiori di 'overstock' ordinato rispetto alla media prevista della domanda si ottengono quando viene applicata la distribuzione normale piuttosto che l'esponenziale di Poisson.

La prima considerazione interessante è che con i parametri scelti, avendo un markup del 100% sul costo del prodotto e un costo di shortage dell'80% del costo di acquisto, fissando il valore di salvage del 20% sul costo di acquisto si ottengono risultati identici per i modelli di ottimizzazione dell'utilità e con metodo CVaR.



Per valori di salvage value molto vicini al costo di acquisto la quantità ottimale varia con maggiore sensibilità. Una soglia netta è data anche dall'uguaglianza del salvage e dello shortage value, in questo caso raggiunta a $r=s=4$; infatti ad un aumento di circa il 12% del salvage value, corrispondono in media aumenti del 4,5% tra i vari modelli rispetto ad una variazione media dell'aumento di quantità tra i vari modelli dell'1,9% per l'aumento dello stesso valore assoluto di 0,5 tra i valori di salvage value di 2,5 e 3, con un aumento percentuale del 20%. La sensibilità in

generale per tutti i modelli aumenta notevolmente con il raggiungimento di livelli di valore di rientro prossimi al costo di acquisto e uguali o superiori allo shortage value.

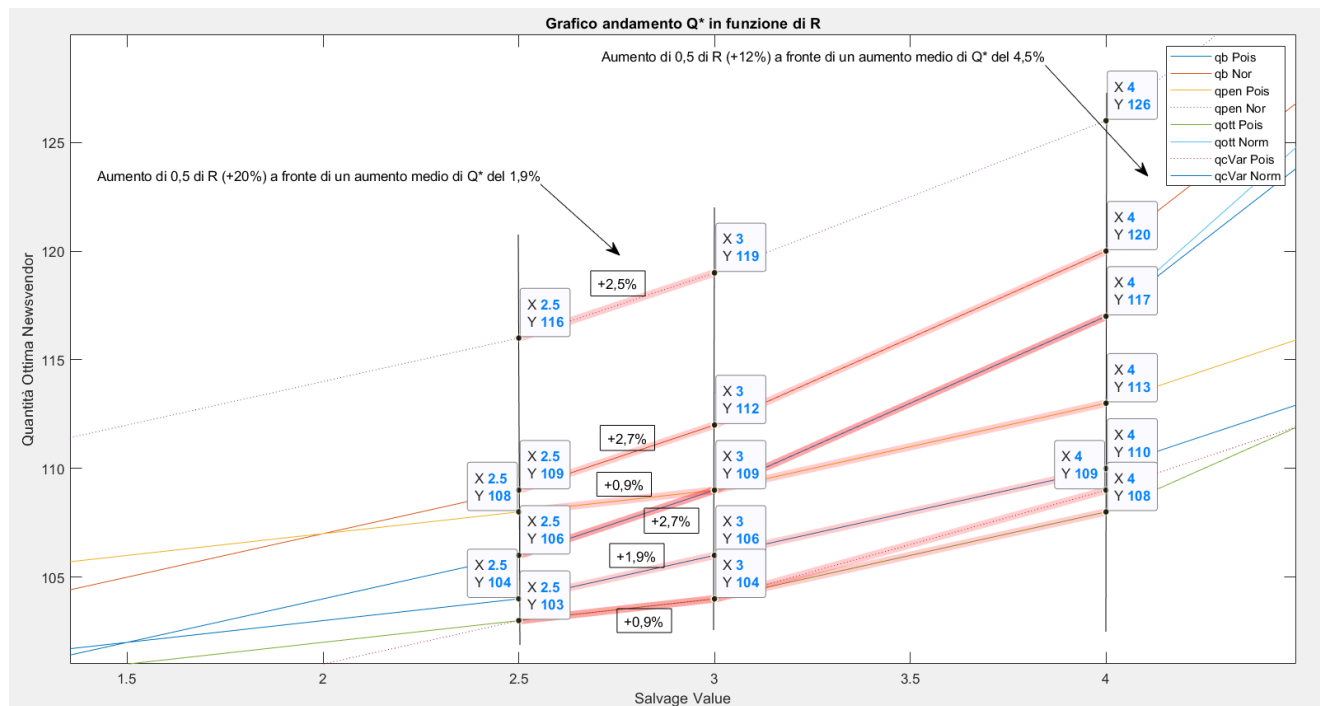


Grafico 12.3.2

Nel secondo grafico di Q^* in funzione di R sono evidenziati alcuni intervalli con elasticità differenti dei modelli rispetto alla variazione di R . I punti notevoli dell'intervallo di r [4;4,5] sono riportati in appendice. Nel dettaglio viene riportata la sensibilità media dei modelli alla variazione dello stesso valore assoluto di delta di r , rispettivamente con minore variazione percentuale rispetto all'incremento dello stesso, rapportata a maggiore sensibilità del modello al crescere del valore di rientro. Nell'intervallo di massima sensibilità la distribuzione Normale ha valori di output di Q^* maggiori della distribuzione di Poisson; il modello di ottimizzazione della sola utilità, seguito dall'applicazione del CVaR è il più sensibile.

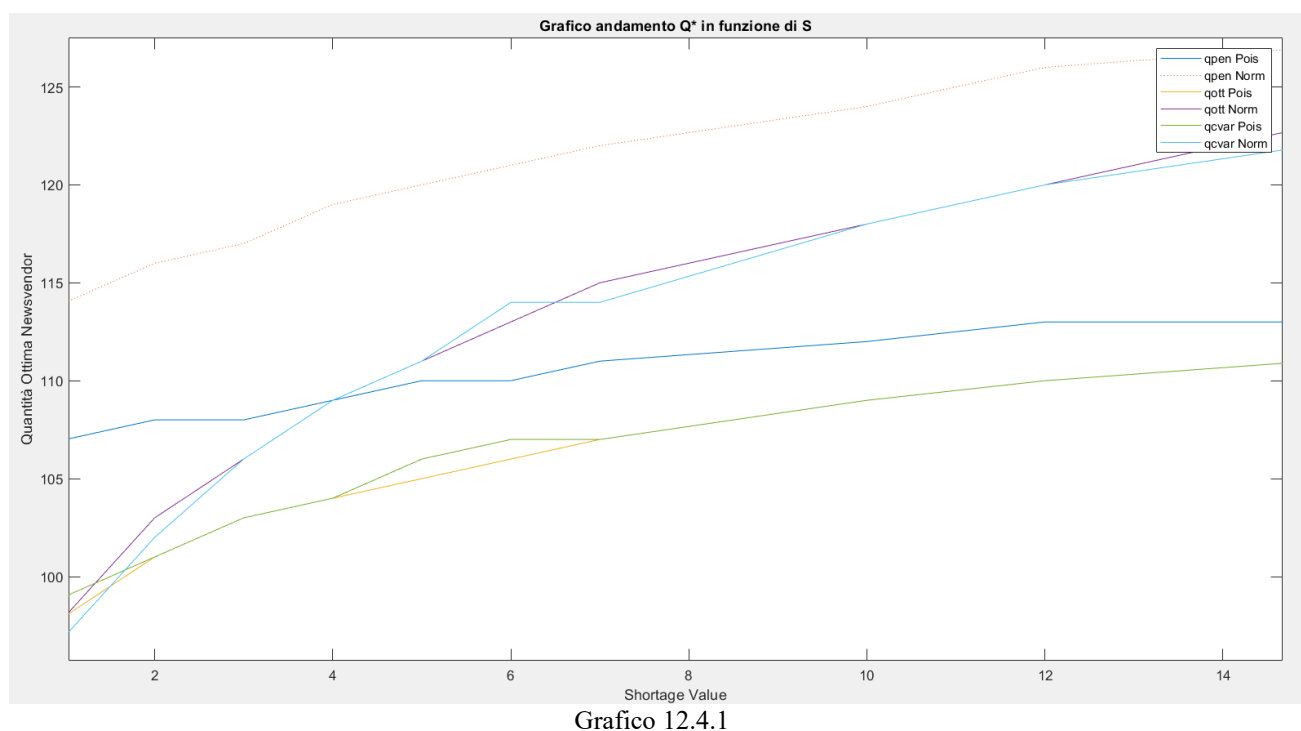
12.4 Andamento rispetto allo shortage cost S

Esattamente come per gli andamenti complementari di prezzo P e costo C , affrontiamo dopo aver analizzato alcuni andamenti del salvage value R anche gli andamenti dei modelli in funzione dello shortage cost S . Come per le precedenti analisi generali, fissiamo tutti i valori escluso quello di interesse per poterne apprezzare gli effetti sui modelli.

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	α	λ	w
5	3	10	100	20	0,05	5	0,2

Riferimento 19.2.6

I dati completi sono riportati nelle tabelle in appendice. Essendo il modello base non funzione dello shortage cost S , non verranno riportate sul grafico le due rette costanti q_b Norm (116) e q_b Pois (112). Rimangono due valori interessanti da tenere in considerazioni per valutazioni ulteriori.



La quantità ottimale in ognuno dei modelli riportati sul grafico è direttamente proporzionale al costo di shortage della singola unità. Il modello che pesa maggiormente il costo di penalità è proprio il modello base comprensivo di shortage cost come costo di penalità e la distribuzione Gaussiana resta la più sensibile alle variazioni.

Un'ulteriore considerazione generale è possibile farla sui modelli di ottimizzazione dell'utilità U e sui modelli di ottimizzazione con applicazione del CVaR. L'utilizzo della distribuzione di esponenziale piuttosto che normale, implica comportamenti diversi dei modelli. Infatti guardando alla distribuzione esponenziale, il modello CVaR ottiene valori mediamente più elevati dell'ottimizzazione di U , mentre la distribuzione normale inverte per alcuni intervalli i trend dei due modelli, con in generale una quantità q^* più elevata secondo qottimo. Infine è da notare come piccole variazioni di S non influiscano sul valore finale di q^* con l'applicazione del CVaR (es. $S \in [6;7]$)

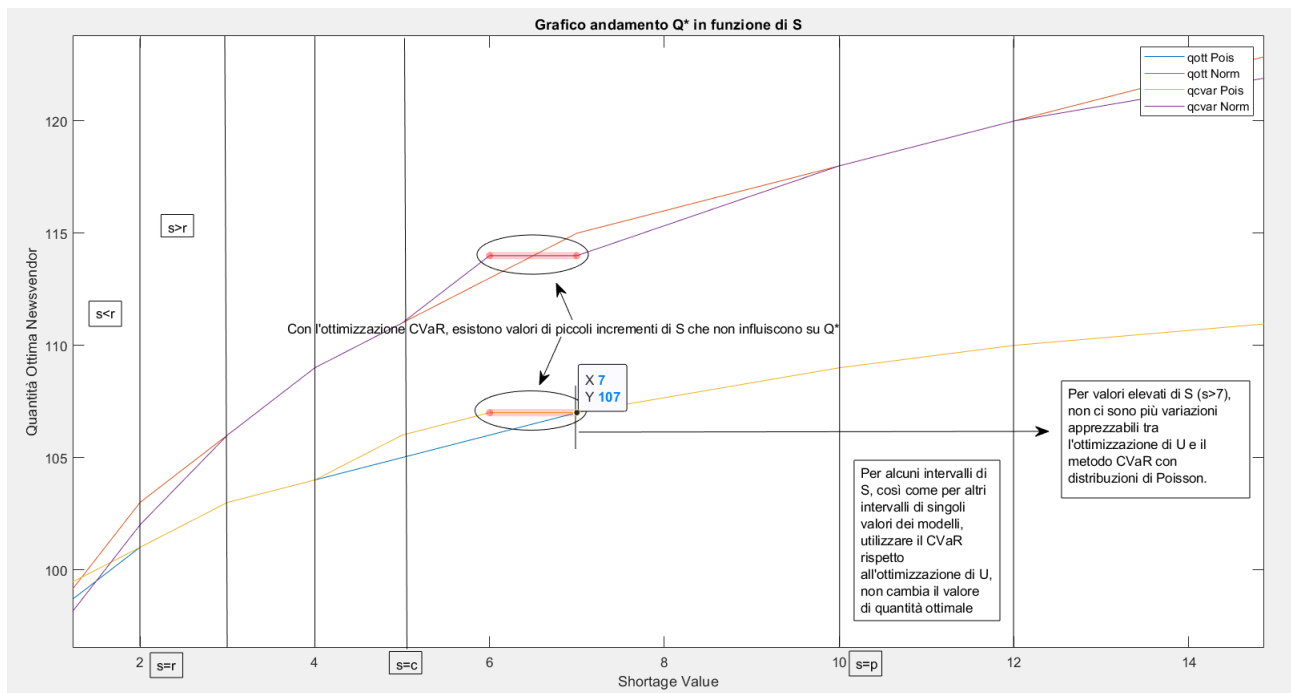


Grafico 12.4.2

Gli ultimi parametri influiscono specificatamente sui modelli in cui viene ottimizzata l'utilità, sia essa un'ottimizzazione con ricerca del massimo o con applicazione del metodo CVaR. Per questo motivo non riporterò più i riferimenti dei modelli base e con solo costo di penalità che abbiamo già affrontato come riferimenti generali per alcuni benchmark utili da tenere in considerazione in specifici casi.

Vediamo, dopo il costo C e il prezzo P , altri due andamenti 'anomali' riferiti al modello CVaR. Trattiamo ancora di modelli di ottimizzazione e faremo riferimento ai tre parametri 'nuovi' introdotti dallo studio: il livello di confidenza statistico, l'indice di backorder e la propensione al rischio.

12.5 Andamento rispetto al livello di confidenza statistico α

Il primo focus va al livello di confidenza Alfa, che pesa la probabilità del profitto o dell'utilità di superare o meno il livello target come da formulazione VaR e CVaR (riferimento formule*)

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	s	λ	w
5	4	10	1000	200	6	2	0,1

Riferimento 19.2.7

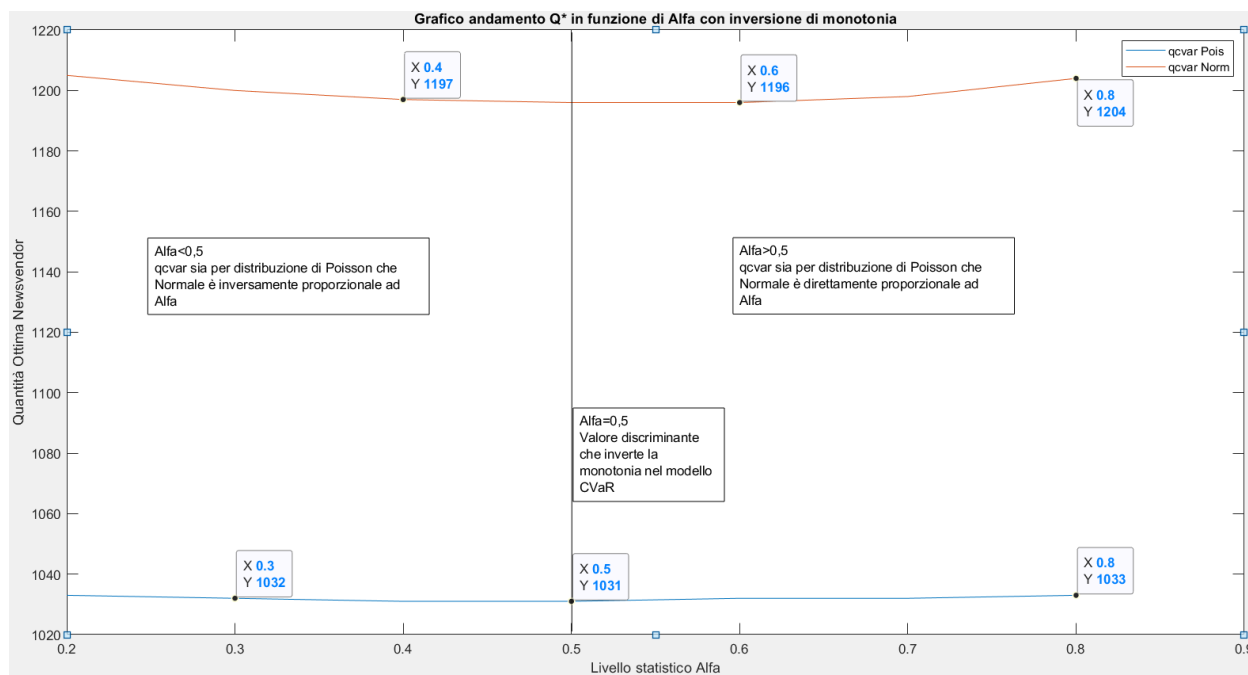


Grafico 12.5.1

Nel caso specifico riguardo il grafico 12.5.1 invece, mantenendo solo i valori di alfa tra 0 e 0,5 notiamo come l'andamento del solo modello di distribuzione Normale rimane monotono.

E' quindi provato che anche variando i valori di riferimento, gli intervalli di monotonia dei modelli rimangono invariati per valori di $\alpha \in [0;0,5)$ e per $\alpha \in (0,5;1]$.

Nell'esempio specifico che segue sono stati utilizzati bassi valori di backorder e un costo di shortage maggiore del costo di acquisto del componente, unitamente ad una bassa avversione al rischio.

In questo modo è facile notare la concavità e il punto di minimo del modello per entrambe le distribuzioni applicate. Più dettagli sul singolo intervallo sono riportati nell'esempio che segue, per quanto riguarda i valori discriminanti, può non essere di rilevanza pratica evidenziare il punto di variazione e relativa inversione di andamento della monotonia, ma dal punto di vista di pura definizione del metodo matematico risulta un dato interessante.

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	s	λ	w
5	4	10	100	20	3	5	0,2

Riferimento 19.2.8

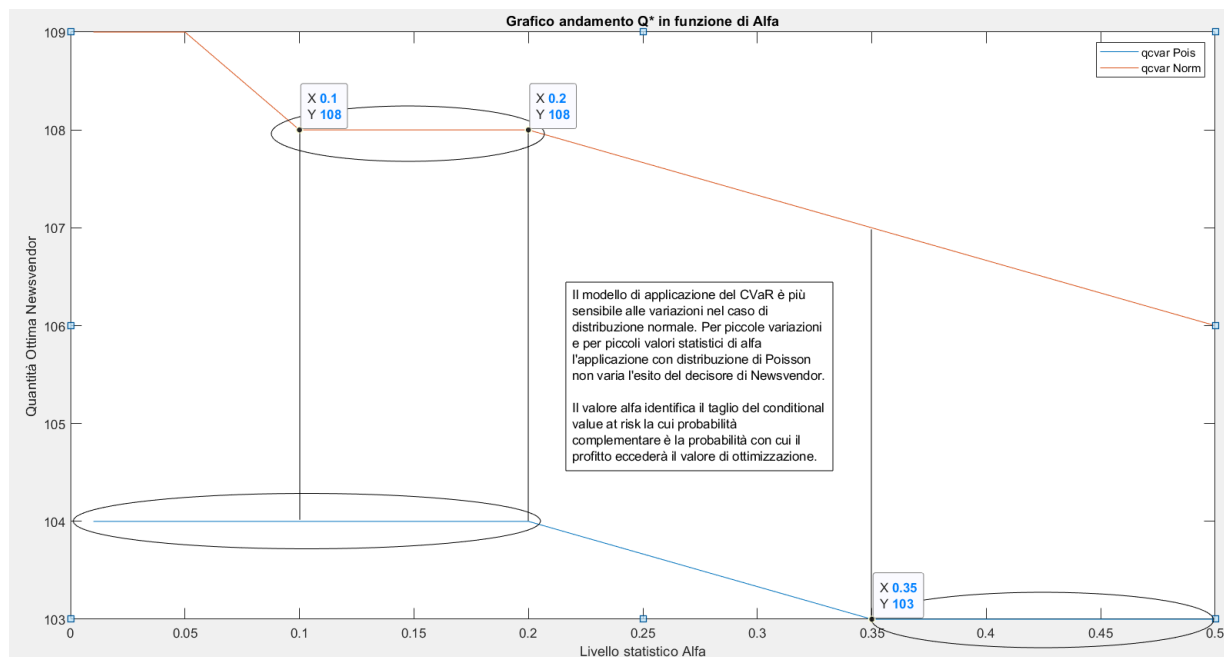


Grafico 12.5.2

12.6 Andamento rispetto al livello di avversione al rischio λ

Uno dei risultati più interessanti dell'applicazione del metodo CVaR, che avrà maggiore focus ed impatto dal punto di vista dell'analisi specifica dei casi trattati, è quello dell'andamento del modello rispetto al crescere dell'avversione al rischio del decisore. L'ottimizzazione dell'utilità associata al crescere del livello di avversione a può aumentare o diminuire la quantità ordinata.

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Backlog Rate	Livello Statistico
c	r	p	q	var	s	w	α
5	4	8	1000	100	6	0,4	0,5

Riferimento 19.2.9

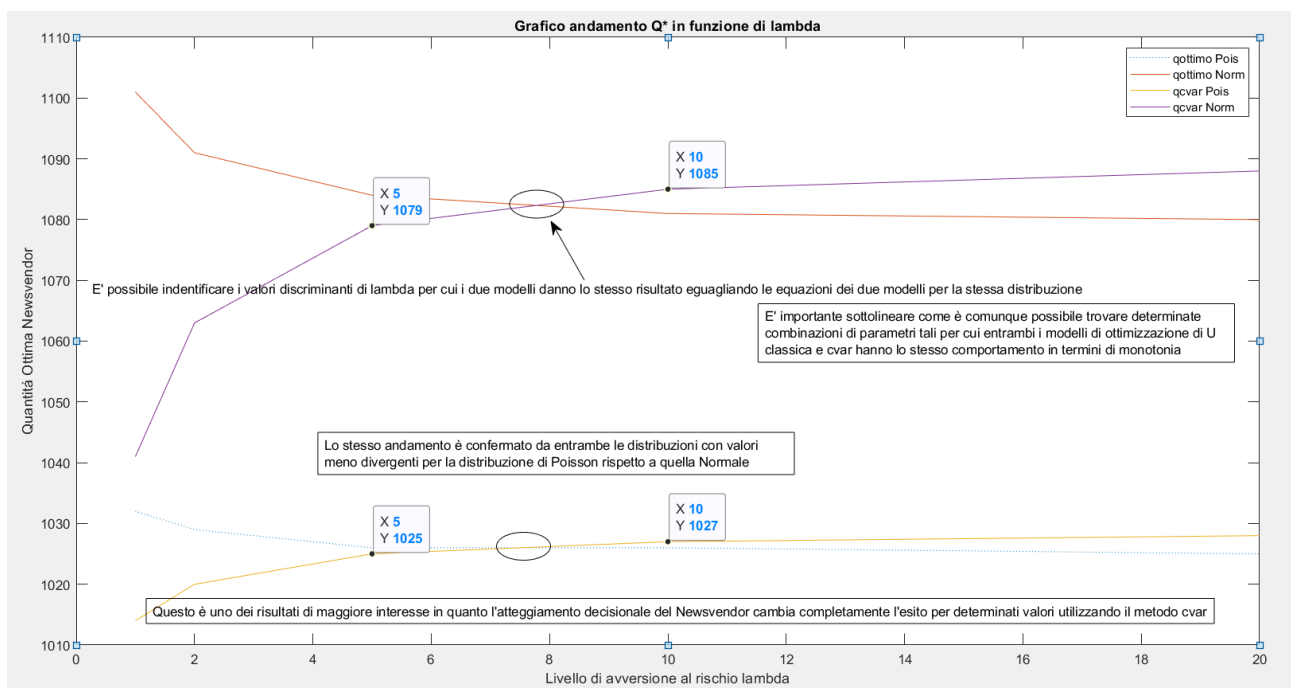


Grafico 12.6.1

L'ottimizzazione di qottimo per entrambe le distribuzioni analizzate è sempre monotona decrescente all'aumentare dell'avversione al rischio del Newsvendor: indipendentemente dalla combinazione di parametri un decisore particolarmente avverso alle perdite, peserà sempre e comunque di più la quota parte di perdite associate all'overstock della domanda in eccesso che non può essere backloggato. Invece nel caso del decisore con metodo cvar, a seconda della combinazione e del peso dei parametri di stockout e salvage value al crescere dell'avversione al rischio il decisore può ordinare quantità maggiori per paura di incorrere in elevati costi di stockout, pesando in maniera differente le potenziali perdite associate all'overstock. Il parametro lambda è molto simile in quanto a considerazioni al parametro α che gioca un ruolo simile nella definizione degli intervalli di confidenza entro cui applicare il metodo CVaR – anche per il livello di confidenza α l'andamento può essere crescente o decrescente in quanto un maggiore livello di confidenza α può essere visto come una maggiore avversione al rischio, quindi un elevato λ . In questa trattazione non faremo particolare attenzione alla loro combinazione in quanto verrà preferito tenere in considerazione il parametro puramente decisionale di peso delle perdite che può incidere anche sul modello di ottimizzazione classica dell'utilità per avere un confronto più rilevante.

12.7 Andamento rispetto al livello di avversione al backorder rate w

Per quanto riguarda il livello di backorder è interessante vedere come al suo aumentare la quantità ordinata diminuisce per entrambi i modelli di qottimo e qovar. Questo è perché il fatto di poter portare a profitto un maggiore livello della eventuale domanda in eccesso rende i costi di overstock gli unici a pesare maggiormente rispetto a quelli di shortage. Quando il tasso complementare $1-w$ diventa sempre più piccolo, anche con avversioni al rischio più elevato, il modello peserà poco le perdite e maggiormente i profitti che aumenteranno della quota parte di w trasformato in profitto diretto. Quando in una situazione di stockout una maggiore quantità della domanda in eccesso che non può essere immediatamente soddisfatta può essere trasformata in backorder,

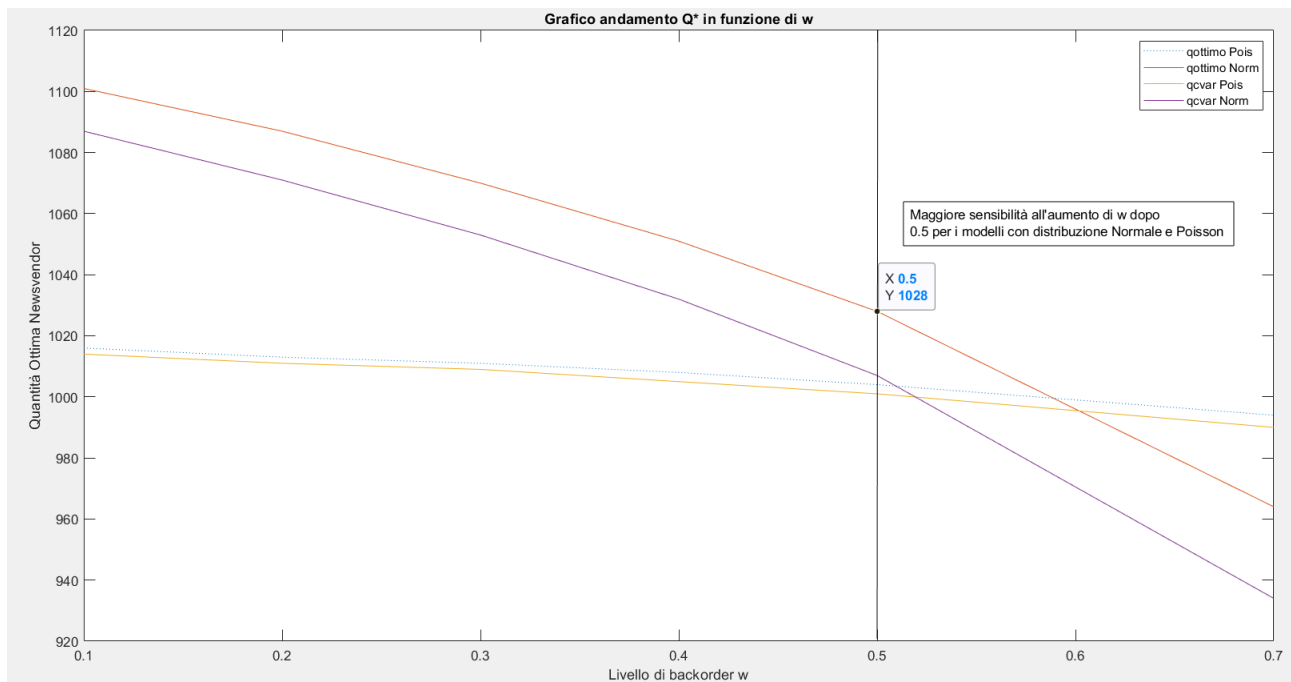


Grafico 12.7.1

E' interessante quindi capire come alcuni andamenti siano diversi dai classici modelli studiati.

L'utilizzo del modello di ottimizzazione dell'utilità ha andamenti monotoni e definiti per ciascuna delle variabili presentate, a meno di alfa.

Qottimo, quantità ottimale del modello di Newsvendor con ottimizzazione tramite massimizzazione della funzione utilità, è direttamente proporzionale al prezzo, salvage value e shortage value; risulta invece inversamente proporzionale al costo, all'avversione al rischio e al backorder rate.

Qovar, quantità ottimale del modello di Newsvendor con ottimizzazione ottenuta dalla funzione associata che massimizza il profitto o l'utilità sotto il quantile definito dalla funzione $\text{VaR-}\alpha$, invece ha andamenti di derivate parziali monotoni solo per i salvage e shortage value a cui è direttamente proporzionale e backorder rate a cui è inversamente proporzionale. Per quanto riguarda invece i risultati più interessanti presentati, contro quello che ci si aspetterebbe, a seconda dei parametri specifici per prezzo, costo, avversione al rischio e livello di confidenza statistico non c'è una monotonia generalizzata, ma il modello può essere direttamente o inversamente proporzionale.

Un riassunto degli andamenti viene riportato nella tabella sottostante così come definito nell’analisi dei due modelli a confronto. Gli andamenti a prescindere dalla distribuzione selezionata non sono influenzati in quanto a monotonia.

Q*	$\frac{\partial q}{\partial p}$	$\frac{\partial q}{\partial c}$	$\frac{\partial q}{\partial r}$	$\frac{\partial q}{\partial s}$	$\frac{\partial q}{\partial \alpha}$	$\frac{\partial q}{\partial \lambda}$	$\frac{\partial q}{\partial w}$
Qottimo	+	-	+	+	n/a	-	-
Qcvar	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-	-

Tabella 12.7.1 ‘Andamenti Derivate Parziali’

12.8 Distribuzione Normale e di Poisson

La scelta di sviluppare in parallelo entrambe le distribuzioni Normale e di Poisson sta nella valutazione di casistiche in cui la continuità della domanda o della gestione del magazzino può essere rispettata o meno.

Nell'articolo (17.32) di presentazione del modello, le ipotesi di base e i relativi sviluppi si basano sulla sola valutazione del modello di distribuzione Normale o Gaussiana, con ipotesi di continuità di domanda e magazzino.

Nell'articolo 'The price-setting newsvendor with Poisson demand' (18.17) vengono invece sottolineati alcuni aspetti interessanti dell'applicazione della distribuzione discreta al modello classico e di price-setting di Newsvendor.

Le motivazioni principali dei possibili vantaggi dell'applicazione di una funzione di distribuzione discreta risiedono nelle diverse ipotesi che si possono applicare a monte del problema. Diversi altri studi in letteratura sul modello di Newsvendor con prezzo fissato e domanda aleatoria applicano anche la distribuzione Poissoniana o altre varianti discrete per catturare i dettagli principali di situazioni in cui le quantità non sono particolarmente elevate o ci sono vincoli di non continuità dati dalla distribuzione di domanda o di stoccaggio del magazzino.

La continuità della domanda, applicando l'ipotesi di distribuzione normale, implica additività del modello e indipendenza della varianza della domanda rispetto al prezzo. In caso di applicazione di modelli discreti, ci sono studi che sottolineano anche la moltiplicatività della domanda, che introduce riflessioni sulla dipendenza della varianza dal prezzo. Ad ogni modo sono applicabili sotto lo stesso modello studiato (9) entrambe le distribuzioni in quanto non vanno in conflitto con nessuna delle ipotesi di risoluzione di calcolo ma, vanno ridefinite con ipotesi adattate.

In generale in letteratura statistica, è noto che per valori elevati di numerosità del campione analizzato, la distribuzione di Poisson ha un buon livello di approssimazione con la funzione di distribuzione normale, poichè tende ad 'appiattire' gli andamenti più anomali della casistica; vedremo ad ogni modo che l'applicazione delle due distribuzioni allo stesso modello, implicherà anche per numerosità elevate di quantitativi ordinati, rilevanza nella sensibilità alla variazione.

Ricordiamo che nel caso di distribuzione di Poisson la varianza della funzione distribuzione di probabilità cumulata coincide con il valore medio della stessa ed è spesso più elevato della varianza calcolabile secondo ipotesi di distribuzione Normale.

Nello specifico, per domande con andamento stocastico, stagionale, ciclico o comunque soggette a variazioni non facilmente prevedibili, diversi studi (Raden & Freimer, 1991, B.Schultea & Anna-Lena Sachs, 2020 18.17) hanno dimostrato che l'approssimazione con la distribuzione di Poisson è particolarmente valida sia in casi di bassa che alta numerosità rispetto a quella normale.

Un altro punto interessante è dato dal fatto che tra i modelli analizzati c'è quello del 'make-to-stock' che è la migliore approssimazione della gestione sia di CNH nella sua produzione per supportare variazioni di mercato stagionali, sia l'azione intrapresa da Toyota per gestire i semilavorati più critici da avere pronti per l'utilizzo in quantità di sicurezza.

Riferimenti capitolo 12: 18.17, 18.19

13 Introduzione dei parametri del problema

Lo studio verrà effettuato su diverse categorie di prodotti con un focus sui componenti elettrici, tra cui sia componenti semiconduttori, sia preassemblati che contengono al loro interno semiconduttori. La maggior parte dei componenti utilizzati come esempio sono connettori elettrici di diversa tipologia, terminali, fusibili e relè. Alcuni componenti invece faranno parte di commodity differenti, tra cui quella metallica, chimica e meccanica. Questo per poter dimostrare la generalità del sistema e la sua applicabilità, secondo giusti vincoli, a qualsiasi categoria di prodotto sia di produzione diretta che di assemblaggio. Il pool di dati verrà ristretto in alcune specifiche riflessioni su componenti che valgono come rappresentanza di famiglie di prodotti simili per caratteristiche tecniche o semplicemente per affinità nella proporzionalità di qualità e caratteristiche tecniche e/o commerciali.

Prima di iniziare la discussione è bene fare una breve discussione dello scenario aziendale e di quali ipotesi si sono fatte in generale per poter affrontare il problema; le conseguenze e le specifiche ipotesi considerate nei vari passaggi verranno riportate e sottolineate ad ogni step dell'analisi. Innanzitutto l'applicazione del modello di Newsvendor sarà applicata ad un contesto a metà tra la rivendita diretta e l'acquisto per lavorazione e trasformazione in assemblato finale. La prima linea di impianto produttivo richiede un certo scheduling di componenti che deve seguire le eventuali fluttuazioni di produzione e la stagionalità di determinati veicoli. Un esempio concreto sono le New Holland Combine che hanno picchi produttivi nei primi due quarti dell'anno e successivamente subiscono una contrazione nei restanti due quarti in quanto la domanda varia notevolmente. La stagionalità e la difficoltà di previsione della domanda per determinati veicoli fa in modo che le ipotesi di applicabilità del modello di Newsvendor siano soddisfatte; in ogni caso la proposta dell'utilizzo del modello è non solo per la gestione classica degli ordini, ma vuole essere uno strumento di supporto nel prendere decisioni in casi particolari di forte incertezza della domanda e della reperibilità di materia così come lo sono stati gli ultimi anni post pandemia.

Nella realtà dei fatti quasi tutti i componenti richiesti per la produzione hanno mercato anche per il cosiddetto 'aftermarket' o 'aftersales'. Sono magazzini di rivendita semplice di componenti gestiti da CNHi per supportare il mercato di parti di ricambio per le macchine già vendute. In questa trattazione per semplicità non si guarderà alla dualità dei due mercati. Bensì si considererà il solo mercato produttivo per l'applicazione e lo studio del modello, utilizzando delle ipotesi 'ibride' che aiuteranno a semplificare il problema utilizzando alcuni dati che sono invece disponibili lato mercato ricambi; il modello non risentirà particolarmente delle ipotesi iniziali di separazione dal punto di vista di utilizzo e forecast della domanda, ma verrà supportato dai comportamenti meno classici che ha il singolo mercato di produzione a causa della complementarietà con quello aftermarket.

Un esempio è capire il grado di stock di obsolescenza che, nel 90% dei casi di produzione circa non avviene se non a fine vita del progetto, cosa solitamente programmabile e controllabile, se pur non a tutti i gradi di componentistica; ad ogni modo si può comunque valutare acquisto di overstock per piattaforme di veicoli con caratteristiche simili o la produzione di veicoli extra rispetto alla previsione. Un altro motivo per cui si può incorrere in rischio di obsolescenza è dato dall'acquisto sotto vincolo di MOQ che può rappresentare per piccoli componenti un problema, seppur minore. In ogni caso anche queste specifiche categorie movimentate con MOQ sono difficili da tracciare, soprattutto perché in generale si parla di componenti standardizzati e comuni a più piattaforme e veicoli, rendendoli di difficile stima per l'aumento dell'errore sulla varianza del forecast e sul rischio di obsolescenza. Uno dei motivi per cui ci si appoggerà quindi al mercato ricambi è la semplicità di calcolo di alcuni dei parametri del problema. A conclusione dell'analisi ad ogni modo

seguiranno riflessioni sulle possibilità che questa gestione doppia può aprire nel momento in cui si possa rendere più complesso il problema e il relativo modello.

Un'altra assunzione e ipotesi stringente al modello è data dalla dipendenza dei componenti. Non verrà considerata la correlazione tra componenti che devono necessariamente essere disponibili contemporaneamente; per fare un esempio banale avere un cavo di potenza senza il suo terminale o connettore, rende inutile aver gestito correttamente il flusso del cavo e non del componente associato per il montaggio o l'utilizzo; stesso esempio si può fare con le controparti di potenza o qualsiasi semi assemblato che vada finito in fase di produzione nell'impianto.

Per identificare i componenti più critici su cui soffermarsi con più attenzione nella gestione logistica e di magazzino, il metodo proposto parte dall'identificazione del livello di servizio p secondo la formulazione presentata da J.Vermorel I parametri sono quelli già introdotti dalla formulazione che ricava il livello di servizio è attraverso la differenziazione della formulazione di costo del singolo componente.

Entrando nello specifico i componenti selezionati, tra cui numerosi semiconduttori o componenti preassemblati o semilavorati che ne dipendono, non verranno resi riconoscibili se non per i parametri notevoli utili alla presentazione dell'analisi. Per calcolare il livello di servizio p è necessario ricavare il costo marginale di stock-out del singolo componente M e il suo inventory carrying cost durante il suo lead time H .

Ricordiamo che il livello di servizio che utilizzeremo è quello proposto nel capitolo 11 nella 11.11 che riporterò per continuità di informazioni.

$$p = \Phi \left(\sqrt{2 \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{M}{H} \right)} \right)$$

13.1

13.1 Carrying cost o costo di mantenimento

Partendo dal carrying cost, la formulazione ha dovuto tenere conto di alcune semplificazioni. Innanzitutto come abbiamo già anticipato per utilizzare il modello di calcolo di p occorre ipotizzare che la domanda del singolo componente sia distribuita secondo una Gaussiana – abbiamo già discusso in breve le implicazioni di questa ipotesi. Le ulteriori ipotesi semplificative che introdurremo sono quelle sul calcolo del carrying cost del singolo componente.

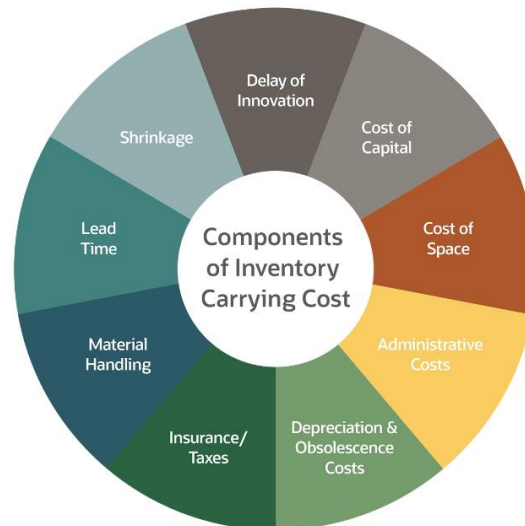


Figura 13.1.1 'Components of Carrying Cost'; fonte: lokad.com

Nello specifico il carrying cost è composto da diverse voci, le principali che lo influenzano sono quelle riportate nell'immagine *: il costo dello spazio, il costo del capitale (solitamente viene utilizzato il WACC), i costi amministrativi, i costi di assicurazioni e tassazione, il deprezzamento o costo di obsolescenza, la gestione del materiale, il lead time e i cosiddetti fenomeni di 'shrinkage' e ritardo di innovazione. Queste ultime due voci sono estremamente complesse da oggettivare e trasformare in valori numerici facilmente ottenibili. Tutti costi amministrativi, le tassazioni e il costo del capitale sono invece parametri specifici dell'azienda, anch'essi si possono stimare come percentuali fisse ma non saranno prese in considerazione in questo approccio. Le componenti principali di interesse diretto che dipendono dal singolo componente sono quelle di costo dello spazio, lead time, material handling e rischio di obsolescenza o deprezzamento del componente.

Definiamo ora alcune delle componenti dell'inventary carrying cost che saranno di maggiore interesse per l'analisi, seguiranno approfondimenti legati alle ipotesi utilizzate nello specifico per l'analisi:

- LT: il lead time medio al momento del calcolo del costo
- Costo dello spazio: è il costo diretto proporzionale ai metri quadri occupati dal componente, definito anche come storage o warehouse cost, include solitamente tutti i costi fissi relativi al mantenimento dell'impianto sostenuti a fine anno distribuiti per metro quadrato di spazio effettivamente utilizzato per lo stoccaggio materiali; nel caso specifico il costo è stato approssimato sulla metratura totale dei magazzini senza specifiche distinzioni delle aree
- Material handling: costo della gestione del componente, è assumibile, come sarà fatto nell'analisi, ad una costante moltiplicata per il peso specifico del componente che include un costo medio di gestione comprendente l'operatività diretta e l'eventuale attesa in aree di stoccaggio intermedie prima dell'immagazzinamento

- Rischio di obsolescenza o deprezzamento: è un parametro che non verrà esplicitato in formulazione; nelle assunzioni è un dato arrivato dal magazzino di parti di ricambio dei componenti che sono comuni a produzioni e vengono rivenduti anche in aftermarket. Alcuni componenti hanno anche rischio di obsolescenza legato a possibile fine produzione di una carta linea di produzione di un veicolo, per semplicità saranno utilizzati valori relativi a parti specifiche solo per mercato ricambi per avere un'idea della possibile influenza del parametro
- Cost of Capital e Administrative Costs sono costi fissi e propri dell'azienda ma solitamente sono costi simili per aziende che appartengono allo stesso settore e sono percentuali fisse che non variano nell'anno o che vengono congelate e mantenute come costo standard.

13.2 Costi di handling o gestione

Per quanto riguarda i costi di handling, sono stati presi come esempio un mix tra plant di produzione diretta e di ricambi. Di seguito i valori medi stimati di costo per kg e per linea di scarico direttamente calcolati dalla logistica. Per semplicità di gestione del modello verrà considerato il costo di gestione di magazzino un costo proporzionale al peso che peserà una tantum sul costo totale di mantenimento a magazzino.

	P1	P2	P3
€ / line	4,7	5,28	4,18
€ / kg	0,13	0,11	0,19

Tabella 13.2.1 'Handling Costs'

Il costo medio che verrà utilizzato quindi per l'handling per Kg sarà la semplice media dei tre presi come riferimento nella seconda riga della tabella riferiti a P1,2,3. Non verrà menzionato il riportato costo medio per linea ma eventualmente a seconda della tipologia di layout del magazzino o della reperibilità di dati dell'azienda si può calcolare in entrambi i casi il costo diretto di handling o creare un modello di costificazione che pesi entrambi i contributi. Come anticipato per questioni di semplificazione nella trattazione del modello, non entreranno nei dettagli della gestione impiantistica del magazzino dal punto di vista organizzativo-logistico, ma solo dei suoi costi vedendolo come una 'scatola nera' di cui conosciamo i componenti che entrano, quanto tempo ci passano e quando vengono fatti uscire per essere lavorati. Non verranno utilizzati modelli più complessi del solo costo diretto di gestione in funzione del peso dell'oggetto che ha al suo interno il calcolo del costo di macchine ed eventuali operatori. Questi costi medi sono calcolati tenendo in considerazione il tempo totale di gestione di una campionatura di n componenti diversi i cui pesi vengono registrati; l'allocazione del costo a fine ciclo per la gestione del singolo materiale viene quindi divisa e spalmata sul singolo kg del totale gestito, tenendo in considerazione costo orario, attrezzature e macchinari e tutti i costi indiretti associati. Ultimo appunto a riguardo del costo di gestione può essere influenzato dal numero di operatori dedicati e quindi dalla loro saturazione lavorativa, dalla localizzazione del magazzino e dai relativi costi specifici della zona, così come del salario e dai costi indiretti inclusa la tassazione.

Il costo totale di sola gestione del componente è semplificato come costo di singola gestione, non ricorrente per il singolo lotto. Nella formulazione corretta il costo andrebbe moltiplicato per la frequenza di movimentazione del singolo componente o lotto. Di seguito la formulazione semplificata che dipende direttamente solo dal peso dell'elemento movimentato.

$$\text{Handling Cost} = \text{Weight} * \text{€}/\text{kg}$$

13.3 Costo di storage o magazzino

Oltre alla porzione di costo di gestione, come ulteriore componente dell'inventary carrying cost viene utilizzato il costo medio per metri quadrati dei magazzini; anche in questo caso deriva dalla media calcolata su tre diverse location e verrà utilizzato 4,65€/mtq. A seconda delle dimensioni di massima stimate per alcuni componenti in termini di spazio occupato (secondo bill of material dove disponibile informazione di lunghezza e larghezza). In questo caso ci sono due approssimazioni notevoli che non tengono conto dello sviluppo in altezza del componente, e quindi del volume effettivo occupato dallo stesso che può influenzare notevolmente il costo e il layout e la tipologia stessa del magazzino scelto e gli eventuali vincoli di MOQ, pallet e package unit. Anche in questo caso utilizzeremo una semplificazione data dai valori medi dei prezzi per metro quadro all'anno tenendo nuovamente conto sia dei costi diretti che dei costi indiretti. In letteratura ci sono diversi valori di riferimento a seconda della nazione e della singola specifica città. Qui sotto vengono riportati tre esempi di costo al metro quadro considerati per il calcolo della media.

	P1	P2	P3
€ / mtq	5	4,2	4,75

Tabella 13.3.1 'Direct Storage Cost'

E' importante sottolineare la semplificazione anche di questi costi che vengono definiti in una formulazione lineare esemplificata.

Nella realtà dei fatti bisognerebbe tenere conto della potenziale saturazione dello spazio disponibile in magazzino; se questa condizione si presenta, oltre una certa soglia da calcolare, il modello di crescita dei costi diventa di natura esponenziale in quanto il minore spazio implica difficoltà alla movimentazione delle scorte e del personale stesso, possibili blocchi e riconversione di aree non dedicate o concepite per la giacenza merci; in sostanza ulteriori perdite di tempi e costi dovrebbero essere tenute in considerazione.

Sono diverse le potenziali problematiche legate alla saturazione di un magazzino, in questo studio non verranno affrontate in quanto non risultano essere un problema diretto della formulazione del modello di Newsvendor che non ha come vincolo una capacità limitata nel nostro caso – sarà possibile invece effettuare alcune riflessioni finali legate allo stock di sicurezza che invece può tenere conto di eventuali vincoli di spazio.

13.4 Costo del capitale

Diversi studi tra cui quello contenuto nel manuale di Christopher S. Jones e Selale Tuzel, "Inventory Investment and the Cost of Capital", Gennaio 2009, ritengono opportuno utilizzare il WACC (Weighted Average Cost of Capital) o costo ponderato del capitale, come una buona approssimazione della quota del costo di capitale relativo al carrying cost. Per questioni di semplificazione dei calcoli e di applicazione del modello utilizzeremo una media dei costi per il settore automotive utilizzato da Cost of Equity and Capital (US) aggiornati da Aswath Damodaran.

Nello specifico utilizzeremo una media di tre settori in cui è coinvolta l'automotive e confronteremo invece il costo singolo effettivo di CNHi. Per il dettaglio delle aziende inserite nel calcolo è possibile consultare direttamente il sito in appendice.

Ricordo la definizione di costo del capitale secondo metodo WACC presente in letteratura e reperibile da qualsiasi fonte di letteratura economica:

$$WACC = C_e * \frac{E}{(E + D)} + C_d * (1 - T) * \frac{D}{(D + E)}$$

13.3

<i>Industry Name</i>	<i>Number of Firms</i>	<i>Beta</i>	<i>Cost of Equity</i>	<i>E/(D+E)</i>	<i>Std Dev in Stock</i>	<i>Cost of Debt</i>	<i>Tax Rate</i>	<i>After-tax Cost of Debt</i>	<i>D/(D+E)</i>	<i>Cost of Capital</i>
Auto & Truck	26	1.13	6.30%	83.43%	54.78%	3.58%	3.88%	2.61%	16.57%	5.69%
Auto Parts	38	1.40	7.44%	75.94%	37.14%	3.16%	13.62%	2.31%	24.06%	6.20%
Retail (Automotive)	32	1.40	7.44%	72.15%	44.49%	3.58%	14.20%	2.61%	27.85%	6.09%

Tabella 13.4.1 ' WACC per industry segment'; fonte: Cost of Equity and Capital (US), Jan 2022

Il WACC da questi tre esempi del settore automotive dovrebbe essere intorno al 6%, più nello specifico il WACC di CNHi che è stato calcolato con l'ultimo aggiornamento si aggira intorno all'11%. E' importante comunque sottolineare che l'azienda al suo interno ha anche divisioni specifiche di altri settori ed è un caso particolare del settore che riesce a mantenere marginalità in media più alte rispetto alle competitor. Se volessimo seguire un'analisi molto più generica ad ogni modo la flessibilità del modello permette di utilizzare tassi generali piuttosto che specifici della singola specifica azienda, a cui in ogni caso andrebbero scorporati gli altri settori o specificato il calcolo per effettivo business e relativi investimenti e debiti.

Le due opzioni sono quindi WACC 11% o 6% che si guardi a CNHi nello specifico dell'azienda o al settore medio automotive; in ogni caso un maggiore costo del capitale sarà direttamente proporzionale a maggiori costi di magazzino a loro volta proporzionali al costo dei debiti e dell'equity e inversamente proporzionali al livello di tassazione.

I costi di capitale posso arrivare a percentuali molto elevate dei costi totali di magazzino, includono anche investimenti e interessi sul capitale operativo. Il WACC viene utilizzato anche perché

contiene il costo del debito, i costi di capitale includono il costo opportunità mancato di denaro investito nelle scorte e immobilizzato senza la possibilità di investirlo in altre aree aziendali.

I costi amministrativi in appendice a questo calcolo si aggirano intorno al 2% del costo totale del carrying cost così come proposto da Christopher S. Jones e Selale Tuzel in "Inventory Investment and the Cost of Capital".

Il dato è confermato prendendo alcuni vecchi valori dai report di CNHi (2013-2016) sotto la voce "Selling, general and administrative costs" rapportandoli alle spese totali si trovano valori compresi tra l'1,8% e il 3,7%.

Tra i costi amministrativi o di servizio si possono inoltre inserire i costi di assicurazione, materiale software e hardware per gestione e movimentazione merci e una quota parte di gestione e conteggio di cicli e scorte.

13.5 Costo di deprezzamento

In questo caso il costo di rischio di obsolescenza è stato calcolato con una 'forzatura' al modello. Di fatto non è semplice calcolare un costo di obsolescenza per una società manifatturiera che ha una rotazione di magazzino particolarmente elevata. Ad ogni modo essendoci molti componenti comuni al mercato di ricambi, che è tracciato con specifici magazzini e dati, è possibile recuperare i dati dei componenti invenduti lato ricambi.

In generale è possibile applicare i classici metodi di classificazione per movimentazione influenzati dal livello di domanda e dall'aging dello stock disponibile.

Age and demand determine whether inventory is 'slow-moving.'

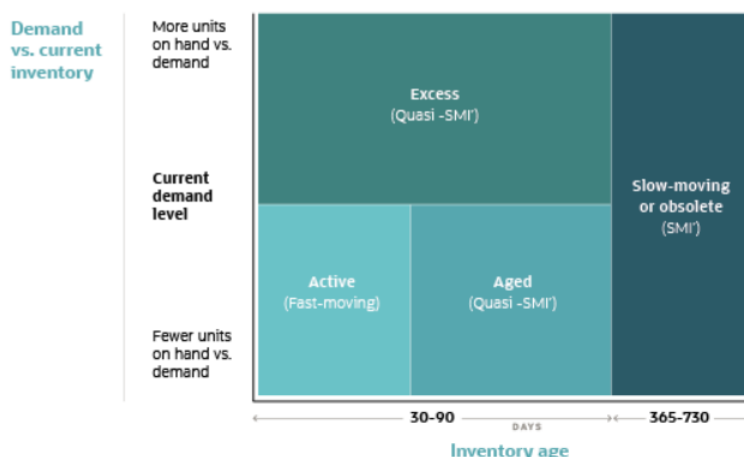


Figura 13.5.1 'Esempio individuazione di slow mover', fonte: oraclenetsuite.com

In questo studio questo è stato fatto internamente dalla logistica di magazzino o non applicabile nella maggior parte dei casi analizzati.

E' bene introdurre la differenziazione tra componenti nuovi o in lancio di progetti nuovi, componenti in corso di produzione già da almeno un anno con e senza controparte comune al mercato ricambi e componenti rimasti ormai specificatamente nel mercato ricambi a causa della

fine della produzione del veicolo. Queste diverse casistiche al momento non sono state effettivamente trattate: per semplificare il modello alcuni componenti comuni già avviati hanno dati per obsolescenza a magazzino di ricambi: questo costo, senza specifico dettaglio sul calcolo del deprezzamento, verrà utilizzato per pesare il rischio di obsolescenza.

Un esempio di come viene calcolato il costo di deprezzamento o di obsolescenza è dato dal tipo di categoria di componente assegnata (che dipende dalla sensibilità del componente a determinate condizioni ambientali di stoccaggio) e alla percentuale di deprezzamento che è funzione della quantità aggiornata media mensile di giacenza a magazzino (o aging dello stock) e dalla domanda degli ultimi periodi.

ID PART	Part Description	Stock	StdCost\$	Obso Category	Depr %	Depr Qty	Depr \$
123456	Componente elettrico	8	5,04	P1	80	7	35,28

Tabella 13.5.1 ‘ Depreciation Example’

Questo elemento può incidere nell’aumento del costo di mantenimento a magazzino o carrying cost, ma non è facile stabilire in che percentuale possa incidere, in generale un componente che ha già un’alta percentuale di deprezzamento calcolata non dovrebbe essere ordinato. Nel modello in analisi verrà aggiunta una percentuale del 10% rispetto al costo totale di magazzino per i part deprezzamento lato ricambi.

La formulazione finale del carrying cost H quindi può essere vista come la seguente, la proposta di costificazione secondo le approssimazioni introdotte è stata valutata insieme alla logistica di plant produttivo per poter gestire i dati in maniera più semplice:

$$Ha = (Kg * 0,143) + (Sqm * 4,65 * 1,06 * 1,02)$$

13.4

$$Hobs = (Kg * 0,143) + 0,1 * (Sqm * 4,65 * 1,06 * 1,02)$$

13.5

Dove il primo membro è il costo di handling, mentre il secondo è il costo di mantenimento a magazzino moltiplicato per i costi di capitale (WACC medio settore) e per i costi amministrativi o di servizio. La formulazione in caso di rischio di obsolescenza aumenta del 10% i costi incorporati dalla quota parte di handling. Il modello risulta interessante perché passa dal carrying cost annuale al costo relativo allo storage di lead time, tenendo conto anche della variabile mancante del LT.

Il valore effettivo del carrying cost durante il lead time è dato dalla seguente formulazione:

$$H = Ha * LT / 365$$

13.6

In questo modo abbiamo ottenuto un modello di identificazione dei componenti che terrà conto di tutti i principali parametri chiave che sono stati fortemente influenzati dalle conseguenze della pandemia che abbiamo discusso nei capitoli 6 e 7.

13.6 Shrinkage o Costi di Rischio

In quest'ultima divisione dei carrying cost presentata troviamo i costi associati alla possibile perdita di valore dei componenti tenuti a stock a causa di potenziali condizioni avverse al loro mantenimento. Solitamente in questa sezione dei costi rientrano anche quelli relativi all'obsolescenza; nel nostro caso, data poca sensibilità dei componenti analizzati, a meno di alcuni specifici casi minori, non sarà considerato nessun costo di potenziale perdita di valore delle scorte. Per questo motivo il costo di obsolescenza sarà inglobato nel calcolo del costo di gestione di magazzino così come presentato nei costi di magazzino.

Nella semplificazione del modello non verranno quindi trattati i costi di perdita di valore dei componenti ma soltanto i costi di obsolescenza tramite i modelli interni aziendali di calcolo di cui è stato riportato uno specchietto di esempio per capire a quali parametri fanno riferimento, con la forzatura dell'utilizzo di costi di magazzino relativi a mercato di ricambi.

Fanno ancora parte di questa categoria dei costi i cosiddetti costi di shrinkage, i costi di perdita di materiale. Sotto questi costi solitamente vengono controllate le discrepanze tra il numero di articoli acquistati dal fornitore e quelli effettivamente venduti o registrati a magazzino sotto le entrate merci.

Le principali cause sono dovute ad errori di gestione: alcuni errori amministrativi sono dovuti alla mancata o errata registrazione dei beni da parte del venditore o del ricevente, l'allocazione in aree scorrette con relativi ritardi nel recuperare la merce o lo smarrimento all'interno di aree del magazzino a causa del mancato tracciamento.

Anche la gestione scorretta nel trasporto o nella fase di handling del carico del trasportatore o della ricezione a magazzino può provocare discrepanze in termini di quantità. In questa categoria rientrano anche le frodi e i furti relativi al materiale, questi ultimi più frequenti nel mercato retail in cui il bene viene solitamente 'gestito' e semplicemente rivenduto.

L'ultima causa di costi di shrinkage sono gli eventi non prevedibili di danneggiamento di scorte una volta a magazzino, la caduta o lo smarrimento in fase di trasporto verso la linea produttiva, così come grandi fonti di calore come incendi o inondazioni d'acqua che danneggiano le scorte a magazzino, così come altri fenomeni naturali non prevedibili in grado di portare danni parziali o totali alle scorte.

13.7 Stockout Cost o costo di rottura scorte

Per il costo di stock out nuovamente non è semplice proporre un modello di costificazione efficace e semplice da utilizzare allo stesso tempo. In generale è dovuto al costo diretto di possibili spedizioni per via aerea che sono sostenute per tentare di avere i componenti in tempo o quanto meno con il minore ritardo possibile rispetto allo schedulato richiesto. Un altro parametro da tenere in considerazione è quello della gravità della mancanza del componente; in generale in produzione si possono suddividere i componenti in tre macrocategorie: job stopper, major rework e minor rework. Questi sono i due principali fattori con cui l'azienda categorizza e costifica i costi di rottura di stock.

La prima categoria, job stopper, identifica i componenti che devono necessariamente essere presenti per completare una linea di montaggio, anche parziale di un mezzo. Solitamente alcune valvole o sensori di controllo specifici richiedono di essere montate e accoppiate specificatamente in determinate fasi del montaggio; senza di esse qualsiasi attività anche parziale deve essere rifatta completamente al loro reinserimento. Le due categorie rimanenti invece identificano componenti che possono essere inseriti a semilavorato parzialmente completato e che richiedono un numero di ore maggiore (major rework) o minore (minor rework) e di conseguenza un minore costo diretto e indiretto del lavoro.

Questa categorizzazione può pesare in maniera differente il livello di servizio finale che identificherà i componenti più critici. Non verrà applicato direttamente ma complementariamente al calcolo del service level. L'unica correzione al costo di stockout totale sarà effettuata per gli eventuali livelli di servizio inferiori ad una soglia media per componenti 'job stopper'. Dato che il modello di service level proposto ha come vincolo $M > \sqrt{2\pi} H$ (11.12), per tutti i casi in cui non è possibile applicarlo, verranno classificati in macrocategorie di livello di servizio i restanti componenti secondo lead time e categoria di influenza sulla linea di produzione.

Una classificazione più completa del costo di stockout si divide in tre macroaree, due delle quali già considerate prima e condivise dall'azienda:

- **Costi per spedizioni aeree urgenti**
- **Costi di ritardo o disruption della produzione**
- **Costi per perdita di reputazione o clienti**

La prima voce come già anticipato è la più semplice da stimare e valutare una volta che si determina il lotto e il costo diretto di spedizione aerea. L'unica considerazione su questa voce è l'eventuale presenza di MOQ causa lotto di spedizione obbligatorio. Ad ogni modo dato che solitamente si tratta di ordini urgenti dal lato cliente non viene considerato un eventuale extra quantità che può tornare utile in caso di disruption della supply chain così come lato fornitore si è più flessibili ad adattare il lotto per sopperire al mancato rispetto della schedulazione originale per non complicare ulteriormente i rapporti e provocare ulteriori ritardi causati da negoziazioni. Ad ogni modo è da considerare che eventuale extra quantità dovuta a minimum order quantity può impattare su maggiore extra costo di spedizione aerea non necessario.

Per quanto riguarda i costi di ritardo o disruption della produzione un possibile metodo che può essere utilizzato è quello del calcolo dell'impatto della mancanza del componente in linea; nel caso specifico è possibile calcolare le ore di ritardo che subisce la produzione a causa dello stop della linea e della percentuale di veicoli prodotti in quell'intervallo di tempo moltiplicato poi per il mancato guadagno o valore prodotto inespresso. Per alcuni componenti montati solamente su una piattaforma o veicolo si sarebbe potuto calcolare i giorni di fermo linea causati dai job stopper e

moltiplicarli per il margine di profitto del veicolo finale non completato per la percentuale della costruzione di veicolo relativa alle ore di lavoro mancate; in alternativa, nel caso di un componente non job stopper, si può effettuare lo stesso calcolo ma utilizzando il numero di ore di rework necessarie per riprendere in linea o fuori linea la lavorazione o gli step di lavorazione saltati a causa della mancanza del componente; questi impatti in termini di orario si dividono come minor (minore o uguale a 4 ore) o major rework (maggiore di 4 ore).

Un metodo di costruzione del costo di stockout presente in letteratura, seppur non di recente traccia, è quello presentato nell'articolo 'Stockout Cost Calculation' della NLPA (Next Level Purchasing Association) dell'8 settembre 2010. Nella formulazione proposta il costo di stockout CS dipende da tre parametri fondamentali e un contributo variabile che ingloba più effetti. La formulazione del CS è la seguente:

$$CS = (NDOS \times AUPD \times PPU) + CC$$

13.7

Dove:

- NDOS number of days of stockout, è il numero dei giorni esauriti
- AUPD verage units per day, sono le unità medie prodotte al giorno
- PPU price (profit) per unit, può indicare il prezzo o il profitto per unità
- CC costi delle conseguenze legate allo stockout

Questo metodo di calcolo del costo di stockout come si intuisce dalla sua struttura, è utile ed applicabile in modo coerente solamente dopo che lo stockout è effettivamente accaduto; questo perché due dei parametri fondamentali, NDOS e CC, sono strettamente legati al singolo episodio e alle singole condizioni specifiche che si sono generate. Le unità medie equivalgono al production rate della linea che viene bloccata a causa di mancanza di quello specifico componente e la scelta del PPU dipende dalla valutazione che si vuole effettuare: utilizzando il prezzo per unità si intende pesare tutto il mancato valore aggiunto della produzione stoppata, mentre utilizzando il profitto si guarda solamente al margine che si è perso, e non a tutto il valore della produzione. Il problema principale è quindi il fatto che l'unico modo di utilizzare questo metodo come previsionale è avere uno storico di rotture di stock già avvenute e i relativi fermi o ritardi di produzione; in questo modo si può tentare di calcolarne una media semplice o di utilizzare metodi di medie pesate in funzione della causa e della probabilità. In tutti questi casi o non può considerarsi un metodo particolarmente affidabile o con rilevanza statistica interessante per la previsione di un costo futuro che può avvenire per diverse cause e con diverse conseguenze, magari completamente diverse dalle precedenti.

I 'costi delle conseguenze' non verranno approfonditi come parametro, anche questi ultimi sono di difficile valutazione e si verificano principalmente in assenza di materia prima o subcomponenti; includono tutti i costi non direttamente calcolabili del fermo linea, come il ritardo nella consegna del componente, la riallocazione di alcune risorse o costo del tempo di setup per riconvertire delle linee fino ad arrivare a considerare anche in parte la perdita di fiducia e fidelizzazione del cliente finale (solitamente questo costo viene comunque affrontato con riflessioni molto più complesse e spesso scorporato).

La presentazione di questa formulazione è stata comunque introdotta in quanto può aiutare ad avere un'idea più completa del costo totale di una rottura di stock e supporta riflessioni sull'applicazione del modello di Newsvendor nel momento in cui si analizza un caso specifico che ha già avuto conseguenze per stockout.

L'ultima voce che contribuisce al costo totale di rottura di stock è dato dai costi di perdita di reputazione o di clienti. Questa è la voce più complessa in assoluto da quantificare e non verrà considerata per questioni di semplicità – può essere approfondito il discorso a lato con una discussione specifica sulle conseguenze. Ad ogni modo è bene introdurre brevemente come possono essere qualificati in base alle diverse conseguenze che può avere e gli effetti sul cliente finale.

Se il cliente accetta di aspettare per l'ordine poiché non ha valide alternative in termini di rapporto di costi e tempi o semplicemente è per loro un prodotto di vitale importanza e tengono in considerazione l'eventuale attesa; anche in questo caso 'ideale' per l'azienda la soddisfazione del cliente verrà probabilmente intaccata dall'episodio e il suo livello generale potrebbe scendere.

Se il cliente decide di accettare il backorder si peggiora leggermente la situazione di quando è disposto ad aspettare semplicemente l'ordine a causa di mancanza di alternative. L'ordine sarà comunque soddisfatto ma con tempistiche che non erano inizialmente previste dal lead time standard dell'ordine; anche in questo caso la soddisfazione del cliente subisce un decremento, generalmente più elevato del primo caso.

Se invece il cliente cancella l'ordine, può essere che abbia in mano un'alternativa che è disposto ad accettare o semplicemente non è strettamente necessario che riceva il prodotto in tempi brevi – in questo caso il danno del livello di soddisfazione è superiore ma potrebbe comunque succedere in futuro che il cliente decida di ordinare ancora, in questo caso la fidelizzazione può essere intaccata solo in parte ma potrebbe comunque non necessariamente portare alla perdita definitiva del cliente.

Se il cliente cancella l'ordine e decide di non ordinare più o avere relazioni commerciali con il fornitore ci troviamo nel caso peggiore per l'azienda; se oltre all'ordine non fornibile in tempi brevi si aggiungono una scarsa comunicazione o supporto c'è la perdita effettiva del cliente, il danno peggiore dal punto di vista qualitativo

Per semplificare il calcolo nell'applicazione del modello lo stockout cost coinciderà con il costo della possibile spedizione aerea; quest'ultimo è direttamente proporzionale al peso del componente richiesto. I pesi dei componenti sono stati estrapolati dal database delle bill of material dei componenti e il costo fisso al kg di riferimento per CNHi per una spedizione aerea con riferimento all'anno 2021 è di circa 4,5€/kg.

$$\text{Stockout Cost} = \text{Air Shipping Cost} = \text{Kg} * 4,5\text{€}$$

13.8

$$\text{Stockout Cost Job Stopper} = 2,5 \text{ or } 3 * \text{Stockout Cost}$$

13.9

$$\text{Stockout Cost Major Rework} = 1,5 * \text{Stockout Cost}$$

13.10

Un'alternativa proposta dal dipartimento di analisi costi logistici aziendale è stata quella di raddoppiare o triplicare il costo totale di mancanza del materiale in caso di componente job stopper per semplificare ulteriormente il modello e includere tutti i costi associati al singolo costo diretto di rottura di stock dovuto alla spedizione; per i componenti della categoria 'major rework' il costo totale sarà moltiplicato per 1,5.

Per alcuni componenti di costo elevato l'impatto sul fermo linea non compensa comunque la mancata produzione. Per un calcolo più preciso si dovrebbe utilizzare lo storico dei componenti più critici che hanno impattato con fermi linea e calcolare il costo totale di fermo linea associato (direttamente proporzionale alle mancate ore di lavoro o di mancata produttività di semilavorati o finiti) così come proposto nella formulazione 13.7 del CS.

Definiti i metodi, le approssimazioni e le ipotesi che sono state adottate per calcolare i parametri fondamentali del modello, applichiamo ad un pool di circa 3000 componenti la formula del service rate presentata.

Sotto un esempio riportato dalla tabella consultabile in appendice con un'estrazione di alcuni dei componenti analizzati (*Tabella di riferimento calcolo dei service level, 19.2.10*).

Nella tabella in appendice l'estrappolato ha come focus alcuni dei componenti che sono stati impattati maggiormente da stockout e shortage e che hanno subito ordini per via aerea con più frequenza.

Non sono gli unici che verranno considerati, nei casi specifici verranno trattati componenti anche differenti con condizioni ancora più particolari; il focus ricadrà comunque sulla lista in tabella.

PN	M unit stock-out cost	H unit carrying cost during LT	Service Rate	Weight (KG)	Handling Cost	Sq mt space	Air freight cost	Shortage Cost if Production delay cost	JOB STOPPER/MAJOR/MINOR	Storage / direct carrying Cost
#1	72,68 €	3,91 €	97,73%	16,15	2,31 €	3,000	72,68 €	72,68 €	MIN	13,95€

Tabella 13.7.1 ' Service Rate Calculation'

Nella tabella 13.7.1 le voci sono definite come di seguito:

- PN: è il numero generico che identifica il part number o part id (identificativo)
- M è il costo di stockout calcolato come nella (*)
- H è il carrying cost calcolato come nella (*)
- Il service rate è il parametro fondamentale che selezionerà gli elementi più critici
- Weight è il peso in Kg
- Handling Cost è il costo di gestione secondo formula (*)
- Sq mt space è l'approssimazione dello spazio occupato a magazzino
- Storage cost è il costo di mantenimento a magazzino
- Air freight cost è il puro costo diretto di spedizione aerea urgente
- Shortage if production delay cost è il costo che tiene conto della tipologia di componente (min, maj, job stopper)

E' necessario sottolineare che alcuni dati sensibili di partenza sono stati modificati per rispettare il segreto professionale e il patto di non divulgazione; rientrano inoltre tra i dati fortemente sensibili dell'azienda tutti gli specifici costi di acquisto dei singoli componenti, siano essi diretti o indiretti.

Il primo metodo proposto da J.Vermorel (cap 11, riferimento formula 11.11) e adattato al caso specifico ci consente di fare alcune considerazioni iniziali sul metodo di filtro e individuazione dei componenti maggiormente critici:

- Il metodo propone una proporzionalità diretta rispetto al service level del costo di stockout
- In maniera opposta un aumento del carrying cost durante il lead time del componente farà scendere il livello di servizio ideale.
- Va sottolineato il vincolo iniziale già presentato del rapporto tra costo di stockout e carrying cost, quando non rispettato il modello ‘perde’ di significato
- Il modello è stato integrato con un calcolo che tiene conto della classificazione della tipologia di componente a seconda dell’impatto sul blocco della produzione che può avere, cosa non tenuta in considerazione dal modello iniziale proposto.

E’ possibile individuare già alcuni esempi, tra quelli estrapolati, in cui il modello non è in grado di fornire un service level che possa essere usato come driver della selezione degli elementi critici.

In questo caso un metodo ABC a matrice può essere utilizzando incrociando la tipologia di prodotto per impatto sulla linea (Min, Maj, Job Stopper) e il suo lead time; in alternativa al lead time si possono usare gli indici di rotazione di magazzino per il componente per capire se è alto, medio o basso rotante, o ancora il carrying cost a magazzino; in alternativa all’impatto sulla linea si può utilizzare lo stockout cost ma spesso può risultare poco incisivo per i componenti particolarmente leggeri anche in presenza di job stopper. In questo modo si possono trovare 9 quadranti in cui suddividere i componenti. In questo caso è stato evidenziato in rosso il service rate più elevato da dover sostenere per identificarlo come critico. E’ stata mantenuta la soglia del 98% coerentemente con i risultati dei componenti indicati come particolarmente critici.

	JS	MAJ	MIN
LT > 180	99%	95%	80%
35<LT<180	95%	85%	68%
LT<35	80%	68%	55%

Tabella 13.7.1 ‘ Service Rate per Construction’

L’utilizzo di questo metodo ha selezionato 167 componenti su un pool di circa 2000 analizzati. Di questi 167 componenti 154 includono il maggior numero di spedizioni e/o di impatto sui costi di stockout supportati durante l’anno 2021. Di questi 167 che sono stati analizzati, 19 non potevano essere utilizzati in quanto a parametri calcolati per l’applicazione del modello per service rate.

Una prima statistica indica quindi che il modello è utilizzabile con un buon livello di confidenza per individuare i componenti con maggiore potenziale criticità anche senza avere uno storico riferito a stockout già avvenuti. Questo permette un’analisi per criticità anche relativa a componenti che non hanno subito shortage ma che potrebbero in un futuro prossimo, verso cui è meglio muoversi per assicurarsi un’analisi più approfondita come quelle che affronteremo.

Il buon livello di confidenza si basa sulla rappresentanza dei 167 PN del 67,8% dei maggiori costi di stockout sostenuti dei 2000 componenti presi in considerazione. Non verranno riportati in questo caso i numeri effettivi di costi di stockout totali in quanto informazione sensibile anche dal punto di vista dell’ordine di grandezza.

Ipotizzando quindi, per puro riferimento numerico, di aver sostenuto un totale di 100 milioni di € di costi di stockout per un pool analizzato di circa 2000 componenti, la rappresentanza dell’8,35% circa del totale dei componenti che sono stati considerati come maggior rilevanza di costi totali

(67,8%) corrisponde a 67,8 milioni di € circa del totale. Di questa rappresentanza per 13 componenti non è stato possibile applicare direttamente il metodo evidenziato, poiché non rispettano il vincolo di rapporto tra costo di stockout e carrying cost. Significa che, nel pool analizzato di dati, nel 7,78% dei casi non risulta possibile applicare correttamente il metodo su part più critici, almeno direttamente come proposto (0,65% del totale del pool analizzato).

Un'altra considerazione va effettuata su altri 27 componenti dei 154 per cui è stato possibile applicare il modello, che hanno ottenuto un service rate compreso tra il 54,09% e l'89,93%; in questo caso un pool di circa il 17,54% del totale per cui è stato applicato il modello, non sarebbe considerato 'particolarmente critico' nonostante il pool di questi 27 componenti rispecchi il 16,8% dei 67,8 Mio€ (11,4 Mio€). Se viene quindi considerato il pool con service rate maggiore del 90% rimangono 124 componenti dei 167 maggiormente rappresentativi del pool per costi di stockout.

L'ultimo taglio di componenti da considerarsi 'ipercritici' è effettuabile per una soglia di service rate maggiore del 98%: in questo caso troviamo ben 60 componenti evidenziati dall'analisi che da soli contribuiscono a 36,18 milioni di € del costo totale di stockout

Le considerazioni da effettuare sull'applicazione dopo l'analisi dei risultati e del pool considerato sono le seguenti:

- Il modello ha limiti di applicazione dovuti ai vincoli tra costo di stockout e carrying cost che possono comunque essere ovviati con considerazioni sulla modellazione dei costi più precisa o assunzioni particolari per estenderne l'applicazione;
- Quando applicabile ad un pool di componenti che già hanno eventualmente uno storico di impatti è applicabile in più del 90% dei casi (da dati utilizzati come esempio nel caso di analisi)
- Quando viene applicato ad un pool di dati 'sconosciuti' riesce ad evidenziare nel 74,2% dei casi (124 di 167 iniziali focalizzati) i componenti critici e rischia di perdersi solo una percentuale minore, seppur non trascurabile di percentuali di service rate inferiori al 90%
- Se si entra nel dettaglio con focus su componenti di ipercriticità è possibile stabilire una soglia e riportare il numero di componenti che vengono evidenziati dal modello rispetto al totale del pool e al totale della rappresentanza della criticità in termini di impatto sui costi di shortage o stockout. In questo caso l'individuazione di 60 componenti (service rate >98%) su un pool iniziale di 167 rappresenta il 35,9% circa del totale che corrisponde e più della metà dei costi totale di shortage (53% circa) del pool analizzato (36,18Mio€ su 67,8Mio€ dei 167 componenti).
- Anche per i casi in cui non può essere applicato, o attraverso considerazioni particolari o attraverso metodi alternativi di clusterizzazione è possibile sopperire alle mancanze del modello proposto.

Per riferimento al calcolo sui costi dei componenti più critici in appendice è presente il focus nella 'tabella criticità' (19.2.1).

Riferimenti capitolo 13: 17.38, 17.40, 17.41, 17.42

13.8 Applicazione Specifica

13.8.1 CASO #1A

Una volta individuati alcuni dei componenti più critici secondo il metodo presentato nelle sezioni precedenti (13.4,7), è ora possibile applicare in casi specifici più interessanti il modello e capirne i suoi risvolti in termini di combinazione delle scelte decisionali del 'Newsvendor'.

Partiamo quindi dal componente che chiameremo #1A, coinvolto in situazioni di stockout rilevanti che ha come caratteristica un peso decisamente elevato, riportiamo i dati definendolo nella tabella successiva [13.8.1]

PN	Weight (Kg)	Space (Sq.mt)
#1A	352,58	2,19

Tabella 13.8.1.1 'Caratteristiche #1A'

Backlog Rate	Alfa	LT (days)
0,11	0,05	63

Tabella 13.8.1.2 'Parametri del problema'

Procediamo ora a calcolare i costi di stockout e carrying così come presentato nelle formule (*) e (*) dopo aver definito i parametri di P,C,S,R. In questo caso si tratta di un componente con alta richiesta anche lato ricambi e protetto da contratti di fornitura che ne limitano fortemente il rischio di obsolescenza – per questa motivazione il salvage value è molto elevato ed è stato calcolato come il 95% del costo di acquisto (sottraendo un 5% di stima dei costi di contratto per proteggerne fornitura e valore). Il valore alfa verrà fissato al 5% in tutti i casi e dato il suo andamento coerente con il livello di avversione al rischio, non verranno considerati casi differenti in generale.

Per quanto riguarda il backlog rate, nonostante la necessità del componente che ha un grado di design customizzato, non è particolarmente accettato da parte del cliente finale di vedere i propri ordini trasformati in backorder, solo nell'11% dei casi di domanda in eccesso il cliente è disposto ad attendere.

Costo	Prezzo	Salvage
29,10 €	36,96 €	27,64 €

Domanda Anno1	Domanda Anno2	Domanda Anno3	Media	Var N	Var Pois
2078	2043	2087	2069,33	32,87	2069,33

Stockout Cost	Carrying Cost during LT	Handling Cost	Service Rate
1.586,63 €	51,87 €	50,42 €	98,74

Tabella 13.8.1.3 'Valori di riferimento e calcolo dei parametri principali'

Per quanto riguarda i valori di riferimento, sono stati presi 3 anni tra passato e forecast in maniera casuale ed è stata calcolata la media matematica e la varianza (nel caso di distribuzione di Poisson è stata indicata come Var Pois e coincide con la Media o Valore Atteso Medio).

Nella successiva tabella (13.8.4) vengono riportate le spedizioni relative ad un anno con relative quantità e dettaglio delle spedizioni aeree con relativo extra costo (Stockout Cost*Quantità)

Materiale	Qtà prevista	Data cr.	Costo	Costo Extra
#1A	56	18.01	1.629,60 €	
#1A	56	26.01	1.629,60 €	
#1A	56	27.01	1.629,60 €	
#1A	26	09.02	756,60 €	
#1A	56	15.02	1.629,60 €	
#1A	56	17.02	1.629,60 €	
#1A	30	24.02	873,00 €	
#1A	56	26.02	1.629,60 €	
#1A	56	04.03	1.629,60 €	
#1A	55	10.03	1.600,50 €	
#1A	56	16.03	1.629,60 €	
#1A	7	16.03	203,70 €	
#1A	1	16.03	29,10 €	
#1A	56	22.03	1.629,60 €	
#1A	7	24.03	203,70 €	
#1A	56	07.04	1.629,60 €	
#1A	56	13.04	1.629,60 €	
#1A	56	16.04	1.629,60 €	
#1A	56	27.04	1.629,60 €	
#1A	56	28.04	1.629,60 €	
#1A	56	29.04	1.629,60 €	
#1A	56	11.05	1.629,60 €	
#1A	AIR 34	19.05	989,40 €	53.945,42 €
#1A	AIR 22	08.06	640,20 €	34.905,86 €
#1A	56	08.06	1.629,60 €	
#1A	56	08.06	1.629,60 €	
#1A	56	08.06	1.629,60 €	
#1A	56	17.06	1.629,60 €	
#1A	56	23.06	1.629,60 €	
#1A	56	29.06	1.629,60 €	
#1A	56	12.07	1.629,60 €	
#1A	56	20.07	1.629,60 €	
#1A	56	09.08	1.629,60 €	
#1A	22	12.08	640,20 €	
#1A	AIR 56	19.08	1.629,60 €	88.851,28 €
#1A	AIR 34	09.09	989,40 €	53.945,42 €
#1A	56	30.09	1.629,60 €	
#1A	4	30.09	116,40 €	
#1A	56	14.10	1.629,60 €	
#1A	56	19.10	1.629,60 €	
#1A	56	02.11	1.629,60 €	
#1A	56	13.12	1.629,60 €	
#1A	56	23.12	1.629,60 €	
#1A	56	29.12	1.629,60 €	
Tot	2090		60.819,00 €	
Tot Air Ship	146		4.248,60 €	231.647,98 €

Tabella 13.8.1.4 'Spedizioni e Costi'

Dopo aver calcolato i parametri procediamo con l'analisi di cosa è successo nella realtà e di cosa sarebbe potuto cambiare con l'utilizzo del metodo CVaR applicato al metodo di Newsvendor studiato.

E' possibile calcolare i valori di utilità ottenuti con l'ordine effettivamente preventivato ad inizio anno. Come è possibile notare dagli ordini portati come esempio, il modello aziendale utilizzato è un mix variabile tra time-fixed e quantity-fixed model. La struttura di questa tipologia di modello di ordini che deve incontrare una domanda incerta e spesso stagionale non rende possibile utilizzare semplici modelli di quantità o tempo fissi nei cicli temporanei in cui sono espressi. Dovendo guardare al totale della domanda a fine anno vediamo variazioni importanti della quantità ordinata (da 1 a 56 pezzi) e di frequenza d'ordine. Il modello di Newsvendor non terrà conto della frequenza d'ordine o del costo del singolo ordine a differenza del classico metodo alternativo di calcolo dell'Economic Order Quantity (EOQ).

Come da ipotesi di modello, la trattazione del momento della decisione dell'ordine avverrà come 'one time decision' e non potrà essere modificata nel tempo come ipotesi di base. Nella realtà dei fatti non sempre è necessario ordinare con anticipo e fare commitment per un anno intero di volumi ma nel caso in cui questo sia richiesto lato fornitore o sia concordato, è possibile applicare il modello così come presentato.

Le quantità effettivamente ordinate a fine anno del part #1A sono state 2090.

Le quantità schedulate che sono state spedite in maniera standard sono state 1944, mentre le spedizioni aeree urgenti a causa di stockout sono state 156, circa il 7% del totale delle quantità ricevute a fine anno includendo sia le spedizioni standard che aeree.

Con riferimento alla formula dell'utilità (8.24) è quindi possibile calcolare il profitto, le perdite e l'utilità totale a fine anno, secondo le ipotesi di calcolo precedentemente definite. Come è intuibile, dato l'enorme costo di stockout rispetto al costo di rivendita, l'utilità finale risulta negativa.

Profitto reale	16.427,40 €
Perdite reale	231.648,35 €
Utilità reale	- 215.220,95 €

Tabella 13.8.1.5 'Utilità caso reale'

In questo caso si possono esprimere due considerazioni principali: le quantità con ordine standard sono state il 93% circa del totale effettivamente richiesto dal mercato; il decisore adottando un metodo di ordini flessibile ma senza contrattualizzare uno stock totale annuale è dovuto incorrere in un cambio di schedulazione che ha necessitato una spedizione urgente; non ci soffermeremo sulla causa del cambio di schedulazione, in maniera generale diremo che può essere causato da una forte fluttuazione della domanda, dalla perdita di materiale, da errori amministrativi di inserimento ordini e calcolo delle tempistiche e da situazioni di mercato che non permettono causa mancanza di materiale l'arrivo in tempi corretti – in quest'ultimo caso molto frequente durante il periodo della pandemia, i contratti in cui il costo di tale mancanza rimaneva in capo al fornitore vengono meno data la 'causa di forza maggiore'. Sono quindi tutti extra costi imputabili in maggior percentuale al cliente finale che necessita i componenti, spesso il fornitore riconosce solo una piccola percentuale dell'extra costo o preferisce non fornire direttamente in perdita anche andando contro il contratto in essere. In generale quindi si potrebbe dire che il decisore degli ordini è stato previdente dal punto di vista dello stockpiling, evitando di ordinare più del potenziale necessario affidandosi alla possibilità di una catena di fornitura che prevedeva più flessibile, senza tenere conto delle fluttuazioni dei lead time dei subcomponenti.

Per quanto riguarda il calcolo nella tabella 13.8.1.5, le formule utilizzate sono le seguenti

$$\text{Profitto}, r = (p-c) * Q / \text{Perdite}, r = \text{stockout cost} / U = \text{Profitto}, r - \text{Perdite}, r$$

Dove $Q=2090$

Vediamo ora come variano le quantità che sarebbero state ordinate con i vari modelli rispetto al crescere dell'avversione al rischio del decisore. In questo caso riportiamo per interesse anche i dati di ottimizzazione semplice dell'utilità, ma ci focalizzeremo sul modello CVaR.

Y	QotN	QotP	QcvarN	QcvarP
2	2510	2232	2511	2233
4	2510	2232	2512	2233
6	2510	2232	2512	2233
10	2510	2232	2512	2233
(w=0,4) 10	2243	2227	2495	2226
20	2510	2232	2512	2233
Delta QTY (Q*-2090)	420	142	422	143
Extra costo carrying	3.572,79 €	1.241,32 €	3.589,57 €	1.249,70 €

Tabella 13.8.1.6 'Calcolo con modello di Newsvendor'

Prendiamo in considerazione il modello di distribuzione di Poisson poiché rispetta in maniera più efficace le ipotesi di struttura di distribuzione della domanda.

Delta QTY è la differenza tra la l'ultima riga della tabella 13.8.6 (Y=20) e la richiesta effettiva (2090)

Extra costo carrying è l'extra costo relativo all'extra stock che viene ordinato ed è calcolato secondo la 13.6 riadattata dalla 13.4.

$$\text{Extra Costo Carrying} = (\text{Delta QTY} * (\text{Ha-Handling Cost}) * LT / 365) + \text{Handling Cost}$$

13.11

Prendendo in considerazione il metodo CVaR con distribuzione di Poisson della domanda ricalcoliamo come da 8.24 le varie voci.

Profitto modello	16.301,17 €
Perdite modello	417,56 €
Utilità modello	15.466,05 €

Tabella 13.8.1.7 'Utilità con applicazione CVaR al Newsvendor model'

Sempre con riferimento alla 8.24 riportiamo di seguito le formule utilizzate e i relativi valori riferendoci alla 13.12 e alla 13.13 come parti della 8.24

$$\text{Profitto} = (p-c) * \min(q, D) + w * (p-c) * (D-q) \quad \text{dove } D=2090, q=1944 \text{ e } w=0,11$$

13.12

$$\text{Perdite} = (1-w) * (p-c) * (D-q) \quad \text{dove } D=2090, q=1944 \text{ e } w=0,11$$

Come è intuibile le uniche perdite in caso di overstocking sono date dal costo di stoccaggio a magazzino delle unità ordinate in eccesso. Una considerazione da effettuare in questo caso è che l'avversione al rischio del decisore non ha nessuna particolare incisività nell'esito del modello finale in quanto a variazione della quantità ottimale finale scelta. Anche pesando 20 volte di più le perdite possibili ($\lambda=20$), applicando il metodo CVaR la quantità ordinata con distribuzione di Poisson o Normale non subisce variazioni; le subisce invece il calcolo dell'utilità finale.

In questo specifico caso utilizzando la distribuzione Normale l'esito finale avrebbe una percentuale ancora più elevata di quantità finale, la sensibilità al costo C_0 nel caso di utilizzo di distribuzione normale per approssimare la domanda sembra essere più elevata rispetto all'approssimazione con Poisson.

Per la considerazione sull'utilità verrà quindi utilizzato il caso di bassa avversione al rischio per sottolineare come l'utilità finale possa essere molto maggiore rispetto al caso reale. In generale quindi con costi di stockout molto elevati (4800% circa del costo di acquisto) e con carrying cost durante il lead time contenuti (26% circa del costo di acquisto) è preferibile affrontare la fase decisionale di ordine con bassa avversione al rischio e pesare poco le perdite anche in fase di valutazione dell'utilità finale. In casi di quantità ordinate in eccesso vanno comunque fatte eventuali considerazioni di vincoli di spazio e stoccaggio che in questo caso non sono tenute in considerazione. La capacità in termini di spazio di immagazzinaggio è infinita in questa analisi.

Questo è uno dei casi più evidenti di possibile impiego ed utilizzo del modello, con un aumento dell'utilità finale del 1400% rispetto alla realtà e un netto positivo, anziché negativo.

13.8.2 CASO #2A

Definiamo di nuovo tutti i parametri relativi al componente in analisi che sarà il #2A, in questo caso ‘stressiamo’ la definizione di un componente a bassissima densità che ha un peso molto basso ma occupa uno spazio notevole. A differenza del primo caso, non ci soffermeremo sulla costruzione che segue le stesse formule e regole utilizzate nel 13.8.1. Il componente in questione è definito come un componente dal design customizzato.

PN	Weight (Kg)	Space (Sq.mt)
#2A	0,036	1,7

Tabella 13.8.2.1 ‘Caratteristiche #2A’

Backlog Rate	Alfa	LT (days)
0,4	0,05	21

Tabella 13.8.2.2 ‘Parametri del problema’

Costo	Prezzo	Salvage
0,85 €	1,09 €	0,21 €

Domanda Anno1	Domanda Anno2	Domanda Anno3	Media	Var N	Var Pois
15600	13500	18720	15940	3714,5	15940

Stockout Cost	Carrying Cost during LT	Handling Cost	Service Rate
0,16 €	0,37 €	0,01 €	80%

Tabella 13.8.2.3 ‘Valori di riferimento e calcolo dei parametri principali’

In questo caso non riporteremo l’intera schedulazione come reference, ma direttamente le quantità.

Quatity Real	18.720,00
Air Ship Quantity	3.000,00

L’extra costo per spedizione aerea relativo ai 3000 pezzi è di 480€.

Y	QotN	QotP	QcvarN	QcvarP
2	13129	15844	13260	15841
(w=0.1) 2				15882
4	12615	15827	12555	15826
6	12416	15820	12368	15818
10	12242	15814	12210	15814
(w=0.6) 10	11435	15787	11390	15786
20	12165	15810	12084	15810
Delta QTY (Q*-18720)	-6555	-2910	-6636	-2910
Extra costo carrying	-41.175,13 €	- 18.279,12 €	-41.683,93 €	-18.279,12 €

Tabella 13.8.2.4 ‘Calcolo con modello di Newsvendor’

Data la specificità del prodotto e la scarsa possibilità di poterne trovare un'alternativa sul mercato, il backlog rate è medio-alto in quanto quasi la metà dei clienti è disposto ad attendere il proprio ordine non vedendo alternative disponibili facilmente reperibili.

Vediamo come non è possibile raggiungere una quantità ordinata sufficientemente vicina al numero di ordinato effettivo per poter mitigare il costo di stockout. Il componente ha un service rate dell'80% e potrebbe non essere considerato tra i particolarmente critici per cui applicare il modello, ma terremo in considerazione risultati anche negativi di applicazione dello stesso.

Profitto modello	4.216,42 €	Profitto reale	4.492,80 €
Perdite modello	559,68 €	Perdite reale	480,00 €
Utilità modello	3.097,06 €	Utilità reale	3.532,80 €

Tabella 13.8.2.5 'Utilità confrontata tra caso reale e CVaR'

Le formulazioni del modello per quanto riguarda il calcolo di P,L ed U sono sempre da riferirsi alla 8.24. In questo caso specifico vediamo come l'applicazione del modello porta svantaggio. Nonostante i costi di stockout sostenuti, dato il valore medio alto di backorder rate del particolare, il decisore tende ad ordinare di meno contando di poter gestire buona parte dell'eventuale domanda in eccesso senza dover ricorrere al rischio di overstocking. In questo caso il modello meno sensibile al backorder rate è quello applicato con la distribuzione di Poisson che pesa di meno i rischi di carrying cost e più i costi di stockout a differenza della distribuzione Normale che tende a rendere più conservativo il modello. Ancora una volta è da preferire quindi la distribuzione di Poisson; un aiuto potrebbe darlo il non considerare backorder rate effettivamente elevati ma aspettarsi più cancellazioni di ordini da parte del cliente finale. Vediamo come per bassa propensione al rischio ed un backorder rate di 0,1 rispetto al valore di 0,4 si può apprezzare una variazione in termini di quantità ordinata. Ad ogni modo la variazione di Q è di circa il 6% contro una diminuzione del backorder rate del 75%.

Le due note principali da evidenziare sono la propensione all'utilizzo della distribuzione di Poisson e la bassa propensione al rischio che deve essere seguita anche per componenti con service rate medio-alto. Il componente, come nel primo caso fa parte della categoria dei minor rework.

In questo caso l'utilità subisce una diminuzione del 12%.

13.8.3 CASO #3A

Guardiamo ora ad un caso ‘ipercritico’ con effettivo stockout.

Ripresentiamo tutte le tabelle per introdurre il componente.

PN	Weight (Kg)	Space (Sq.mt)	Costo	Prezzo	Salvage	LT
#3A	10,4	1,4	29,10 €	36,96 €	27,64 €	56

Backlog Rate	Alfa	LT (days)	Stockout Cost	Carrying Cost	Handling Cost	Service Rate
0,25	0,05	56	140,40 €	2,98 €	1,49 €	99,23%

Tabella 13.8.3.1 ‘Valori e definizione del #3A’

Domanda Anno1	Domanda Anno2	Domanda Anno3	Media	Var N	Var Pois
500	458	435	464,33	46,61	464,33

Tabella 13.8.3.2 ‘Domanda del #3A’

Le quantità effettivamente ordinate sono state **475** di cui 32 hanno necessitato di trasporto aereo. Di seguito riappliciamo i calcoli con il modello.

Y	QotN	QotP	QcvarN	QcvarP
(+50%R) 1	460	462	459	467
1	460	462	459	462
2	454	459	453	459
6	449	457	449	457
10	448	457	448	457
(w=0,1) 10	454	459	453	459
Delta QTY (Q*-475)	-21	-16	-22	-16
Extra costo stockout	- 2.948,40 €	- 2.246,40 €	- 3.088,80 €	- 2.246,40 €

Profitto modello	41.278,13 €	Profitto reale	41.562,50 €
Perdite modello	3.913,78 €	Perdite reale	4.492,80 €
Utilità modello	37.364,35 €	Utilità reale	37.069,70 €

Tabella 13.8.2.3 ‘Calcolo con modello di Newsvendor e profitto’

In questo caso per un componente ipercritico è possibile mantenendo nuovamente bassa l’avversione al rischio al momento della decisione, di mitigare l’effetto di stockout ordinando più unità rispetto a quelle effettivamente ordinate via standard (443).

In questo modo, utilizzando nuovamente il modello con distribuzione di Poisson e bassa propensione al rischio, si ottiene un aumento poco apprezzabile dell’utilità finale.

Il componente in questione è particolarmente pesante ed è un job stopper. Questo rende alto sia il livello di servizio che i costi in caso di shortage del componente.

Nonostante questo il modello tende a rimanere conservativo ,ordinando meno di quanto si riscontra necessario a fine anno, infatti sembra non riuscire ad applicare nessun ‘extra stock’ di sicurezza dato che il numero di unità ordinate con l’utilizzo del modello (462) è minore della media totale

prevista; per due motivi sostanziali: il margine sul componente non è particolarmente elevato e ha un basso valore di rientro, dato probabilmente dalla sola rottamazione dei componenti parziali che compongono il semilavorato, in più il costo di stockout che è circa la metà del costo di acquisto del componente, il che rende il componente poco impattante dal punto di vista dell'overstocking anche se risulta essere un job stopper e ha un valore finale di service level molto elevato (ipercritico).

Non basta aumentare del 50% il salvage value ($r=180$) dato che l'incremento finale della quantità è di meno del 10%. Raddoppiando invece il valore di shortage cost ($s=282$) si ottiene quasi lo stesso risultato di incremento (+11%) rispetto al valore della quantità scelta (462).

L'elemento positivo che rimane è comunque un'utilità finale migliore rispetto alla gestione 'reale'.

In questo caso l'applicazione del modello, quindi, aiuta ad ottenere un'utilità leggermente superiore +0,85% ma senza apprezzabili cambiamenti che potrebbero non giustificare la spesa del tempo impiegato ad analizzare i componenti.

13.8.4 CASO #4A

Per comprendere come funziona l'utilizzo del modello, vediamo anche che 'conseguenze' può portare il suo utilizzo su un componente che non ha effettivamente nessuna rottura di stock a fine anno. Il part è un componente soggetto a minor rework in caso di rilavorazione.

I dati verranno anche in questo caso riassunti in maniera molto più schematica per focalizzare la discussione, tutti i riferimenti formulari utilizzati sono i medesimi applicati per i casi #1,2,3A (13.8.1,2,3).

Anche in questo caso il componente è particolarmente pesante e costoso, ha un service rate che lo rende secondo il nostro modello proposto un componente 'ipercritico' (98,6%) e non ha avuto rotture di stock durante l'anno.

PN	Weight (Kg)	Space (Sq.mt)
#1A	352,58	2,19

Backlog Rate	Alfa	LT (days)
16,7%	0,05	63

Costo	Prezzo	Salvage
1.423,76 €	1.808,18 €	27,64 €

Media D	Var D
846	126

Tabella 13.8.4.1 'Valori e definizione del #4A'

Tabella 13.8.4.2 'Domanda e parametri del #4A'

Riapplichiamo come fa formule già introdotte negli altri casi le proposte di calcolo secondo i modelli. Le quantità effettivamente ordinate a fine anno sono state **921**, senza air shipments.

Y	QotN	QotP	QcvarN	QcvarP
1	854	849	851	848
2	827	841	824	841
6	799	835	797	834
10	791	833	799	832
Delta QTY (Q*-921)	-67	-72	-70	-73
Extra costo	- 14.170,50 €	- 15.228,00 €	14.805,00 €	- 15.439,50 €

Profitto modello	331.815,32 €	Profitto reale	354.047,39 €
Perdite modello	12.337,50 €	Perdite reale	- €
Utilità modello	319.477,82 €	Utilità reale	354.047,39 €

Tabella 13.8.4.3 'Calcolo con modello di Newsvendor e profitto'

In questo caso ci troviamo di nuovo in una situazione in cui l'atteggiamento ideale del decisore deve essere di neutralità o di bassa propensione al rischio. Anche con valori bassi di λ e sempre mantenendo i valori di α fissati a 0,05, con poca avversità al rischio il modello di applicazione del CVaR non fornisce un livello adeguato di stock. La domanda media di 846 componenti viene soddisfatta in caso di bassa propensione al rischio, ma viene pesata in maniera poco adeguata l'elevata varianza della domanda (14,8% rispetto alla media) che porterebbe intuitivamente, a prescindere dall'applicazione dei modelli, ad avere un livello simile di potenziale 'cuscinetto'

In questo caso il modello 'fallisce' nella sua applicazione e restituisce un'utilità che è circa il 90,1% rispetto al caso reale in cui la situazione di stockout non è fortunatamente avvenuta.

13.8.5 CASO #5A

Trattiamo ora un ultimo caso per esemplificare e concentrarci solo sull'esito finale della valutazione dell'applicabilità del modello.

PN	Weight (Kg)	Space (Sq.mt)	Service Rate
#5A	0,67	0,760	80,97%

Costo	Prezzo	Salvage	Stockout
14,39 €	18,26 €	13,66 €	4,52 €

Backlog Rate	Alfa	LT (days)	Media D	Var D
0,5	0,05	117	12	1,5

Tabella 13.8.5.1 "Valori, definizione e domanda del #5A"

La quantità effettivamente ordinata a fine anno è di 14 pezzi, mentre gli ordini con spedizione aerea sono stati per 2 unità. Nel caso 'reale' quindi la schedulazione inserita e rispettata è stata di 12 pezzi in spedizione standard e 2 aerea.

Y	QotN	QotP	QcvarN	QcvarP
2	13	14	13	14
4	13	14	13	14
10	13	13	13	13
20	13	13	13	13

Tabella 13.8.5.2 "Calcolo con modello di Newsvendor"

Vediamo come l'utilizzo del modello di Newsvendor in generale dia ottimi risultati di approssimazione, anche perché le variazioni sulle cifre decimali in questo caso sono poco apprezzabili dato il dovuto arrotondamento per eccesso di tutti i numeri. E' però utile come esempio per sottolineare anche la sensibilità della distribuzione discreta di Poisson su valori più piccoli del campione. Inoltre come è visibile dalla tabella 13.8.5.3 nonostante il piccolo incremento in valore assoluto dell'utilità finale, anche con livello decisionale di media avversione al rischio si ottiene un incremento del 20% circa dell'utilità finale in rapporto a quella effettivamente raggiunta

Profitto modello	54,34 €	Profitto reale	54,34 €
Perdite modello	- €	Perdite reale	9,05 €
Utilità modello	54,34 €	Utilità reale	45,30 €

% **19,97%**

Tabella 13.8.5.3 "Variazione dell'utilità"

14 Conclusioni

Come obiettivo prefissato ad inizio lavoro, questo studio vuole proporre un metodo quantitativo per l'individuazione di componenti particolarmente critici dal punto di vista della catena di fornitura e contemporaneamente propone anche un metodo per la loro gestione una volta individuati.

Il modello ottiene risultati soddisfacenti per categorie di prodotti particolarmente a rischio, con costi di stockout superiori al costo di acquisto e in generali pesi degli articoli importanti, si ottengono ottimi risultati rispetto alla gestione attuale. Per quanto riguarda invece componenti che occupano molto spazio ma non hanno un peso particolarmente elevato risulta necessario ricorrere ad una costruzione del service rate adattandolo alle proprie necessità, in funzione di lead time, costi di stockout o altri parametri o KPI di proprio interesse.

Risulta invece meno interessante utilizzare il metodo con applicazione del CVaR per componenti con service rate medio-basso, potendo fare eventuali valutazioni ulteriori sull'utilizzo di modelli più esemplificati in modo da risparmiare risorse e tempistiche e valutare alternative più efficienti al calcolo di quantità ottimali.

Il modello come sottolineato è ancora in fase di sviluppo internamente all'azienda e alcune delle ipotesi e dei vincoli introdotti in questa analisi sono stati rilassati per poter valutare eventuali risvolti più complessi dietro a quelli presentati in questo elaborato.

In generale i risultati riportati in questo elaborato confermano la bontà dell'utilizzo della distribuzione discreta di Poisson per valutazioni tramite i modelli di Newsvendor anche quando la teoria suggerisce l'utilizzo di distribuzioni Normali che implicano la continuità di domanda. Il modello che viene presentato non presenta vincoli di capacità o quantità massime ordinabili.

Non tiene conto di sconti applicate ai prezzi né della gestione di lotti tramite minimum order quantity, senza contare che l'effettiva gestione duale aziendale è stata 'forzata' ad una gestione separata tra produzione e mercato di ricambi, cosa che nella realtà dei fatti ha implicazioni più interessanti da analizzare e potrebbe proporre spunti di rielaborazione del problema includendo tutte le dinamiche della doppia gestione.

Per quello che riguarda i risultati del modello, applicati alle famiglie di componenti critici e iper critici, troviamo dagli esempi portati un aumento generale dell'utilità finale del decisore rispetto a quella ottenuta con il comportamento e la decisione iniziale. Ulteriori discussioni e approfondimenti possono essere estesi ai metodi di variazione dei singoli parametri del problema nella realtà per poter spostare la decisionalità su diversi piani di avversione al rischio o diverse scelte finali in funzione dei parametri in analisi.

15 Indice delle figure

Figura 1.1 – Stabilimenti CNHi; Fonte: cnhindustrial.com

Figura 1.2 – CNHi Industrial Foundation – I principali Brand; Fonte: cnhindustrial.com

Figura 1.3 Distribuzione dei ricavi tra le varie Region; Fonte: CNH Industrial Corporate Presentation

Figura 4.3.1 ‘I 10 pilastri del WCM’; fonte: hbt.com

Figura 4.3.2 ‘Gli obiettivi Zero del WCM’; fonte: hbt.com

Figura 5.1 ‘Semiconductor Market Size’; fonte: Statista.com

Figura 5.2 ‘Automotive electronic cost’; fonte: Statista.com

Figura 5.3 ‘Semiconductor market size 19-24’; fonte: Statista.com

Figura 5.4 ‘Global semiconductor manufacturing by location’; fonte: Statista.com

Figura 5.5 ‘Industrie coinvolte nel mercato dei semiconduttori’; fonte: SIA, 2020

Figura 5.1.1 ‘Mappatura supply chain’; fonte: Fortunebusinessinsight.com

Figura 5.1.2 ‘Chip Production Model’; fonte: theeconomictimes.com

Figura 5.1.3 ‘Automotive MCU market share and dependency on TSMC’; fonte: IHS Markit, 2021

Figura 5.1.4 ‘Semiconductor OEM market share per country’; fonte: visualcapitalist.com

Figura 5.1.5 ‘Value Chain Activities’; fonte: bcg.com

Figura 5.1.6 ‘Leading issues’; fonte: statista.com

Figura 6.1 ‘global semiconductor revenue and yoy %’; fonte: sia.com

Figura 7.1 ‘Toyota YoY growth’; fonte: global.toyota.com

Figura 7.2.1 ‘Tier n supply distribution’; fonte: ricardo.com

Figura 8.1 ‘Andamento costi marginali’ ,fonte: *Cachon & Terwiesch, Matching Supply with Demand*

Figura 9.1 ‘Densità di probabilità Normale’, fonte: researchgate.net

Figura 9.2 ‘Densità di probabilità Normale’, fonte: researchgate.net

Figura 10.1 ‘Probability Stock per Service Rate’; fonte: researchgate.net

Figura 10.2 ‘Probability and Z value for Normal Distribution; fonte: abcsupplychain.com

Figura 10.3 ‘Required Service Level determination’; fonte: frepple.org

Grafico 12.1.1, 12.1.2, 12.1.3 ‘Grafico andamento Q in funzione di P’

Grafico 12.2.1, 12.2.2 'Grafico andamento Q in funzione di C'

Grafico 12.3.1 12.3.2 'Grafico andamento Q in funzione di R'

Grafico 12.4.1 12.4.2 'Grafico andamento Q in funzione di S'

Grafico 12.5.1 12.5.2 'Grafico andamento Q in funzione di α '

Grafico 12.6.1 'Grafico andamento Q in funzione di λ '

Grafico 12.7.1 'Grafico andamento Q in funzione di w'

Figura 13.1.1 'Components of Carrying Cost'; fonte: lokad.com

Figura 13.5.1 'Esempio individuazione di slow mover', fonte: *oraclenetsuite.com*

16 Indice delle tabelle

Tabella 4.2.1 ‘Just in Case e Just in Time’; fonte: pwc.com ‘suply chain issues’, 2019

Tabella 12.7.1 ‘Andamenti Derivate Parziali’

Tabella 13.2.1 ‘ Handling Costs’

Tabella 13.3.1 ‘ Direct Storage Cost’

Tabella 13.4.1 ‘ WACC per industry segment’; fonte: Cost of Equity and Capital (US), Jan 2022

Tabella 13.5.1 ‘ Depreciation Example’

Tabella 13.7.1 ‘ Service Rate Calculation’

Tabella 13.7.1 ‘ Service Rate per Construction’

Tabella 13.8.1.1 ‘Caratteristiche #1A’

Tabella 13.8.1.2 ‘Parametri del problema’

Tabella 13.8.1.3 ‘Valori di riferimento e calcolo dei parametri principali’

Tabella 13.8.1.4 ‘Spedizioni e Costi’

Tabella 13.8.1.5 ‘Utilità caso reale’

Tabella 13.8.1.6 ‘Calcolo con modello di Newsvendor’

Tabella 13.8.1.7 ‘Utilità con applicazione CVaR al Newsvendor model’

Tabella 13.8.2.1 ‘Caratteristiche #2A’

Tabella 13.8.2.2 ‘Parametri del problema’

Tabella 13.8.2.3 ‘Valori di riferimento e calcolo dei parametri principali’

Tabella 13.8.2.4 ‘Calcolo con modello di Newsvendor’

Tabella 13.8.2.5 ‘Utilità confrontata tra caso reale e CVaR’

Tabella 13.8.3.1 ‘Valori e definizione del #3A’

Tabella 13.8.3.2 ‘Domanda del #3A’

Tabella 13.8.2.3 ‘Calcolo con modello di Newsvendor e profitto’

Tabella 13.8.4.1 ‘Valori e definizione del #4A’

Tabella 13.8.4.2 ‘Domanda e parametri del #4A’

Tabella 13.8.4.3 ‘Calcolo con modello di Newsvendor e profitto’

Tabella 13.8.5.1 “Valori, definizione e domanda del #5A”

Tabella 13.8.5.2 “Calcolo con modello di Newsvendor”

Tabella 13.8.5.3 “Variazione dell'utilità”

17 Sitografia

- 1) "Stockout Cost Calculation" – NLPA 8 settembre 2010
<https://www.certitrek.com/nlpa/news/purchasing-articles/stockout-cost/>
- 2) 'The Single-Period Inventory Model with Spectral Risk Measures' - JOHANNES FICHTINGER
<https://www.jstor.org/stable/j.ctvc16nvg.5?seq=23>
- 3) Cost of Equity and Capital (US)
https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.html
- 4) "Types Of Inventory Costs", Somesh Misra, 2020
<https://www.deskera.com/blog/inventory-cost/>
- 5) Boston Consulting Group
www.bcg.com
- 6) "Safety Stock Formula & Calculation: 6 best methods", Inventory Management, Excel Supply Chain
<https://abcsupplychain.com/safety-stock-formula-calculation/>
- 7) Visual Capitalist
<https://www.visualcapitalist.com/>
- 8) ASE.
<https://ase.aseglobal.com/>
- 9) "Manulife Investment Management Holdings" (Canada)
<https://www.manulifeim.com/institutional/global/en/>
- 10) "Visualizing The Global Semiconductor Supply Chain, Omri Wallach", Published December 14. 2021
<https://www.visualcapitalist.com/visualizing-the-global-semiconductor-supply-chain/>
- 11) Toyota Broke Its Just-in-Time Rule Just in Time for the Chip Shortage, Anjani Trivedi, 16 febbraio 2021 <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2021-02-15/toyota-broke-its-just-in-time-rule-just-in-time-for-the-chip-shortage>
- 12) Toyota ditches signature 'just-in-time' to fight chip crunch, Nikkei staff writers, September 15, 2021 <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Toyota-ditches-signature-just-in-time-to-fight-chip-crunch>
- 13) What is World Class Manufacturing
<https://www.gzs.si/Portals/183/vsebine/dokumenti/Radovan%20Vitkovi%C4%87%20-%20World%20Class%20Manufacturing.pdf>
- 14) Toyota unfazed by chip shortage, forecasts rebound in profit, Eimi Yamamitsu, May 12, 2021 <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/toyota-q4-operating-profit-nearly-doubles-year-ago-2021-05-12/>
- 15) Semiconductor supplies hitting vehicle sales, Ernst & Young LLP EY Building a better working world
https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_in/news/2021/03/ey-semiconductor-supplies-hitting-vehicle-sales.pdf
- 16) Semiconductor Market Outlook, IEEE IRDS™
<https://irds.ieee.org/topics/semiconductor-market-outlook>
- 17) WSTS Semiconductor Market Forecast Fall 2021, World Semiconductor Trade Statistics (WSTS)
https://www.wsts.org/esraCMS/extension/media/f/WST/5263/WSTS_nr-2021_11.pdf
- 18) ASE Technology Holding Tops List of Semiconductors and Semiconductor Equipment Companies on the 2021 Dow Jones Sustainability Indices, Kaohsiung, Taiwan, November 15,

2021

https://ase.aseglobal.com/en/press_room/content/djsi-award2021-en

- 19) *5 Best Free Tools for Data Analysis and Visualization*, Tetiana, Jun 30, 2018
<https://codeburst.io/5-best-free-tools-for-data-analysis-and-visualization-f4c8017a5bc5>
- 20) *Semiconductor Market to Grow By 17.3% in 2021 and Reach Potential Overcapacity by 2023*, IDC Reports, SINGAPORE, September 20th, 2021
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prAP48247621>
- 21) *“Global semiconductor industry revenue growth from 1988 to 2022”*, Thomas Alsop, Apr 6, 2022
<https://www.statista.com/statistics/266976/forecast-revenue-growth-in-the-semiconductor-industry-worldwide/>
- 22) *“Whitepaper: Semiconductor Industry from 2015 to 2025”*, By Dr. Handel Jones, International Business Strategies (IBS)
<https://www.semi.org/en/semiconductor-industry-2015-2025>
- 23) *“WSTS Semiconductor Forecast Fall 2022 Publishing Date”*, The WSTS Semiconductor Forecast Fall 2022, 29 November 2022
<https://www.wsts.org/76/Recent-News-Release>
- 24) *“Semiconductors Market Size to Hit USD 808.5 Billion by 2030”*, GlobeNewswire, Tokyo, Nov. 24, 2021
<https://www.globenewswire.com/news-release/2021/11/24/2340848/0/en/Semiconductors-Market-Size-to-Hit-USD-808-5-Billion-by-2030.html>
- 25) *“Semiconductor Market Size, Share & COVID-19 Impact Analysis, By Component (Memory Devices, Logic Devices, Analog IC, MPU, Discrete Power Device, MCU, Sensors, and Others), By Application (Networking & Communications, Data Processing, Industrial, Consumer Electronics, Automotive, and Government), and Regional Forecast, 2022-2029”*, Fortune Business Insights
<https://www.fortunebusinessinsights.com/semiconductor-market-102365>
- 26) *“Global Semiconductor Sales Increase 24% Year-to-Year in October; Annual Sales Projected to Increase 26% in 2021, Exceed \$600 Billion in 2022”*, Semiconductor Industry Association, Dec 03, 2021
<https://www.semiconductors.org/global-semiconductor-sales-increase-24-year-to-year-in-october-annual-sales-projected-to-increase-26-in-2021-exceed-600-billion-in-2022/>
- 27) *“Impact of COVID-19 on the Semiconductor Industry and Three Can-Do’s to Bounce Back”*, Vivek Kangralkar, 11 May 2020
<https://www.cyient.com/blog/semiconductor/impact-of-covid-19-on-the-semiconductor-industry-and-three-can-dos-to-bounce-back>
- 28) *“How to compute a safety stock? The art and the science”*, FrePPLe
<https://frepple.com/blog/how-to-compute-a-safety-stock/>
- 29) *“Conditional Value at Risk (CVar): Definition, Uses, Formula”*, JAMES CHEN, Investopedia, March 13, 2020
https://www.investopedia.com/terms/c/conditional_value_at_risk.asp
- 30) *“Positioning Risks in Automotive Supply Chains”*, Ricardo, RiCK™, 01 June 2020
<https://ricardo.com/rick/automotive-research/positioning-risks-in-automotive-supply-chains>
- 31) *“Taylor e Ford Toyota WCM (World Class Manufacturing)”*, Luciano Pero Milano, 4 luglio
<https://docplayer.it/7480368-Taylor-e-ford-toyota-wcm-world-class-manufacturing.html>
- 32) *“Hedging Risks in the Loss-Averse Newsvendor Problem with Backlogging”*, Xiaoqing Liu, Felix T. S. Chan and Xinsheng Xu, 14 May 2019
<https://www.mdpi.com/2227-7390/7/5/429/htm>

- 33) “Conditional Value-at-Risk: Theory and Applications”, Jakob Kisiala, August 2015
<https://arxiv.org/pdf/1511.00140.pdf>
- 34) “Newsvendor problem under complete uncertainty: a case of innovative products”, Helena Gaspars-Wieloch PubMed Center, 2016 Oct 24
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5556468/>
- 35) “Heterogeneity, asymmetry and applicability of behavioral newsvendor models”, Werner Jammerneegg, Peter Kischka, Lena Silbermayr, *European Journal of Operational Research* Volume 301, Issue 2, 1 September 2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221721009607#tbl0001>
- 36) “A Risk-Averse Newsvendor Model under CVaR Decision Criterion”, Frank Y. Chen Minghui Xu, George Zhang, January 2009
- 37) “A Risk-Averse Newsvendor Model under Stochastic Market Price”, Haoran Zhang, *Hindawi*, 01 Sept 2021
<https://www.hindawi.com/journals/ddns/2021/9967359/>
- 38) “Augmented Lagrangian Approach to the Newsvendor Model with Component Commonality”, Abdelouahed Hamdi and Lotfi Tadj, *MDPI* (Basel, Switzerland), 24 May 2019
<https://www.mdpi.com/2297-8747/24/2/55/htm#FD11-mca-24-00055>
- 39) “Chapter 19 Inventory Theory”
<https://www.ime.unicamp.br/~andreani/MS515/capitulo12.pdf>
- 40) *lokad.com*
- 41) *Stockout Costs and Effects on the Supply Chain*, Gary Marion (Settembre 2022)
- 42) *Types Of Inventory Costs*, Somesh Misra, (2020)
- 43) Mary Lu Harding, C.P.M., CPIM, CIRM, "Calculating the total cost of ownership for items which are inventoried", NPMA, volume 14, numero 2, 2002

18 Articoli

- 1) T. Ohno, *“Lo spirito Toyota”*, Einaudi, (1993)
- 2) Fiat Group, *“WCM - Metodi e strumenti per il Fiat Auto Production System”* (2008)
- 3) L. Erlicher, *Turnaround e Cultura organizzativa*, in *Sviluppo e Organizzazione* n. 277. (2008)
- 4) *Impacts of the COVID-19 pandemic on EU industries – European Parliament* (PE 662.903), 2021
- 5) Mary Lu Harding, C.P.M., CPIM, CIRM, *“Calculating the total cost of ownership for items which are inventoried”*, NPMA, volume 14, numero 2, 2002.
- 6) Christopher S. Jones e Selale Tuzel, *“Inventory Investment and the Cost of Capital”*, Gennaio 2009, disponibile online. 3. Helen Richardson, *“Control your costs then cut them”*, *Transportation & Distribution*, Dicembre 1995, 94-96.
- 7) Edward A. Silver, David F. Pyke, Rein Peterson, *“Inventory Management and Production Planning and Scheduling”*, 3° edizione, John Wiley & Sons, 1998.
- 8) Stephen G. Timme e Christine Williams-Timme, *“The Real Cost of Holding Inventory”*, *Supply Chain Management Review*, 7/1/2003.
- 9) Xiaoqing Liu, T. S. Chan e Xinsheng Xu, *“Hedging Risks in the Loss-Averse Newsvendor Problem with Backlogging”*, *Mathematics* 2019.
- 10) Dmitry Ivanov, *“Uscire dalla pandemia di COVID-19: rischi di post-shock ed evitare code di interruzione nelle catene di approvvigionamento”*, *Annals of Operations Research* (2021), Disponibile al seguente sito:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-021-04047-7#Fig5>
- 11) Natapat Areerakulkan, *“Quadratic Approximation of the Newsvendor Problem with Imperfect Quality”*, *Journal of Reviews on Global Economics*, 2017, Vol. 6. Disponibile sul sito:
https://www.academia.edu/49370122/Quadratic_Approximation_of_the_Newsvendor_Problem_with_Imperfect_Quality
- 12) Ilkyeong Moon, Dong Kyoon Yoo and Subrata Saha *“The Distribution-Free Newsboy Problem with Multiple Discounts and Upgrades”*, *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2016. Disponibile sul sito:
<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2016/2017253/>
- 13) Professor Guillermo Gallego, *“IEOR 4000: Production Management”*, 6 April 1995. Disponibile sul sito: http://www.columbia.edu/~gmg2/4000/pdf/lect_07.pdf
- 14) Operational Research Society (Great Britain), *“The journal of the Operational Research Society”*, 1978 – Present. Disponibile sul sito: <https://marketplace.copyright.com/rs-ui-web/mp/search/journal/01605682>
- 15) Abdelouahed Hamdi, Lotfi Tadj, *“Augmented Lagrangian Approach to the Newsvendor Model with Component Commonality”*, 24 maggio 2019. Disponibile sul sito:
<https://www.mdpi.com/2297-8747/24/2/55/htm>
- 16) Johannes Fichtinger, *“The Single-Period Inventory Model with Spectral Risk Measures”*, 2011 Peter Lang AG. Disponibile sul sito:
https://www.jstor.org/stable/j.ctvc16nvg.5?seq=4#metadata_info_tab_contents
- 17) *The price-setting newsvendor with Poisson demand*, Benedikt Schulte, Anna-Lena Sachs - *European Journal of Operational Research* (Maggio 2020)
- 18) *‘Semiconductor average lead time breaks half-year barrier’*, *The Register*, D.Martin, (Aprile 2022)
- 19) Daniel Kahneman, Amos Tversky, *‘Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk’*, *Econometrica* (vol. 47, 1979, pp. 263-291).

19 Appendice

19.1 Codice Matlab

```
close all
format long

e=2.71828;
t=1000000;
fatt=1;

c=input('inserisci il valore del costo di acquisto c=');
p=input('inserisci il valore prezzo di vendita p='); %o
prezzo è 1+X% di C
s=input('inserisci il valore di shortage cost s=');
r=input('inserisci il valore di salvage cost r='); %o
percentuale sul costo
q=input('inserisci il valore di previsione della domanda
q='); %nb definire il metodo
y=input('inserisci il valore del livello di avversione al
rischio y=');
w=input('inserisci il valore del livello di backorder della
domanda in eccesso w=');
a=input('inserisci il valore del livello di confidenza
alfa=');

q_base=0; %quantit caso base con solo critical ratio modello
standard teorico
q_base_n=0;
q_penalty=0; %quantit del modello teorico con introduzione
del costo di penalty o shortage (s)
q_penalty_n=0;
q_ottimo=0; %quantit dell'ottimizzazione secondo massima
utilità con w ed y
q_ottimo_n=0;
q_treshold=0; %quantit di ottimizzazione con C-VaR
q_treshold_n=0;
M1=0;
N1=0;
p_cum=0;

cr=(p-c)/(p-r); % critical ratio modello teorico standard
cr_short=(p-c+s)/(p-r+s); % critical ratio modello teorico
con shortage o penalty cost
cr_max_utility=((1-w)*(p-c+y*s))/((1-w)*(p-c+y*s)+y*(c-r));
%'critical ratio' con max utilit
treshold=(w*(p-c))/(y*(1-w)); %soglia discriminante di valore
del salvage value
```



```

M=((1-a)*(1-w)*(p-c+y*s))/((1-w)*(p-c+y*s)+y*(c-r));
N=((1-a)*(1-w)*(p-c+y*s))/((1-w)*(p-c+y*s)+y*(c-r))+a; %N=M+a
var=0.2*q; %assunzione del 20% di varianza fisso per i
calcoli sugli andamenti generali, viene poi richiesto di
inserire in fase di definizione effettiva della varianza

for i=1:t
    fatt=fatt*i;
    if (p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q)))>=cr
        if q_base==0
            q_base=i;
        else
            break;
        end
    end
    p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end
q_base_n=norminv(cr,q,var);
fatt=1;
p_cum=0;
for i=1:t
    fatt=fatt*i;
    if (p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q)))>=cr_short
        if q_penalty==0
            q_penalty=i;
        else
            break;
        end
    end
    p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end
q_penalty_n=norminv(cr_short,q,var);
p_cum=0;
fatt=1;
for i=1:t
    fatt=fatt*i;
    if (p_cum+((q^i)/fatt)*e^((-q)))>=cr_max_utility
        if q_ottimo==0
            q_ottimo=i;
        else
            break;
        end
    end
    p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end
q_ottimo_n=norminv(cr_max_utility,q,var);
fatt=1;
p_cum=0;
for i=1:t

```

```

    fatt=fatt*i;
    if (p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q)))>=M
        if M1==0
            M1=i;
        else
            break;
        end
    end
    p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end
p_cum=0;
fatt=1;
for i=1:t
    fatt=fatt*i;
    if (p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q)))>=N
        if N1==0
            N1=i;
        else
            break;
        end
    end
    p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end
p_cum=0;
fatt=1;
x=((p-c+y*(c-r))*M1+(y*s*(1-w)-w*(p-c))*N1)/((1-w)*(p-
c+y*s)+y*(c-r));
for i=1:t
    fatt=fatt*i;
    if s<=treshhold
        if (p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q)))>=M
            if q_treshhold==0
                q_treshhold=i;
            else
                break;
            end
        end
    end
end
if s>treshhold
    if q_treshhold==0
        q_treshhold=x;
    end
end
p_cum=p_cum+((q^i)/fatt)*(e^(-q));
end

if s<=treshhold
    q_treshhold==M1;

```

```

else
    q_threshold=x;
end

M2=norminv(M,q,var);
N2=norminv(N,q,var);

if s>threshold
    q_threshold_n=((p-c+y*(c-r))*M2+(y*s*(1-w)-w*(p-
c))*N2)/((1-w)*(p-c+y*s)+y*(c-r));
else
    q_threshold_n=norminv(M,q,var);
end

disp('Q base con poisson');
disp(q_base);
disp('Q base con normale');
disp(q_base_e);
disp('Q penalty con poisson');
disp(q_penalty);
disp('Q penalty con normale');
disp(q_penalty_e);
disp('Q ottimo con poisson');
disp(q_ottimo);
disp('Q ottimo con normale');
disp(q_ottimo_e);
disp('Q threshold con poisson');
disp(q_threshold);
disp('Q threshold con normale');
disp(q_threshold_e);

```

19.2 Tabelle Numeriche

19.2.1 Riferimento grafico 12.1.1 “Grafico Andamento Q* in funzione di P”

Costo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
<i>c</i>	<i>s</i>	<i>r</i>	<i>q</i>	<i>var</i>	α	λ	<i>w</i>
5	4	3	100	20	0,05	5	0,2

Prezzo P	Qbase Poisson	Q base Normale	Qpenalty Poisson	Qpenalty Normale	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qthreshold Poisson	Qthreshold Normale
6	96	92	106	114	103	107	104	107
7	100	100	107	114	103	108	104	107
10	106	112	109	119	104	109	104	109

12	108	116	110	121	105	110	105	109
15	110	120	112	124	105	111	105	111
25	113	127	114	129	107	115	107	113
35	116	131	116	132	108	117	108	115

19.2.2 Riferimento grafico 12.2.1 “Grafico Andamento Q* in funzione di C”

Prezzo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
p	s	r	q	var	α	λ	w
6	2,5	2	100	20	0,05	5	0,2

Prezzo P	Qbase Poisson	Q base Normale	Qpenalty Poisson	Qpenalty Normale	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
2,5	112	124	114	129	110	120	110	119
3	107	113	110	121	105	112	106	111
3,5	103	107	107	115	103	106	103	106
4	100	100	105	111	101	102	101	102
5,5	97	94	103	106	99	99	100	99

19.2.3 Riferimento grafico 12.1.2 “Grafico andamento Q* in funzione di P con dettaglio inversione”

Costo	Shortage	Salvage	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	s	R	Q	var	α	λ	w
5	2	2	1000	200	0,5	2	0,5

p	qott P	qott N	qcvar P	qcvar N
7	994	964	982	881
7,5	996	974	981	877
8	997	984	980	873
8,5	999	992	980	869
9	1000	1000	979	865

19.2.4 Riferimento grafico 12.3.1 “Grafico Andamento Q* in funzione di R”

Costo	Shortage	Prezzp	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	s	p	q	var	α	λ	w
5	4	10	100	20	0,05	5	0,2

Salvage	Qbase Poisson	Q base Normale	Qpenalty Poisson	Qpenalty Normale	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
1	101	103	105	110	100	100	100	100
2	103	107	107	114	102	104	101	104
2,5	104	109	108	116	103	106	103	106
3	106	112	109	119	104	109	104	109
4	110	120	113	126	108	117	109	117

4,5	113	127	116	133	112	125	112	124
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

19.2.5 Riferimento grafico 12.4.1 “Grafico Andamento Q* in funzione di S”

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Livello Statistico	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	α	λ	w
5	3	10	100	20	0,05	5	0,2

Shortage R	Qbase Poisson	Q base Normale	Qpenalty Poisson	Qpenalty Normale	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
1	106	112	107	114	98	98	99	97
2	106	112	108	116	101	103	101	102
3	106	112	108	117	103	106	103	106
4	106	112	109	119	104	109	104	109
5	106	112	110	120	105	111	106	111
6	106	112	110	121	106	113	107	114
7	106	112	111	122	107	115	107	114
10	106	112	112	124	109	118	109	118
12	106	112	113	126	110	120	110	120
15	106	112	113	127	111	123	111	122

19.2.6 Riferimento grafico 12.5.1 “Grafico Andamento Q* in funzione di α ”

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	s	λ	w
5	4	10	100	20	3	5	0,2

Alfa α	Qbase Poisson	Q base Normale	Qpenalty Poisson	Qpenalty Normale	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
0,01	106	112	109	119	104	109	104	109
0,05	106	112	109	119	104	109	104	109
0,1	106	112	109	119	104	109	104	108
0,2	106	112	109	119	104	109	104	108
0,35	106	112	109	119	104	109	103	107
0,5	106	112	109	119	104	109	103	106

19.2.7 Riferimento grafico 12.6.2 “Grafico Andamento Q* in funzione di α con inversione di monotonìa”

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Avversione al Rischio	Backorder
c	r	p	q	var	s	λ	w
5	4	10	1000	200	6	2	0,1

Alfa	Qottimo	Qottimo	Qtreshold	Qtreshold
------	---------	---------	-----------	-----------

α	Poisson	Normale	Poisson	Normale
0,2	1036	1227	1033	1205
0,3	1036	1227	1032	1200
0,4	1036	1227	1031	1197
0,5	1036	1227	1031	1196
0,6	1036	1227	1032	1196
0,7	1036	1227	1032	1198
0,8	1036	1227	1033	1204

19.2.8 Riferimento grafico 12.7.1 “Grafico Andamento Q^* in funzione di w ”

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Avversione al Rischio	Livello Statistico
c	r	p	q	var	s	λ	α
5	4	10	1000	200	3	5	0,2

Backorder w	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
0,1	1016	1101	1014	1087
0,2	1013	1087	1011	1071
0,3	1011	1070	1009	1053
0,4	1008	1051	1005	1032
0,5	1004	1028	1001	1007
0,7	994	964	990	934

19.2.9 Riferimento grafico 12.6.1 “Grafico Andamento Q^* in funzione di λ ”

Costo	Salvage	Prezzo	Domanda	Varianza	Shortage	Backlog Rate	Livello Statistico
c	r	p	q	var	s	w	α
5	4	8	1000	100	6	0,4	0,5

Lambda	Qottimo Poisson	Qottimo Normale	Qtreshold Poisson	Qtreshold Normale
1	1032	1101	1014	1041
2	1029	1091	1020	1063
5	1026	1084	1025	1079
10	1026	1081	1027	1085
20	1025	1080	1028	1088

19.2.10 Tabella di riferimento di calcolo per i service level

PN	M unit stock-out cost	H unit carrying cost during LT	Service Rate per formula	Weight (KG)	Sq mt space
----	-----------------------	--------------------------------	--------------------------	-------------	-------------

1	72,68 €	3,91 €	97,73%	16,15	3,000
2	23,63 €	0,77 €	98,74%	5,25	1,696
3	35,25 €	9,07 €	82,55%	7,83333	2,073
4	53,28 €	2,49 €	98,08%	11,84	0,236
5	78,75 €	4,20 €	97,76%	17,5	0,517
6	72,00 €	9,76 €	92,91%	16	2,455
7	37,49 €	8,81 €	84,83%	8,33	2,645
8	67,50 €	8,14 €	93,90%	15	1,580
9	40,14 €	3,49 €	95,96%	8,92	2,094
10	86,25 €	3,58 €	98,33%	19,166	0,389
11	74,07 €	3,51 €	98,05%	16,46	1,719
12	72,00 €	5,58 €	96,49%	16	1,169
13	22,50 €	0,76 €	98,69%	5	0,011
14	145,35 €	13,84 €	95,47%	32,3	2,784
15	254,25 €	9,90 €	98,45%	56,5	2,513
16	20,45 €	2,49 €	93,82%	4,544	0,546
17	13,59 €	3,45 €	82,91%	3,02	1,354
18	36,00 €	1,45 €	98,39%	8	1,336
19	93,60 €	3,23 €	98,66%	10,4	2,436
20	0,52 €	1,95 €	#NUM!	0,115	2,813
21	0,68 €	4,34 €	#NUM!	0,151	1,655
22	29,25 €	1,43 €	97,97%	6,5	2,832
23	19,44 €	2,00 €	95,02%	4,32	0,786
24	12,47 €	2,03 €	90,94%	2,77	0,804
25	1.586,63 €	51,07 €	98,76%	352,585	1,081
26	9,45 €	1,90 €	87,95%	2,1	2,088
27	18,09 €	3,32 €	89,37%	4,02	1,825
28	54,00 €	10,97 €	87,73%	12	3,145
29	36,00 €	2,39 €	97,08%	8	2,970
30	20,48 €	1,26 €	97,35%	4,55	0,193
31	39,11 €	4,24 €	94,67%	8,69	0,950
32	1,13 €	0,44 €	59,74%	0,2501	3,138
33	418,73 €	20,13 €	98,02%	93,05	2,187
34	85,95 €	2,80 €	98,74%	19,1	0,299
35	67,73 €	2,74 €	98,38%	15,05	0,983
36	70,65 €	2,40 €	98,68%	15,7	0,053
37	69,75 €	7,98 €	94,30%	15,5	1,824
38	11,52 €	2,72 €	84,68%	2,56	2,848
39	209,25 €	11,76 €	97,61%	46,5	1,816
40	114,75 €	11,98 €	94,92%	25,5	2,226
41	157,95 €	6,67 €	98,30%	35,1	2,358
42	43,20 €	2,75 €	97,23%	9,6	2,457
43	40,05 €	2,68 €	97,06%	8,9	0,824
44	3,60 €	0,78 €	86,42%	0,8	1,074
45	103,50 €	5,48 €	97,78%	23	0,756
46	13,14 €	0,52 €	98,43%	2,92	0,867
47	4,05 €	3,29 €	#NUM!	0,9	0,874
48	5,22 €	2,89 €	#NUM!	1,16	2,774

49	10,63 €	2,01 €	88,89%	2,362	2,229
50	11,70 €	1,84 €	91,40%	2,6	1,620
51	8,46 €	0,31 €	98,55%	1,88	0,019
52	8,84 €	5,31 €	#NUM!	1,965	2,582
53	11,48 €	3,29 €	79,22%	2,55	1,778
54	1.586,63 €	51,55 €	98,74%	352,585	1,875
55	0,54 €	0,72 €	#NUM!	0,12	2,611
56	254,25 €	12,09 €	98,04%	56,5	1,808
57	504,00 €	8,30 €	99,42%	56	0,820
58	211,50 €	7,52 €	98,61%	47	0,755
59	247,50 €	10,91 €	98,21%	55	1,372
60	24,75 €	1,31 €	97,78%	5,5	2,045
61	9,41 €	1,09 €	94,18%	2,09	1,006
62	1.575,00 €	52,78 €	98,70%	350	0,690
63	1.453,50 €	46,54 €	98,77%	323	0,088
64	2.809,35 €	96,63 €	98,66%	624,3	2,885
65	3.708,23 €	118,26 €	98,77%	824,05	0,358
66	0,63 €	0,03 €	97,93%	0,14	0,897
67	39,38 €	8,27 €	87,14%	8,75	1,732
68	22,50 €	5,89 €	82,06%	5	2,335
69	1,19 €	0,71 €	#NUM!	0,264	0,584
70	20,88 €	8,92 €	#NUM!	4,64	2,745
71	10,31 €	1,45 €	92,59%	2,29	1,125
72	30,11 €	3,35 €	94,51%	6,69	1,645
73	19,22 €	2,68 €	92,65%	4,27	2,109
74	2,21 €	11,92 €	#NUM!	0,49	2,924
75	75,60 €	2,50 €	98,72%	16,8	0,082
76	75,74 €	2,77 €	98,56%	16,83	0,480
77	6,75 €	0,86 €	93,43%	1,5	0,848
78	0,81 €	0,05 €	97,06%	0,18	2,237
79	0,90 €	0,83 €	#NUM!	0,2	1,539
80	250,20 €	14,21 €	97,58%	55,6	2,573
81	6,75 €	0,46 €	97,01%	1,5	0,294
82	481,50 €	23,13 €	98,02%	107	2,927
83	221,63 €	11,92 €	97,74%	49,25	2,125
84	630,00 €	25,27 €	98,40%	140	3,075
85	1.035,00 €	44,50 €	98,26%	230	3,047
86	501,75 €	19,29 €	98,47%	111,5	1,011
87	515,70 €	21,09 €	98,36%	114,6	2,172
88	528,75 €	21,42 €	98,38%	117,5	2,198
89	483,75 €	15,80 €	98,74%	107,5	2,074
90	247,50 €	11,87 €	98,02%	55	2,229
91	168,75 €	14,44 €	96,03%	37,5	2,839
92	67,50 €	8,52 €	93,53%	15	2,340
93	2,23 €	0,24 €	94,69%	0,495	0,142
94	1.586,63 €	51,02 €	98,76%	352,585	0,999
95	2,07 €	1,04 €	#NUM!	0,46	1,323
96	157,50 €	7,15 €	98,15%	35	0,561

97	92,70 €	9,29 €	95,18%	20,6	2,633
98	117,00 €	5,70 €	97,99%	26	0,532
99	172,50 €	7,08 €	98,35%	38,33333	2,913
100	30,02 €	2,90 €	95,39%	6,67	0,683
101	11,93 €	1,27 €	94,80%	2,652	1,942
102	5,63 €	1,24 €	86,14%	1,25	2,985
103	1,80 €	0,76 €	#NUM!	0,4	3,071
104	0,95 €	4,45 €	#NUM!	0,21	2,195
105	37,94 €	1,27 €	98,70%	8,43	0,717
106	3,18 €	0,16 €	97,84%	0,707	0,127
107	3,38 €	0,30 €	95,83%	0,75	1,086
108	0,27 €	0,59 €	#NUM!	0,061	0,984
109	21,15 €	2,48 €	94,12%	4,7	0,979
110	4,91 €	1,15 €	84,85%	1,09	2,520
111	17,69 €	1,41 €	96,37%	3,93	0,265
112	22,28 €	5,02 €	85,75%	4,95	2,088
113	73,80 €	3,07 €	98,33%	16,4	1,348
114	171,00 €	11,28 €	97,11%	38	2,295
115	180,00 €	6,51 €	98,58%	40	0,311
116	26,69 €	1,33 €	97,93%	5,93	0,140
117	0,05 €	0,29 €	#NUM!	0,01	1,625
118	15,17 €	1,53 €	95,14%	3,37	0,452
119	3,33 €	1,16 €	69,96%	0,74	2,951
120	6,84 €	1,65 €	84,23%	1,52	0,960
121	7,20 €	1,03 €	92,44%	1,6	3,127
122	5,11 €	0,73 €	92,46%	1,135	2,213
123	3,15 €	0,99 €	75,42%	0,7	2,500
124	9,09 €	0,87 €	95,41%	2,02	1,643
125	6,03 €	0,64 €	94,85%	1,34	1,396
126	6,26 €	0,63 €	95,14%	1,39	0,807
127	2,97 €	0,10 €	98,65%	0,66	0,633
128	2,66 €	0,10 €	98,44%	0,59	1,522
129	6,84 €	3,64 €	#NUM!	1,52	1,303
130	9,00 €	0,80 €	95,88%	2	1,998
131	51,21 €	3,92 €	96,54%	11,38	2,683
132	31,95 €	7,53 €	84,76%	7,1	3,098
133	216,00 €	7,01 €	98,75%	48	1,673
134	360,00 €	14,90 €	98,34%	80	3,016
135	8,01 €	0,80 €	95,19%	1,78	1,587
136	4,73 €	3,52 €	#NUM!	1,05	2,905
137	4,10 €	0,59 €	92,25%	0,91	1,012
138	5,90 €	1,59 €	81,22%	1,312	0,874
139	108,00 €	7,03 €	97,15%	24	1,407
140	56,25 €	13,93 €	83,57%	12,5	3,064
141	45,77 €	4,07 €	95,84%	10,17	2,390
142	28,35 €	5,86 €	87,44%	6,3	1,473
143	18,00 €	1,32 €	96,71%	4	0,536
144	2,32 €	0,39 €	90,71%	0,515	1,112

145	4,50 €	1,07 €	84,48%	1	2,608
146	11,88 €	2,22 €	89,12%	2,64	0,656
147	11,03 €	0,50 €	98,14%	2,45	0,125
148	25,88 €	1,97 €	96,57%	5,75	0,525
149	18,90 €	5,13 €	80,97%	4,2	2,636
150	8,46 €	0,41 €	97,98%	1,88	0,207
151	12,11 €	0,55 €	98,14%	2,69	0,118
152	2,41 €	0,79 €	73,39%	0,535	1,932
153	21,60 €	0,69 €	98,76%	4,8	0,029
154	47,25 €	1,90 €	98,39%	10,5	0,518
155	26,19 €	5,35 €	87,64%	5,82	1,809
156	37,13 €	1,46 €	98,43%	8,25	1,151
157	35,46 €	7,84 €	86,13%	7,88	1,734
158	35,37 €	2,07 €	97,49%	7,86	0,247
159	1,80 €	1,13 €	#NUM!	0,4	1,205
160	11,25 €	5,19 €	#NUM!	2,5	3,159
161	10,49 €	3,04 €	78,82%	2,33	1,474
162	3,42 €	0,29 €	96,14%	0,76	1,073
163	15,75 €	7,53 €	#NUM!	3,5	2,746
164	47,70 €	8,07 €	90,49%	10,6	2,328
165	8,33 €	1,30 €	91,50%	1,85	0,658
166	1,62 €	1,43 €	#NUM!	0,36	3,097
167	1,08 €	4,52 €	#NUM!	0,24	2,160
168	1.586,63 €	50,64 €	98,77%	352,585	0,369
169	1.586,63 €	52,09 €	98,73%	352,585	2,759
170	1.586,63 €	51,93 €	98,73%	352,585	2,495

19.2.11 Tabella di dettaglio per conteggio di shortage impact tra componenti presi in considerazione da 'Tabella di riferimento di calcolo per i service level'

PN	Service Rate per formula	Shortage Impact Mio€	JS/MAJ/MIN REWO
57	99,55%	0,01	JOBS
153	99,22%	0,40	MAJ
105	99,18%	0,02	MAJ
62	99,18%	1,05	MAJ
86	99,04%	1,90	MAJ
156	99,02%	0,07	MAJ
46	99,02%	0,04	MAJ
84	99,00%	0,60	MAJ
154	98,99%	0,60	MAJ
88	98,98%	0,23	MAJ
19	98,96%	0,18	JOBS
134	98,96%	1,60	MAJ
85	98,91%	0,30	MAJ
59	98,88%	0,07	MAJ
151	98,84%	0,02	MAJ
4	98,80%	0,09	MAJ
11	98,78%	1,76	MAJ

65	98,77%	1,01	MIN
168	98,77%	0,07	MIN
90	98,77%	0,14	MAJ
63	98,77%	0,93	MIN
82	98,77%	1,00	MAJ
94	98,76%	0,12	MIN
25	98,76%	0,21	MIN
133	98,75%	1,03	MIN
54	98,74%	0,32	MIN
34	98,74%	0,06	MIN
150	98,74%	0,34	MAJ
89	98,74%	1,21	MIN
2	98,74%	0,07	MIN
170	98,73%	1,34	MIN
169	98,73%	0,50	MIN
75	98,72%	0,02	MIN
13	98,69%	0,01	MIN
36	98,68%	0,34	MIN
64	98,66%	1,00	MIN
127	98,65%	0,01	MIN
45	98,62%	1,00	MAJ
58	98,61%	0,25	MIN
83	98,59%	0,80	MAJ
115	98,58%	0,55	MIN
76	98,56%	0,31	MIN
51	98,55%	1,11	MIN
80	98,50%	1,00	MAJ
15	98,45%	0,80	MIN
128	98,44%	0,64	MIN
18	98,39%	1,05	MIN
35	98,38%	2,60	MIN
87	98,36%	0,05	MIN
99	98,35%	0,72	MIN
10	98,33%	0,06	MIN
113	98,33%	0,77	MIN
41	98,30%	0,03	MIN
29	98,20%	0,45	MAJ
78	98,18%	1,00	MAJ
81	98,15%	0,74	MAJ
96	98,15%	1,66	MIN
147	98,14%	1,00	MIN
56	98,04%	0,05	MIN
33	98,02%	0,88	MIN

Tot Comp	Media Service Rate	Tot Mio€
60	98,67%	36,18

19.3 Dimostrazione passaggi dell'articolo

Definiamo una funzione ausiliaria così come presentato nel metodo CVaR, capitolo 9.

$$\begin{aligned}
 h(q, v) &= v - \frac{1}{1-\alpha} E[v - U(q)]^+ \\
 &= v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^{+\infty} [v - (1-w)(p-c+\lambda s)q - (w(p-c) - \lambda s(1-w))t \\
 &\quad + ((1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r))(q-t)^+]^+ dF(t) \\
 &= v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^q [v + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t]^+ dF(t) \\
 &\quad - \frac{1}{1-\alpha} \int_q^{+\infty} [v - (1-w)(p-c+\lambda s)q + (\lambda s(1-w) - w(p-c))t]^+ dF(t).
 \end{aligned}$$

Con il risultato di Rockafellar e Uryasev, $h(q, v)$ è congiuntamente concava (q, v) a $U(q)$ è concava in q . Dal risultato trovato segue che la quantità d'ordine ottimale per massimizzare il CVaR dell'utilità è uguale alla soluzione ottimale del seguente problema:

$$\max_{q \geq 0} [\max_{v \in R} h(q, v)].$$

Distinguiamo quindi i seguenti casi:

(i) $\lambda s(1-w) - w(p-c) > 0$, questo è $s > \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}$. Per questo caso, per ogni fissato q , consideriamo i seguenti tre casi:

Caso 1. $v \leq -\lambda(c-r)q$.

In questo caso, dell'equazione di ottimizzazione iniziale segue che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1-\alpha} \int \frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} [v - (1-w)(p-c+\lambda s)q + (\lambda s(1-w) - w(p-c))t] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v)$ rispetto a v è dato come

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 - F\left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{\lambda s(1-w) - w(p-c)}\right) \right].$$

Ovviamente esiste una v sufficientemente piccola $(F\left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{\lambda s(1-w) - w(p-c)}\right) \geq \alpha)$

tale che

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \geq 0.$$

Se soddisfa la condizione,

$$\left. \frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \right|_{v=-\lambda(c-r)q} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 - F \left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q + \lambda(c-r)q}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} \right) \right] \leq 0,$$

questo è $q \leq \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c)) F^{-1}(\alpha)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)},$

segue con l'equazione la soluzione ottimale v^* che risolve il problema: $\max_{v \in R} h(q, v)$

ponendo quindi:

$$1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 - F \left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v^*}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} \right) \right] = 0.$$

Implica che

$$v^* = (1-w)(p-c+\lambda s)q - (\lambda s(1-w) - w(p-c)) F^{-1}(\alpha).$$

Caso 2. $-\lambda(c-r)q \leq v \leq (p-c)q.$

In questo caso, dell'equazione segue che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^{\frac{v + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}} \frac{v + \lambda(c-r)q}{[v + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t]} dF(t) \quad \text{sviluppato,}$$

$$- \frac{1}{1-\alpha} \int_{\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{\lambda s(1-w) - w(p-c)}}^{+\infty} \frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{[v - (1-w)(p-c+\lambda s)q + (\lambda s(1-w) - w(p-c))t]} dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v)$ rispetto a v è data come:

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 + F \left(\frac{v + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)} \right) - F \left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q - v}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} \right) \right].$$

Che ovviamente soddisfa la condizione di concavità:

$$\left. \frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \right|_{v=(p-c)q} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} < 0.$$

Se soddisfa anche:

$$\left. \frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \right|_{v=-\lambda(c-r)q} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 - F \left(\frac{(1-w)(p-c+\lambda s)q + \lambda(c-r)q}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} \right) \right] \geq 0,$$

$$q \geq \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c)) F^{-1}(\alpha)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)},$$

questo è

segue all'equazione precedente e della condizione del primo $\max_{v \in R} h(q, v)$ ordine che la soluzione ottimale v^* risolve il problema

$$1 - \frac{1}{1-\alpha} \left[1 + F \left(\frac{v^* + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)} \right) - F \left(\frac{(1-w)(p-c + \lambda s)q - v^*}{\lambda s(1-w) - w(p-c)} \right) \right] = 0.$$

Caso 3. $v \geq (p-c)q$.

In questo caso, si ha dall'equazione iniziale come nel caso 1 che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^q [v + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t] dF(t) \\ - \frac{1}{1-\alpha} \int_q^{+\infty} [v - (1-w)(p-c + \lambda s)q - (w(p-c) - \lambda s(1-w))t] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v)$ rispetto a v è data come

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} \leq 0.$$

Sulla base dell'analisi di cui sopra, è chiaro che, per ogni fissato q , la soluzione ottimale v^* al problema $\max_{v \in R} h(q, v)$ è dato da

$$v^* = \begin{cases} (1-w)(p-c + \lambda s)q - (\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha) & q \leq \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha)}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}, \\ v^1 & q > \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha)}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}. \end{cases}$$

Dove v^1 risolve l'equazione.

Per risolvere il problema $\max_{q \geq 0} [\max_{v \in R} h(q, v)] = \max_{q \geq 0} h(q, v^*)$ si fa la distinzione tra due diversi casi:

$$(a) \quad q \leq \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha)}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}.$$

In questo caso, dall'equazione segue che

$$v^* = (1-w)(p-c + \lambda s)q - (\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha).$$

E sostituendo la soluzione appena trovata,

$$h(q, v^*) = (1-w)(p-c + \lambda s)q - (\lambda s(1-w) - w(p-c))F^{-1}(\alpha)$$

$$-\frac{1}{1-\alpha} \int_{F^{-1}(\alpha)}^{+\infty} [(\lambda s(1-w) - w(p-c))(t - F^{-1}(\alpha))] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v^*)$ rispetto a q è dato come

$$(b) \quad q > \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c))}{(1-w)(p-c) + \lambda s} \quad \frac{\partial h(q, v^*)}{\partial q} = (1-w)(p-c + \lambda s) > 0.$$

In questo caso segue che $v^* = v^1$ soddisfa

$$F\left(\frac{(1-w)(p-c + \lambda s)q - v^1}{\lambda s(1-w) - w(p-c)}\right) - F\left(\frac{v^1 + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}\right) = \alpha.$$

Segue dall'equazione che

$$h(q, v^1) = v^1 - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^{\frac{v^1 + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}} [v^1 + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t] dF(t)$$

$$- \frac{1}{1-\alpha} \int_{\frac{\lambda s(1-w) - w(p-c)}{(1-w)(p-c + \lambda s)q - v^1}}^{+\infty} [v^1 - (1-w)(p-c + \lambda s)q - (w(p-c) - \lambda s(1-w))t] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v^1)$ rispetto a q è dato come

$$\begin{aligned} \frac{\partial h(q, v^1)}{\partial q} = & -\frac{1}{1-\alpha} \left[\lambda(c-r) F\left(\frac{v^1 + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}\right) \right. \\ & \left. + (1-w)(p-c + \lambda s) \left(F\left(\frac{(1-w)(p-c + \lambda s)q - v^1}{\lambda s(1-w) - w(p-c)}\right) - 1 \right) \right]. \end{aligned}$$

Quindi, dall'equazione e dalla condizione del primo ordine segue che la soluzione ottimale q^α risolve il problema $\max_{q \geq 0} h(q, v^*)$

Quindi, dalle segue che la soluzione ottimale al problema $q^\alpha = \max_{q \geq 0} h(q, v^*)$ è dato come

$$(ii) \quad \lambda s(1-w) - \frac{(p-c + \lambda(c-r)) F^{-1}\left[\frac{(1-\alpha)(1-w)(p-c + \lambda s)}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}\right]}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)} + \frac{(\lambda s(1-w) - w(p-c)) F^{-1}\left[\frac{(1-\alpha)(1-w)(p-c + \lambda s)}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}\right] + \alpha}{(1-w)(p-c + \lambda s) + \lambda(c-r)}.$$

Per questo caso segue l'equazione che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^q [v + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t]^+ dF(t) - \frac{1}{1-\alpha} \int_q^{+\infty} [v - (p-c)q]^+ dF(t).$$

Per ogni q fissato, consideriamo i seguenti due casi:

Caso 1. $v \leq (p-c)q$.

In questo caso, segue che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1-\alpha} \int_0^{\frac{v + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}} [v + \lambda(c-r)q - (p-c + \lambda(c-r))t] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v)$ rispetto a v è dato come

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} F\left[\frac{v + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}\right].$$

Se soddisfa

$$\left. \frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \right|_{v=(p-c)q} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} F(q) \leq 0,$$

questo è $q \geq F^{-1}(1-\alpha)$, segue dall'equazione precedente e dalla condizione del primo ordine che la

soluzione ottimale v^* risolve il problema $\max_{v \in R} h(q, v)$

$$1 - \frac{1}{1-\alpha} F\left[\frac{v^* + \lambda(c-r)q}{p-c + \lambda(c-r)}\right] = 0,$$

il che implica

$$v^* = (p-c + \lambda(c-r)) F^{-1}(1-\alpha) - \lambda(c-r)q.$$

se soddisfa

$$\left. \frac{\partial h(q, v)}{\partial v} \right|_{v=(p-c)q} = 1 - \frac{1}{1-\alpha} F(q) \geq 0,$$

questo è valido per ,

$$q \leq F^{-1}(1-\alpha),$$

segue dall'equazione post ottimizzazione, $\max_{v \in R} h(q, v)$ che la soluzione ottimale v^* al problema è dato come

$$v^* = (p-c)q.$$

Caso 2. $v \geq (p - c)q$.

In questo caso, dall'equazione (26) segue che

$$h(q, v) = v - \frac{1}{1 - \alpha} \int_0^q [v + \lambda(c - r)q - (p - c + \lambda(c - r))t] dF(t) - \frac{1}{1 - \alpha} \int_q^{+\infty} [v - (p - c)q] dF(t),$$

e la prima derivata di $h(q, v)$ rispetto a v dato come

$$\frac{\partial h(q, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{1 - \alpha} < 0.$$

Sulla base dell'analisi di cui sopra, è chiaro che, per ogni fissato q , la soluzione ottimale v^* al problema $\max_{v \in R} h(q, v)$ è data da

$$v^* = \begin{cases} (p - c + \lambda(c - r))F^{-1}(1 - \alpha) - \lambda(c - r)q & q > F^{-1}(1 - \alpha), \\ (p - c)q & q \leq F^{-1}(1 - \alpha). \end{cases}$$

Per risolvere il problema $\max_{q \geq 0} [\max_{v \in R} h(q, v)] = \max_{q \geq 0} h(q, v^*)$, si fa la distinzione tra due diversi casi:

(a) $q > F^{-1}(1 - \alpha)$.

In questo caso, impostando la condizione di ottimizzazione, segue

$$v^* = (p - c + \lambda(c - r))F^{-1}(1 - \alpha) - \lambda(c - r)q.$$

Segue dall'equazione precedente che

$$h(q, v^*) = (p - c + \lambda(c - r))F^{-1}(1 - \alpha) - \lambda(c - r)q$$

e la

che

$$-\frac{1}{1 - \alpha} \int_0^{F^{-1}(1 - \alpha)} [(p - c + \lambda(c - r))(F^{-1}(1 - \alpha) - t)] dF(t),$$

$$\frac{\partial h(q, v^*)}{\partial q} = -\lambda(c - r) \leq 0.$$

prima derivata di rispetto a q è dato

(b) $q \leq F^{-1}(1 - \alpha)$.

In questo caso, dall'equazione di ottimizzazione di v segue che

$$v^* = (p - c)q.$$

Includendo la soluzione ottimale nella formulazione di h e la prima derivata di rispetto a q è dato come

$$h(q, v^*) = (p - c)q - \frac{1}{1 - \alpha} \int_0^q ((p - c) + \lambda(c - r))(q - t) dF(t),$$

$$\frac{\partial h(q, v^*)}{\partial q} = (p - c) - \frac{1}{1 - \alpha} ((p - c + \lambda(c - r))F(q)).$$

Dal momento che soddisfa

$$\frac{\partial h(q, v^*)}{\partial q} \Big|_{q=F^{-1}(1-\alpha)} = -\lambda(c-r) \leq 0,$$

segue dall'equazione che la soluzione ottimale al q^α problema $\max_{q \geq 0} h(q, v^*)$ soddisfa

$$q^\alpha = F^{-1} \left[\frac{(1-\alpha)(p-c)}{p-c+\lambda(c-r)} \right].$$

Ne consegue che da $\lambda s(1-w) - w(p-c) = 0$ si ottiene

$$q^\alpha = F^{-1} \left[\frac{(1-\alpha)(1-w)(p-c+\lambda s)}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} \right].$$

(iii) $\lambda s(1-w) - w(p-c) < 0$, questo è $s < \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}$. La dimostrazione per questo caso è simile a quella di Xu e Li.

Dall'analisi nei casi (i), (ii) e (iii), abbiamo

$$q^\alpha = \begin{cases} M & s \leq \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}, \\ \frac{(p-c+\lambda(c-r))M + (\lambda s(1-w) - w(p-c))N}{(1-w)(p-c+\lambda s) + \lambda(c-r)} & s > \frac{w(p-c)}{\lambda(1-w)}. \end{cases}$$

Questo completa la dimostrazione.