



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di laurea magistrale in Ingegneria Gestionale Magistrale

Tesi di Laurea

Gestione della complessità nelle reti di imprese

Relatore

Ch. Mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Carlo Uderzo

Anno accademico 2021/2022

Sommario

I concetti di supply chain e supply chain management hanno acquisito sempre maggiore importanza nel management contemporaneo. Ogni azienda è all'interno di una rete di imprese con la quale collabora e contribuisce direttamente o indirettamente alla possibilità che abbiamo tutti i giorni di usufruire di beni o servizi. Il supply chain management punta alla gestione efficiente della rete tramite il coordinamento di tutti i processi che la caratterizzano. Tuttavia, una supply chain è costituita da molte parti che interagiscono in maniera non lineare e dinamica ed è caratterizzata da una complessità intrinseca elevata e non trascurabile che influisce sulle performance aziendali. Oltre alla complessità legata alla struttura, all'organizzazione e all'ingente numero di flussi caratterizzanti la rete, fattori legati all'incertezza dell'ambiente competitivo e ad aspetti come la globalizzazione, l'accorciamento del ciclo di vita dei prodotti, l'accrescimento delle aspettative dei clienti e il rapido avanzamento tecnologico rendono più difficile la gestione dell'impresa; per tale motivo è anche verso questo aspetto che studiosi e manager hanno posto l'attenzione. Infatti, la letteratura sulla complessità della supply chain si è arricchita molto negli ultimi decenni, nella quale il concetto di complessità è analizzato sotto molte prospettive. Una parte degli studiosi si è focalizzato sulla misurazione quantitativa della complessità utilizzando diverse metodologie, mentre altri si sono interrogati su come si estrinseca e quali sono gli effetti che ha sulle performance aziendali attraverso degli studi qualitativi. Alcuni si sono focalizzati sull'analisi e l'identificazione dei driver che l'alimentano, mentre altri hanno sviluppato e proposto dei modelli per descriverla e indagato quali sono le strategie e le pratiche che vengono adoperate per fronteggiarla. Per un'efficace gestione della rete e dei processi decisionali è necessario che i manager agiscano deliberatamente per gestire la complessità e gli effetti che ne derivano, integrando negli aspetti operativi l'analisi e lo studio dei driver che la generano e come essi interagiscono. In questa tesi viene analizzata in modo analitico la letteratura scientifica a disposizione fino ad oggi provando a dare una panoramica esaustiva sugli aspetti sopra citati; inoltre, nell'ultimo capitolo vengono applicate ad un caso studio alcune delle metodologie per la misurazione della complessità statica del prodotto, del processo produttivo e della supply chain.

Indice

<u>Introduzione</u>	1
<u>Capitolo 1: Supply chain network</u>	5
1.1 Definizione di supply chain network	5
1.2 Supply chain management	10
1.3 Diffusione del supply chain management	15
<u>Capitolo 2: Complessità</u>	19
2.1 Definizione di complessità	19
2.2 Complessità di una supply chain	24
2.2.1 Articoli correlati e analisi della letteratura	31
2.2.1.1 Studi quantitativi basati sull'entropia	33
2.2.1.2 Studi legati alla complessità del prodotto	49
2.2.1.3 Studi esplorativi	53
2.2.1.4 Supply chain come CAS	55
<u>Capitolo 3: Driver della complessità</u>	61
3.1 Identificazione e classificazione dei driver	61
3.1.1 Driver statici	65
3.1.2 Driver dinamici	67
3.1.3 Driver ambientali	69
3.2 Analisi e prioritizzazione dei driver	69
<u>Capitolo 4: Gestire la complessità</u>	77
4.1 Introduzione: modello per l'analisi e la gestione della complessità	77
4.2 Strumenti per la gestione della complessità	79

Capitolo 5: Misurazione della complessità	97	
5.1	Introduzione: descrizione dell'azienda	97
5.1.1	Flussi di materiali e prodotti	98
5.1.2	Supply chain	99
5.2	Misurazione dei diversi aspetti della complessità	101
5.2.1	Misurazione della complessità del prodotto	101
5.2.2	Misurazione della complessità del processo produttivo	103
5.2.3	Misurazione della complessità della supply chain	106
Conclusioni	111	
Appendice	115	
Bibliografia	147	
Sitografia	155	

Introduzione

Ogni azienda è all'interno di un network composto da molte entità che contribuiscono ad aggiungere valore al prodotto finito e/o al servizio; esso è caratterizzato da molte interazioni che lo rendono complesso e non facilmente gestibile e ciò mette la singola azienda e l'intera rete davanti a molte sfide. La complessità può essere studiata secondo diverse prospettive, nelle quali tra le più comuni è presente quella relativa al livello della supply chain che si prende in considerazione nell'analisi, ovvero il network upstream o downstream e la complessità interna. La complessità derivante dall'esterno può essere per l'appunto associata sia al network a monte che al network a valle dell'impresa e nasce dalla molteplicità e dalla diversa natura delle relazioni che l'impresa intrattiene con l'esterno; quest'ultime non sono lineari, ma variano con la struttura dell'ambiente e la tipologia di relazione. In aggiunta al numero di relazioni, è anche necessario considerare l'incertezza che plasma l'ambiente in cui un'impresa è inserita, che può essere causata da svariati fattori, tra i quali la globalizzazione, il comportamento dei concorrenti, l'evoluzione e il cambiamento delle esigenze dei consumatori, nuove regolamentazioni governative e leggi e le innovazioni tecnologiche. Oltre alla complessità esterna, le aziende sono anche caratterizzate da una complessità interna, i quali aspetti che la caratterizzano variano in base al caso aziendale specifico, ma che a livello generale possono essere ricondotti al processo produttivo, all'organizzazione aziendale e all'offerta in termini di numero e varietà di prodotti e servizi che l'azienda offre e i relativi componenti. Questi e altri fattori rendono complessa la supply chain, che di conseguenza ha dei comportamenti difficilmente prevedibili e controllabili, con i quali i manager hanno a che fare quotidianamente. Oltre alla complessità interna ed esterna, le tipologie di complessità che più spesso vengono analizzate sono quella dinamica e statica. La prima fa riferimento alla struttura dell'impresa o della supply chain, mentre quella dinamica è relativa alle interazioni tra i componenti della supply chain e misura lo scostamento del sistema dal pianificato dovuto all'incertezza caratterizzante il sistema in cui è inserita. Numerosi studiosi citati successivamente in questa tesi (ad esempio Bozarth et al.,

2009)¹ sostengono che la gestione della complessità porta ad un incremento delle performance aziendali e che l'avanzamento sulla teoria delle supply chain non può prescindere dallo studio della complessità che le caratterizza; alcuni di loro (ad esempio Serdarasan, 2013)² pensano che l'integrazione della gestione della complessità nel supply chain management stia diventando un'azione necessaria mentre altri (Bode e Wagner, 2015)³ la considerano uno dei problemi più pressanti per le supply chain contemporanee. Nonostante queste considerazioni e tutti gli articoli in merito che sono stati fino ad ora pubblicati, non esistono ancora delle terminologie e delle concettualizzazioni comuni relative alla complessità della supply chain, né tanto meno esistono delle metodologie comunemente adottate per la sua misura all'interno della singola impresa o della supply chain. Inoltre, gli studi che esistono fino ad oggi non hanno mai preso in considerazione tutti gli aspetti legati alla complessità ma solo alcuni di essi (ad esempio solamente la complessità statica o dinamica oppure la complessità interna o esterna) e spesso si focalizzano solamente su pochi aspetti delle performance (come, ad esempio, le delivery performance oppure le performance del processo produttivo). Anche le strategie di ricerca e studio della complessità utilizzate variano molto in letteratura, tra cui si possono citare review qualitative (Serdarasan, 2013)⁴, studi empirici (definiti anche esplorativi) in cui viene testato il legame tra complessità e le performance (ad esempio Milgate, 2001)⁵, casi studio su particolari settori (ad esempio de Leeuw et al., 2013)⁶ e applicazioni numeriche (ad esempio Sivadasan et al., 2002)⁷. Nonostante

¹ Bozarth C., Warsing D., Flynn B., 2009, The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance, *Journal of Operations Management*, vol. 27 No. 1, pp. 78-93.

² Serdarasan S., 2013, A review of supply chain complexity drivers, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 66, pp. 533-540.

³ Bode C., Wagner S. M., 2015, Structural drivers of upstream supply chain complexity and the frequency of supply chain disruptions, *Journal of Operations Management*, vol. 36, pp. 215-228.

⁴ *Ibidem*

⁵ Milgate M, 2001, Supply chain complexity and delivery performance: an international exploratory study, *Supply Chain Management: An International Journal Volume*, Vol. 6, No. 3, pp. 106-118

⁶ de Leeuw S., Grotenhuis R. van Goor A. R., 2013, Assessing complexity of supply chains: evidence from wholesalers. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 33, no. 8, pp. 960-980.

⁷ Sivadasan et al., 2002, An information-Theoretic Methodology for Measuring the Operational Complexity of Supplier-Customer Systems, *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22, No.1, pp. 80-102

questi studi ci forniscono diverse prospettive e ci permettono di approfondire la conoscenza relativa alle supply chain e alla loro complessità, non è ancora possibile avere una visione olistica dell'argomento.

Il lavoro di tesi è strutturato in cinque capitoli.

Nel primo capitolo vengono descritti i concetti di supply chain e supply chain management con lo scopo di definire il contesto di riferimento per i capitoli successivi; in particolare vengono descritte le attività principali che caratterizzano la gestione della rete d'impresa e le motivazioni che hanno spinto studiosi e manager ad avere un crescente interesse per questi argomenti e che li hanno resi così importanti sia a livello teorico che applicativo. Il secondo capitolo sarà dedicato al concetto di complessità, prima con un'accezione generale, poi in maniera più specifica in relazione alla supply chain; a questo proposito si cercherà di riassumere tutte le differenti prospettive proposte in letteratura da studiosi ed accademici per lo studio della complessità nell'azienda e nella supply chain attraverso la categorizzazione e l'analisi dei diversi articoli presenti in letteratura scientifica. In particolare, gli articoli verranno classificati in: articoli basati sul concetto di entropia per il calcolo quantitativo della complessità statica e dinamica, sia a livello di processo produttivo che di supply chain, articoli che propongono delle formule per il calcolo della complessità del prodotto, articoli che studiano la complessità in relazione alle performance dell'azienda e/o della supply chain e articoli a carattere teorico basati sul concetto di CAS. In letteratura esistono altre metodologie per il calcolo quantitativo della complessità, oltre a quelle entropiche (come l'applicazione di DEMATEL o dell'approccio System Dynamics), che non verranno trattate in questo lavoro di tesi. Il terzo capitolo analizzerà le cause generanti la complessità in una supply chain, identificando ventidue driver che successivamente verranno classificati considerando le diverse tipologie di complessità descritte nel secondo capitolo; nell'ultima parte del capitolo si discuteranno le tecniche utilizzate per l'analisi e la prioritizzazione dei driver. Nella prima parte del quarto capitolo verrà proposto un modello per l'analisi e la gestione della complessità, per poi andare a descrivere i principali strumenti e metodologie identificate dagli autori nella letteratura scientifica per la sua gestione. Nel quinto ed ultimo capitolo verrà analizzata la complessità statica di un'azienda che opera come terzista nel campo dei fast-moving consumer goods (FMCG) ed operante nel territorio del vicentino, mediante l'applicazione di alcune delle tecniche per la misurazione della complessità

descritte nel secondo capitolo. Nel dettaglio, si proverà a misurare la complessità relativa ai prodotti, alla supply chain e al processo produttivo dell'impresa.

Capitolo 1

Supply chain network

Al fine di studiare la complessità di una supply chain è prima necessario fare un'introduzione sui concetti fondamentali di supply chain e supply chain management. Questo primo capitolo fornisce una panoramica introduttiva sul concetto di supply chain, attraverso alcune definizioni e rappresentazioni che sono state proposte; inoltre, vengono descritti i principi base su cui si fonda il supply chain management e i fattori che hanno portato le imprese e gli studiosi ad un cambio di prospettiva rispetto al passato e che hanno spostato il focus dalla gestione dell'organizzazione interna alla gestione dei processi nella supply chain. Le numerose definizioni e studi fatti sull'argomento evidenziano l'importanza che questi concetti rappresentano nella gestione d'impresa attuale.

1.1 Definizione di supply chain network

Esaminando la letteratura scientifica, sono molti gli studiosi che negli ultimi decenni hanno fornito una definizione di supply chain. Quest'ultima ha acquisito sempre maggiore importanza dagli anni '80, quando le imprese capirono i benefici, ma anche la necessità, di collaborare con altre aziende. In un loro articolo del 1994⁸ Londe, Bernard e Masters definiscono una supply chain come un insieme di aziende di diversa natura che passano materiale "in avanti", mentre nel 1995 Cox, Blackstone e Spencer⁹ la descrivono come l'insieme delle funzioni interne ed esterne di un'impresa che permettono alla catena di imprese di creare e fornire beni e servizi. Il Supply Chain Council utilizza invece la seguente definizione: Supply chain, un termine sempre più utilizzato, incorpora ogni sforzo di produzione e consegna di

⁸ Londe L., Bernard J., Masters J. M., 1994, Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the next century, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, pp. 35-47.

⁹ Cox J., Blackstone J., Spencer M., 1995, APICS Dictionary (8th ed.), American Production and Inventory Control Society.

un prodotto finale, dal fornitore del fornitore, al cliente del cliente (The Supply Chain Council, 1997)¹⁰.

Relativamente alle parti costituenti una supply chain, è possibile fare una distinzione tra il “network a monte” ed il “network a valle”, come illustrato nella Figura 1.1. Il primo è definito come l’insieme dei fornitori di beni, servizi e informazioni dell’impresa, che comprende tutti i fornitori fino al “punto di origine” del network; il secondo è costituito dai clienti dell’impresa, che possono essere i clienti finali oppure no. In base alla “vicinanza” con l’azienda centrale che si sta considerando, sia i fornitori che i clienti possono essere classificati in diversi livelli. I clienti o fornitori diretti dell’impresa vengono detti “di primo livello”, i clienti dei clienti o i fornitori dei fornitori sono detti “di secondo livello”.

Nel loro lavoro del 2015¹¹ dal titolo “Toward The Theory Of The Supply Chain”, i professori Carter, Rogers e Choi dell’Arizona State University affermano che quando si studia la supply chain di un’azienda, si tende a considerare solamente gli attori attraverso i quali i prodotti fluiscono fisicamente (come siti produttivi o magazzini), senza tenere conto di quelli che hanno ruoli indiretti, ma allo stesso tempo fondamentali, di trasporto, stoccaggio o altre funzioni. Scrivono inoltre che si tende a concettualizzare la supply chain in maniera troppo semplicistica (ad esempio come una triade fornitore-sito produttivo-distribuzione) o troppo complessa (ad esempio un network vasto di imprese). A questo proposito, una rappresentazione è quella in Figura 1.2, in cui gli autori¹² identificano 3 gradi di “complessità” della supply chain.

Nella sua “forma” più semplice si possono considerare solamente l’azienda, un fornitore ed un cliente (Figura 1.2a); estendendo il focus si possono includere anche i fornitori del fornitore ed i clienti del cliente (Figura 1.2b). Infine, si possono includere tutti gli attori all’interno della supply chain (Figura 1.2c).

¹⁰ The Supply Chain Council, 1997. <http://www.supply-chain.com/info/faq.html>.

¹¹ Carter C. R., Rogers D. S., Choi T. Y., 2015, Toward the theory of the supply chain, *Arizona State University*, vol. 51, No 2.

¹² Mentzer J., DeWitt W., Keebler J., Min S., Nix N., Smith C., Zacharia Z. 2001a, Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics*, vol. 22, No. 2, pp. 1-25.

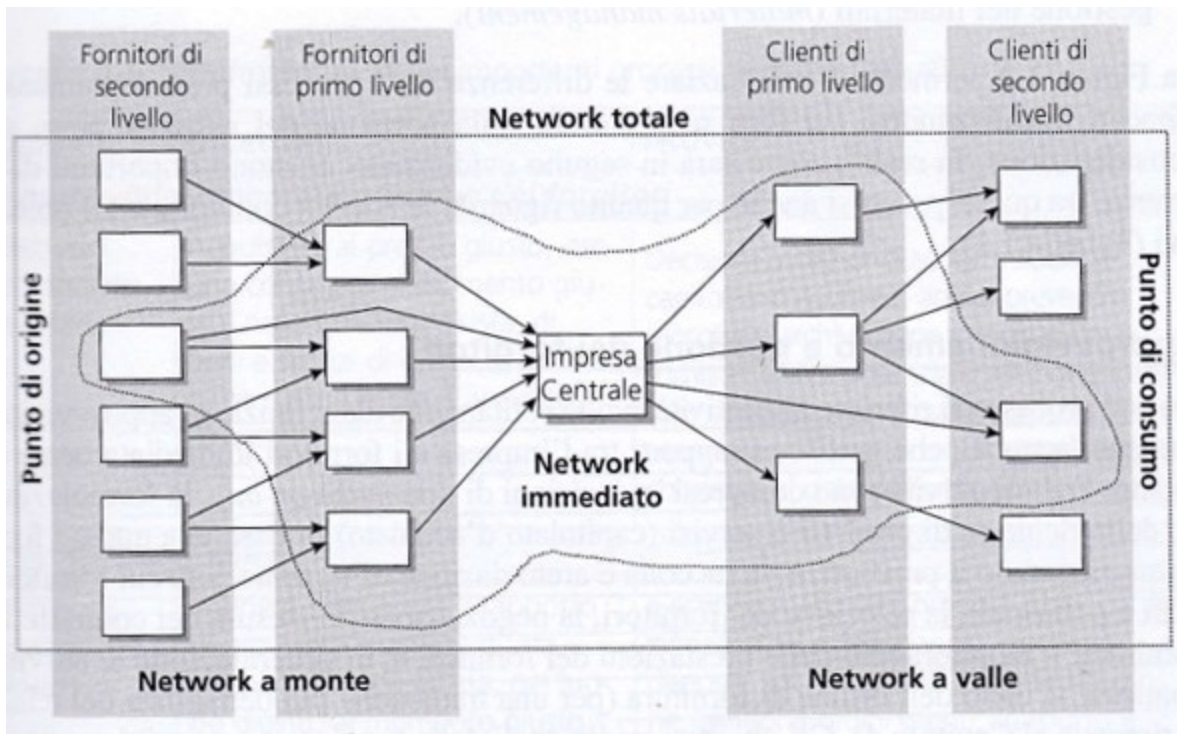


Figura 1.1: Parti di una supply chain (Romano e Danese, 2014)

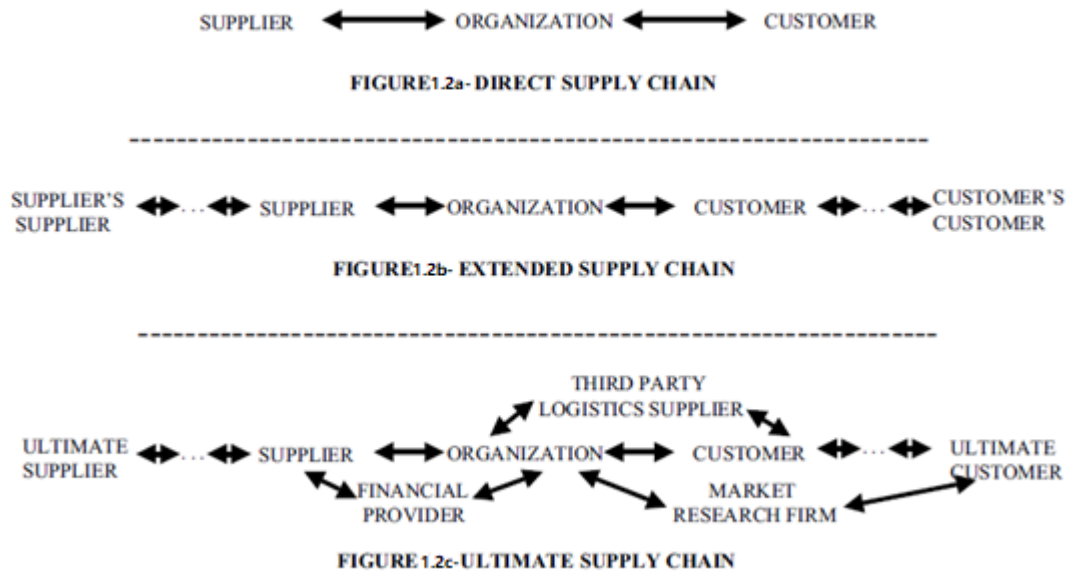


Figura 1.2: Supply chain diretta, estesa e completa (Mentzer, et al., 2001a)

Con lo scopo di costruire una teoria sulle supply chain Carter, Rogers e Choi identificano sei premesse relative alla loro struttura ed ampiezza:

- 1- La supply chain è un network composto da nodi e collegamenti: i nodi rappresentano gli attori che le appartengono (ad esempio siti produttivi, magazzini, istituzioni finanziarie, fornitori di servizi logistici, ecc..) mentre i collegamenti consistono in flussi finanziari, materiali e di informazioni tra i nodi.
- 2- Molti autori (Frankel, Bolumole, Eltantawy, Paulraj Gundlach, 2008¹³; Choi T. Y., Dooley K. J., Rungtusanathamc M., 2001¹⁴) concordano che le supply chain debbano essere gestite come dei sistemi, che però sono caratterizzati da comportamenti complessi, difficilmente prevedibili e gestibili; per questa ragione, più che semplici sistemi, possono essere definite e gestite come “sistemi complessi adattivi”, in inglese Complex Adaptive System (CAS). Il termine CAS si riferisce a dei sistemi che si modificano, adattano ed organizzano nel tempo, senza un’azione deliberata di controllo e gestione proveniente dall’esterno¹⁵.

Ogni nodo della catena cerca di gestire le relazioni con i fornitori e clienti in maniera profittevole, con l’obiettivo di massimizzare i guadagni e minimizzare costi ed incertezze caratterizzanti i processi. Un produttore, ad esempio, potrebbe cercare di instaurare un rapporto JIT o VMI con i suoi fornitori per quanto riguarda il network a monte e, relativamente al network a valle, potrebbe collocare dei magazzini in posizioni strategiche per ottimizzare il trasporto dei beni ai clienti. La visibilità e l’influenza che ha l’azienda sulla catena è però limitata ai fornitori e clienti diretti, o in alcuni casi ai fornitori o clienti di secondo livello; pertanto, i cambiamenti che interessano gli attori lungo la catena non possono che essere accettati. Un cambiamento a monte o a valle nella catena di fornitura porta ad un adattamento generale di essa, che si modifica in modo dinamico.

¹³ Frankel, R., Bolumole, Y. A., Eltantawy, R. A., Paulraj, A., & Gundlach, G. T., 2008, The domain and scope of SCM’s foundational disciplines-Insights and issues to advance research, *Journal of Business Logistics*, vol. 29, No. 1, pp. 1-30.

¹⁴ Choi T. Y., Dooley K. J., Rungtusanathamc M., 2001 Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence, *Journal of Operations Management*, vol. 19 , pp. 351-366.

¹⁵ Holland, J. H., 1995, *Hidden Order: How adaptation builds complexit.*, Helix Books/Addison-Wesley.

- 3- La supply chain è relativa all'azienda ed al prodotto che prendiamo in considerazione: quasi ogni impresa fa parte di più di una rete; quindi, risulta necessario specificare di quale si sta parlando; la stessa considerazione può essere fatta anche per il prodotto. Honda, ad esempio, ha diversi fornitori di console centrali per i modelli di auto Acura CL/TL e Accord (Choi e Hong, *Unveiling the structure of supply networks : Case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler.*, 2002)¹⁶.
- 4- È possibile fare una differenziazione tra la supply chain fisica e quella di supporto. La prima è formata da attori attraverso i quali i prodotti scorrono fisicamente, evidenziati nella Figura 1.3 (a) con delle linee continue; le linee tratteggiate indicano invece i flussi finanziari ed informativi. La seconda è costituita da quegli attori che forniscono servizi alle imprese, ma attraverso i quali i prodotti non passano fisicamente, ad esempio istituzioni finanziarie, fornitori di servizi logistici, fornitori di sistemi informativi, società di consulenza e altri. La Figura 1.3 (b) illustra la supply chain di supporto; le linee che la collegano a quella fisica sono tratteggiate, a rappresentare il fatto che i prodotti non passano per questi nodi. Ci sono infine casi in cui gli attori che fanno parte della catena di supporto possono anche avere un ruolo in quella fisica; un esempio è quando i corrieri stoccano beni in magazzini collocati tra l'azienda ed i clienti, con lo scopo di avere una quantità sufficiente di prodotti da consegnare in modo da sfruttare tutta la superficie disponibile nel vettore, per ottimizzare i costi di trasporto. Questo caso è rappresentato nella Figura 1.3 (c).
- 5- La supply chain di un'azienda è delimitata dalla visibilità e dalla conoscenza che l'impresa ha sugli altri nodi. La visibilità può essere diversa relativamente al network a valle e a monte.
- 6- La visibilità di un'impresa sul network varia in base alla distanza fisica e culturale con gli altri nodi, oltre che al numero di nodi presenti tra un'azienda ed un'altra.

¹⁶ Choi T. Y., Hong Y., 2002, *Unveiling the structure of supply networks : Case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler*, *Journal of Operations Management*, vol. 20, No 5, pp. 469-493.

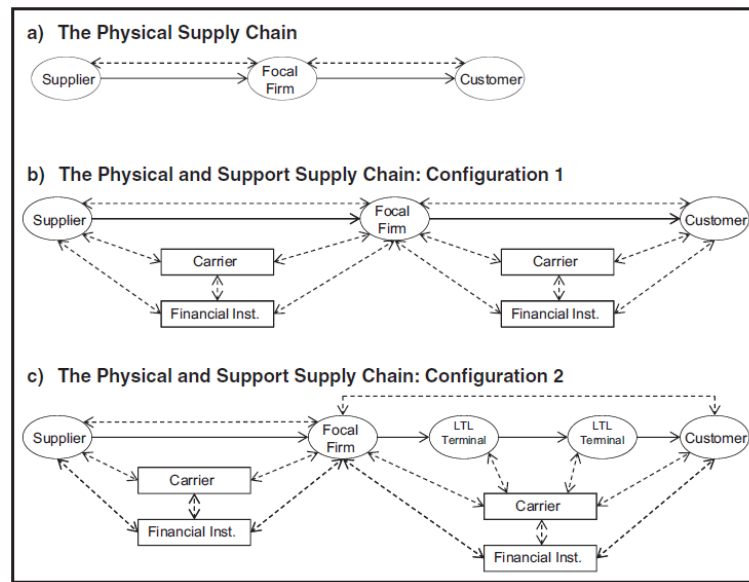


Figura 1.3: Supply chain fisica e di supporto (Carter et al., 2015)

1.2 Supply chain management

Il concetto di supply chain management ha cambiato il modo di gestire le imprese, riscuotendo sempre più attenzioni nel corso degli anni. Il termine compare per la prima volta nell'articolo di Oliver e Webber del 1982¹⁷, dove viene utilizzato in riferimento a tecniche per la riduzione delle scorte in aziende facenti parte della stessa filiera e legate da relazioni cliente-fornitore (Romano e Danese, 2014)¹⁸. Nonostante la grande attenzione da parte degli studiosi e l'ampia diffusione del termine, non esiste una definizione unanimemente condivisa e sono molti gli autori che sostengono l'importanza di adottare un'unica definizione che fornisca una base solida per studi e sviluppi futuri. (Stock e Boyer, 2009)¹².

Nel loro articolo pubblicato nel 2009¹⁹, Stock e Boyer analizzano 173 definizioni di SCM apparse in giornali o libri, con lo scopo di fornire una definizione completa

¹⁷ Oliver, R. & Webber, M., 1982. *Supply Chain Management: Logistics Catches Up With Strategy*.

¹⁸ Romano P., Danese P., 2014, *Supply chain management: la gestione dei processi di fornitura e distribuzione*, McGraw-Hill, Milano.

¹⁹ Stock J. R., Boyer S. L., 2009, Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 39 ,No. 8, pp. 690-711.

che includa tutti i temi chiave presenti in quelle prese in considerazione. Identificano 3 macro-temi e diversi sub-temi che sono riportati in Fig.1.4.

I 3 macro-temi sono:

- Attività (Activities) costituenti il SCM
- Benefici (Benefits) dati dall'implementazione del SCM
- Componenti del SCM, come fornitori di materiali, impianti di produzione, servizi di distribuzione e clienti

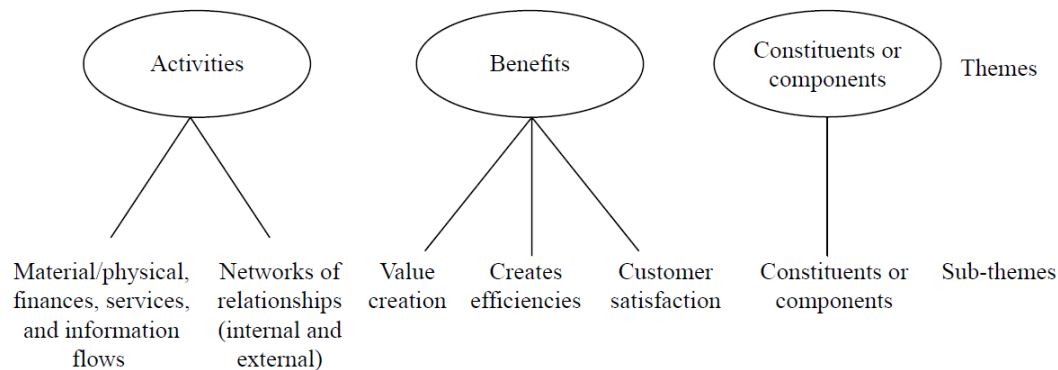


Figura 1.4: Riferimenti ricorrenti nelle definizioni di SCM, categorizzati in 3 temi e successivamente in sotto-temi (Stock e Boyer, 2009)

I primi 2 sub-temi, ovvero la gestione dei flussi e delle relazioni (interne ed esterne all'impresa), appaiono rispettivamente nel 68 % e 70 % delle definizioni prese in esame, ad indicare l'importanza che questi aspetti rappresentano. Un esempio di definizione che include il primo sub-tema è la seguente: una supply chain è definita come tre o più entità, direttamente coinvolte nel flusso upstream e downstream di prodotti, servizi, finanze, e/o informazioni da una fonte ad un cliente (Mentzer, et al., 2001)²⁰.

Relativamente al tema benefici, tutti e 3 i sub-temi sono stati citati in meno della metà degli articoli, rispettivamente il 47 % per la creazione dei valori, il 35 % per la creazione di efficienza e il 28 % per la soddisfazione dei clienti. Infine, nel 76 %

²⁰ *Ibidem*

delle definizioni vengono inseriti i componenti della supply chain, che fanno riferimento a sistemi, funzioni di business, operations e organizzazioni che sono coinvolti nella gestione di una supply chain. Considerando questi aspetti, gli autori hanno dato una loro definizione di SCM, che racchiude tutti i temi più ricorrenti riscontrati nell'analisi delle definizioni nel corso del loro studio, che viene riportata di seguito:

“[Supply chain management] è la gestione di una rete di relazioni all'interno dell'azienda e tra organizzazioni e unità di business interdipendenti, che consistono in fornitori di materiali, acquisti, siti di produzione e logistici, marketing, e sistemi correlati che facilitano l'avanzamento e il flusso inverso di materiali, servizi, finanze e informazioni da un produttore a un cliente finale che beneficia dell'aggiunta di valore, massimizzando la profittabilità tramite efficienza, e raggiungendo la soddisfazione dei clienti”.

Gli autori Mentzer, DeWitt, Keebler, Min, Nix, Smith, e Zacharia²¹ ritengono che le definizioni di supply chain management differiscano da autore ad autore, ma che possano essere classificate in tre categorie: SCM inteso come una filosofia di gestione, come una serie di attività atte all'implementazione di una filosofia di gestione e come un insieme di processi di gestione.

All'interno della prima categoria ci sono quelle definizioni che considerano il supply chain management come un approccio di gestione dell'impresa basato sulla stretta cooperazione con le altre imprese, con l'obiettivo finale di rispondere con prontezza al cambiamento dei bisogni dei clienti. Il SCM inteso come filosofia si focalizza sulla gestione dell'intera rete di attività e relazioni tra le aziende piuttosto che sulla gestione della singola azienda; adottando questa prospettiva la supply chain è vista come un'unica entità.

Nella seconda categoria gli autori fanno riferimento alle definizioni che si focalizzano sulle attività che servono per implementare la filosofia alla base del SCM; per adottarla le imprese devono mettere in atto delle pratiche manageriali quali:

²¹ *Ibidem*

- condivisione di informazioni, come ad esempio il livello delle scorte, l'avanzamento della produzione e dei nuovi progetti e le strategie di marketing, con lo scopo di rendere disponibili dati operativi e strategici agli attori della supply chain per riuscire a pianificare e monitorare i processi in maniera più efficiente.
- condivisione dei rischi e dei benefici.
- allineamento degli obiettivi, reso possibile dall'utilizzo di tecniche manageriali compatibili e da una cultura dell'impresa affine a quella degli altri membri della supply chain.
- integrazione dei processi interni all'impresa, ridefinendo l'organizzazione e superando le barriere funzionali, estendendoli poi all'esterno dell'impresa, anche attraverso il supporto di piattaforme informatiche.
- costruzione di relazioni a lungo termine, prerogativa del SCM che non può prescindere dalle attività sopracitate.

Infine, la terza categoria include quelle definizioni che descrivono il SCM come un insieme di processi. Un processo può essere definito come un insieme di attività progettate con lo scopo di produrre uno specifico output di valore per il cliente. La Londe²² propone che il SCM è il processo di gestione di relazioni, informazioni e flussi di materiali con lo scopo di offrire al cliente un servizio migliorato attraverso la gestione sincronizzata dei flussi di beni e le relative informazioni. Lambert, Stock ed Ellram²³ propongono che, per implementare con successo il SCM, tutti gli attori appartenenti alla supply chain devono superare il concetto di funzione ed abbracciare quello di processo. La differenza principale sta nel fatto che il focus di ogni processo è quello di soddisfare le esigenze del cliente e che l'azienda viene organizzata intorno a questi processi (business process re-engineering - BPR). Cooper, Lambert e Pagh²⁴ considerano 8 processi operativi chiave costituenti il SCM, che sono illustrati nella Figura 1.4 e descritti più nel dettaglio successivamente.

²² La Londe B. J., 1997, Supply Chain Management: Myth or Reality?, *Supply Chain Management Review*, vol. 1, pp. 6-7.

²³ Lambert D. M., Stock J. R., Ellram. L. M., 1998, *Fundamentals Of Logistics Management*. Boston, MA,

²⁴ Cooper M. C., Lambert D. M., Pagh J. D., 1997, Supply chain management: More than a new name for logistics, *International Journal of Logistics Management*, vol. 8, No. 1, pp 1-14.

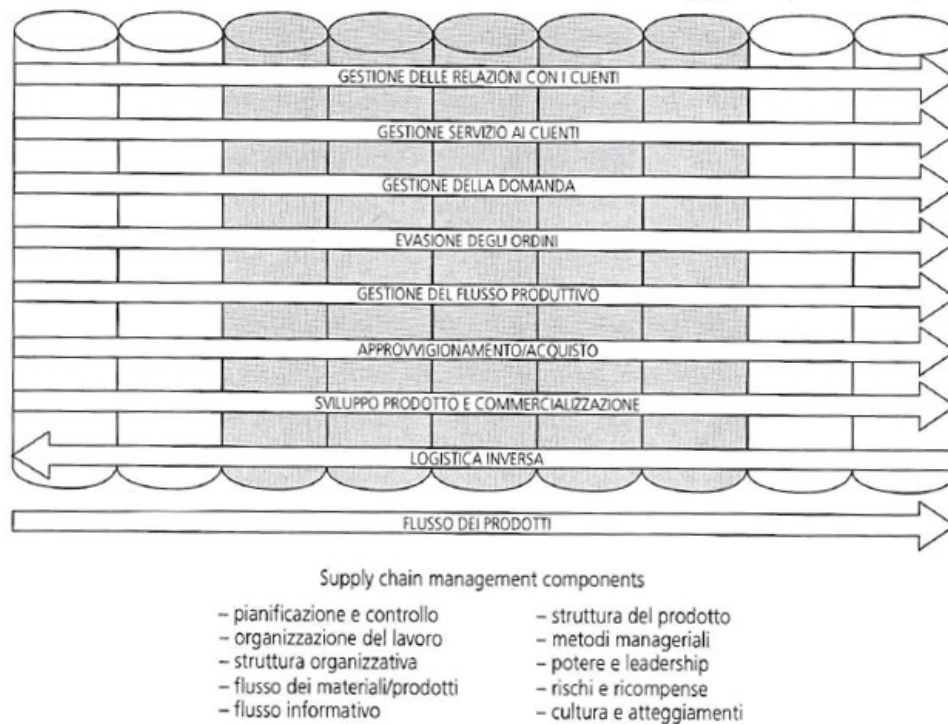


Figura 1.4: Modello rappresentante i processi operativi del SCM (Cooper, Lambert e Pagh, 1997)

- Gestione delle relazioni con i clienti, ovvero l'identificazione degli obiettivi di mercato per i clienti, con lo scopo di raggiungerli attraverso la definizione di strategie e l'implementazione di piani d'azione.
- Gestione del servizio ai clienti, attraverso la condivisione di informazioni sullo stato di avanzamento degli ordini e il soddisfacimento delle richieste dei clienti.
- Gestione della domanda, che è il processo di stima della domanda e di pianificazione di materiali e risorse necessari per soddisfarla.
- Evasione degli ordini, che consiste in tutte quelle attività che permettono la consegna del prodotto o servizio al cliente nei tempi, nella qualità, nella quantità e nella locazione stabilita nel momento dell'ordine.
- Gestione del flusso produttivo, che converte materie prime in prodotti finiti aventi le caratteristiche richieste dal cliente. A questo scopo, l'azienda deve essere in grado di stimare la domanda in modo attendibile, per poter pianificare correttamente la produzione.

- Approvvigionamento/acquisto, di tutte le materie prime, i componenti e le risorse produttive che il processo necessita.
- Sviluppo e commercializzazione del prodotto, che integra i fornitori e clienti chiave nella progettazione di nuovi prodotti e nel lancio nel mercato.
- Logistica inversa, che si focalizza sulla pianificazione e l'implementazione del processo di ritorno di prodotti finiti e materie prime dal punto di consumo al punto di origine.

1.3 Diffusione del supply chain management

L'idea di fondo che si può evincere dalle definizioni e concettualizzazioni riportate nei precedenti capitoli è la focalizzazione sul network e sulle relazioni all'interno di esso anziché sulla singola azienda. Molti studiosi concordano sul fatto che la competizione avviene tra supply chain network e non tra singole aziende, tanto che, da quando il concetto di SCM è stato introdotto, le pubblicazioni in merito sono aumentate significativamente. Il crescente interesse in questo ambito è dovuto a diversi fattori:

- L'evoluzione del contesto competitivo in cui un'impresa opera è cambiato radicalmente nel tempo. Gli anni '50/'60 sono caratterizzati da una domanda crescente, che porta le aziende a produrre secondo la logica della "produzione di massa", utilizzando le scorte come "cuscino" per gestire la variabilità della domanda, a discapito di flessibilità e variabilità. In questo periodo, la condivisione di informazioni, conoscenza ed expertise viene considerata rischiosa da parte delle imprese. Durante gli anni '70 le imprese capiscono come un alto "work in progress" impatti significativamente sulle performance, in termini di qualità e lead time di produzione; sull'onda dell'informatizzazione aziendale iniziano ad applicare tecniche per la gestione dei materiali come l'MRP, con lo scopo di gestire più efficientemente il flusso di materiali e ridurre lo stock a magazzino. La fine degli anni '80 segna l'inizio di una competizione più serrata tra le imprese e un ciclo di vita dei prodotti più breve, che spinge le aziende ad offrire prodotti di qualità ed a basso costo per mantenere la competitività e non essere tagliate fuori dal mercato. Durante gli anni '90 diventa critica l'abilità di coordinare le attività della supply chain attraverso internet e la gestione di relazioni forti e durature con

gli altri membri appartenenti alla supply chain, sostituendo le scorte con la condivisione di informazioni. Nascono i rapporti definiti JIT, caratterizzati da una forte connessione logistica e produttiva con i fornitori, attraverso frequenti interazioni, scambi di informazioni e consegne regolari.

- Il fenomeno della globalizzazione e la crescente disponibilità di risorse tecnologiche hanno permesso di connettere aziende in tutte le parti del mondo. Questo fenomeno, che ha radici più ampie rispetto al solo contesto industriale, ha creato nuove opportunità per le imprese, ma al contempo anche supply chain più complesse e frammentate, caratterizzate da poli geograficamente e/o culturalmente distanti tra loro. Il cosiddetto global sourcing, ovvero l'approvvigionamento che non è più soltanto "nei pressi" dell'azienda ma che diventa su scala globale, è una pratica molto utilizzata dalle imprese che richiede una capacità nel coordinamento su scala globale degli aspetti di trasporto e logistici.
- La conoscenza è sempre più vasta ma al contempo specializzata e per competere nel mercato spesso è necessario appoggiarsi ad aziende esterne, che hanno acquisito un know-how difficilmente raggiungibile dalle imprese internamente. Questo si estrinseca nel fenomeno della deverticalizzazione, che implica una focalizzazione sulle attività core-business, affidando a terzi tutte le attività ritenute complementari.
- Il mercato è sempre più esigente e selettivo. Si può citare il trend upgradia, ovvero l'aspettativa di un rapido e costante aggiornamento e miglioramento dei prodotti, nativa del mondo digitale, ma che si sta diffondendo in modo significativo anche nel mondo dei prodotti tangibili (Biazzo e Filippini, 2018)²⁵.

Il consumatore richiede prodotti di alta qualità, senza difetti e in tempi molto rapidi. Se ricevere prodotti impeccabili è diventato un aspetto ormai quasi dato per scontato, la competizione time-based è riconosciuta da tutte le aziende come essenziale in tutte le fasi. Un'azienda che ha un ciclo di sviluppo del prodotto più veloce, ad esempio, potrà contare su delle informazioni di mercato più recenti, assimilando quindi la domanda in modo

²⁵ Biazzo S., Filippini R., 2018, *Management dell'innovazione*, Novara, De Agostini Scuola SpA.

migliore di un'altra; così come un'azienda più veloce nel rifornire il cliente acquisisce un vantaggio competitivo rispetto ai concorrenti.

- L'incertezza e la variabilità insite nella domanda; infatti, i modelli di consumo sono in continuo cambiamento e il fattore ecologico ed ambientale impattano significativamente in tal senso. I consumatori stanno diventando sempre più attenti e consapevoli ai prodotti e servizi che comprano, informandosi sull'impatto ambientale che questi causano; questo influenza tutta la filiera ed impone alle aziende di scegliere con cura i partners con cui collaborano. Per citare un esempio, in Francia prenderà il via un'iniziativa che prevede di apporre un'etichetta nei cibi che assegna un Eco-score²⁶, indicatore che misura l'impatto del cibo che si sta consumando sull'ambiente, considerando tutta la filiera di produzione, il packaging e molti altri aspetti. Lidl invece richiede ai propri partners logistici lo standard europeo minimo EURO 5 ed incentiva l'utilizzo di mezzi a combustibili alternativi, con l'obiettivo di una flotta sempre più green.²⁷ Non è più quindi solamente una competizione sulla qualità e sul tempo ma soprattutto sul valore che un'azienda crea intorno ai suoi prodotti e servizi e che riesce a far percepire al mercato. Il valore di un'azienda è anche il risultato della sua attenzione verso l'ambiente e di un comportamento socialmente responsabile e questo non può prescindere dalle relazioni che intrattiene.
- L'ampia disponibilità ed accessibilità di tecnologie informative, che permettono di acquisire, elaborare, analizzare e scambiare dati come i fabbisogni produttivi, le giacenze, lo stato della produzione e la previsione della domanda all'interno della supply chain in maniera più efficiente e rapida, oltre che creare cruscotti di KPI essenziali per attuare manovre correttive e di miglioramento.

In un ambiente caratterizzato da una forte turbolenza ed incertezza come quello attuale, la scelta di partners affidabili e l'ottimizzazione dell'intera catena è fondamentale per assicurare il successo di un'impresa. I flussi di materiali, informazioni e finanziari devono essere gestiti al meglio per fornire prodotti e servizi con le caratteristiche ed i tempi che il consumatore richiede al minor costo possibile,

²⁶ <https://ilfattoalimentare.it>

²⁷ <https://corporate.lidl.it>

all'interno di un contesto instabile e dinamico. È di fondamentale importanza quindi un efficace coordinamento tra gli attori della supply chain, eliminando le barriere che ci sono tra aziende e attività ridondanti, condividendo le informazioni e collaborando per raggiungere degli obiettivi comuni con lo scopo di essere più flessibili e pronte ai cambiamenti che caratterizzano l'ambiente competitivo. Essenziale è quindi un allineamento degli obiettivi, una maggiore visibilità e dei rapporti di lunga durata. I benefici dati dall'implementazione del SCM comprendono la riduzione dei costi operativi, il miglioramento dei flussi di fornitura, una riduzione dei ritardi nella distribuzione, un aumento della soddisfazione del cliente (Rohita, 2010)²⁸.

²⁸ Rohita K. M., 2010, Strategic Framework For Supply Chain Management, *Global Journal of Management and Business Research*, vol. 10, pp. 42.

Capitolo 2

Complessità

Il presente capitolo sarà focalizzato sul concetto di complessità. Nella prima parte verranno riportate alcune definizioni di complessità presenti in letteratura con lo scopo di delineare le caratteristiche di un sistema complesso, per poi contestualizzare ed introdurre il concetto di complessità di una supply chain. Successivamente verranno descritte le tipologie di complessità caratterizzanti una rete di imprese, che verranno utilizzate per categorizzare i driver nel Capitolo 3. Infine, verrà analizzata la letteratura scientifica, con lo scopo di classificare e riassumere alcuni degli articoli pubblicati in merito e comprendere i principali approcci adottati fino ad oggi.

2.1 Definizione di complessità

Il concetto di complessità è discusso in un'ampia varietà di ambiti e settori, inclusi quello filosofico, delle scienze dell'informazione ed ingegneristico; in letteratura sono presenti un ampio range di definizioni riguardanti cosa costituisce un sistema complesso (Bozarth, et al., 2009)²⁹ e quasi ogni disciplina ha sviluppato una propria interpretazione e definizione di complessità (Blecker, Friedrich, Kaluza, Abdelkafie Kreutler, 2005)³⁰. Una prima precisazione che deve essere fatta quando si tratta un sistema complesso è che quest'ultimo differisce da un sistema complicato. Amaral e Uzzi³¹ forniscono il seguente chiarimento: “Al contrario di sistemi semplici, come ad esempio il pendolo, composto da un piccolo numero di componenti, o sistemi complicati, come ad esempio un jet Boeing, che ha un molti componenti che interagiscono ma in maniera definita, un sistema complesso è tipicamente composto

²⁹ Bozarth C., Warsing D., Flynn B., 2009, The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance, *Journal of Operations Management*, vol. 27 No. 1, pp. 78-93.

³⁰ Blecker T., Friedrich G., Kaluza B., Abdelkafi N., Kreutler G., 2005, *Information and Management Systems for Product Customization*, New York: Springer.

³¹ Amaral L. A., Uzzi B., 2007, Complex systems-A new paradigm for the integrative study of management, physical and technological systems. *Management Science*, vol. 53, pp. 1033-1035.

da molte parti che autonomamente interagiscono attraverso regole emergenti.” In un sistema complesso le relazioni tra i vari componenti non sono fisse e non può essere studiato semplicemente come la somma delle parti che lo compongono, dato che il comportamento che lo caratterizza dipende dall’interazione tra le parti.

Jacobs e Swink³² prendono in considerazione diverse definizioni di complessità appartenenti a vari domini (alcune riportate in Figura 2.1), nelle quali si possono identificare tre dimensioni che la caratterizzano: molteplicità (M), diversità (D) e interrelazione (I). Una definizione esaustiva comprendente le dimensioni sopracitate è riportata di seguito:

Discipline	Source	Definition	Dimension	
Product Design	Baldwin and Clark (2000)	Complexity is proportional to the total number of design decisions	M	
	Griffin (1997a,b)	Complexity is represented by the number of functions designed into a product	M	
	Gupta and Krishnan (1999) and Ramdas (2003)	Complexity is represented by the number of components in the product	M	
	Kaski and Heikkila (2002)	Complexity is represented by the number of physical modules and also by the degree of interrelatedness	M	I
Complex Systems	Simon (1962)	Complexity is manifested in a system comprised of a large number of parts that interact in a non-simple way	M	I
	Klir (1985)	Complexity is manifested in a system containing differentiation and connectivity		D I
Operations Research	Eglese et al. (2005)	Complexity is a synonym for difficulty which is proportional the number of constraints applied to possible solutions to a problem	M	
Organizational Theory	Child (1972)	Complexity is manifested by the heterogeneity and range of an organization’s activities	M	D

Figura 2.1: Diverse concettualizzazioni di complessità (Mark A. Jacobs e Morgan Swink, 2011)

³² Jacobs M. A., Swink M., 2011, Product portfolio architectural complexity and operational performance:

Incorporating the roles of learning and fixed assets. *Journal of Operations Management*, vol. 29, pp 677-691

Un sistema o oggetto è composto da una grande numerosità (M) e varietà di componenti o elementi (D) che possiedono delle funzioni specializzate, organizzati per livelli gerarchici interni, collegati da una grande varietà di legami ovvero caratterizzati da un'alta densità di interconnessioni non lineari (I). La non linearità delle interconnessioni rende impossibile un approccio analitico per descrivere il comportamento del sistema in tutte le sue parti, mentre è necessario un approccio sintetico, orientato dunque alla comprensione dell'intero sistema e non di ogni sua singola parte (De toni e Comello)³³.

Secondo Yates³⁴, oltre alle dimensioni sopracitate, i seguenti due attributi caratterizzano un sistema complesso:

- Asimmetria, che fa riferimento al fatto che porzioni del sistema non sono accessibili o non sono collegate ad altre parti che costituiscono la supply chain.
- Vincoli non olonomi, che fanno riferimento a parti del sistema che non sono sotto il controllo “centrale”, ma che fanno scelte e intraprendono azioni indipendenti dagli altri anelli della rete.

De toni, Nonino e Zanutto³⁵ riassumono le diverse misure di complessità sviluppate dal 1948 al 2005 in varie discipline, fornendo un quadro di sintesi rappresentato nella tabella sottostante (Figura 2.2). Le dimensioni scelte per categorizzare le diverse misure di complessità sono l'oggetto della misura e l'approccio matematico utilizzato. Relativamente all'oggetto della misura, gli autori distinguono due dimensioni, il comportamento del sistema (o complessità deterministica) e la struttura del sistema (o complessità statistica); con riferimento all'approccio matematico che viene utilizzato per costruire la misura, vengono distinte due categorie, ovvero le misure basate sulla teoria della computazione e le misure basate sulla teoria dell'informazione. Nel primo quadrante è presente la complessità di Kolmogorov di un oggetto (espresso in bit), che rappresenta la lunghezza del più

³³ De Toni A. F., Comello L., 2005, *Prede o ragni?*, Utet Libreria, Torino

³⁴ Yates, F., 1978, *Complexity and the limits to knowledge*, American Journal of Physiology, 4.

³⁵ De toni A. F., Nonino F., Zanutto G., 2005, Misure di complessità nei sistemi produttivi, *Associazione Italiana di Ingegneria Gestionale*.

breve programma informatico che dia in output l'oggetto per poi concludersi. Nel secondo quadrante viene riportato il tasso di entropia di Shannon, che nella teoria dell'informazione rappresenta l'informazione media all'interno di un messaggio emesso da una sorgente e misura il grado di prevedibilità del sistema. Le misure appena descritte non incorporano informazioni sulla struttura del sistema, ma descrivono il sistema solamente da un punto di vista del suo comportamento.

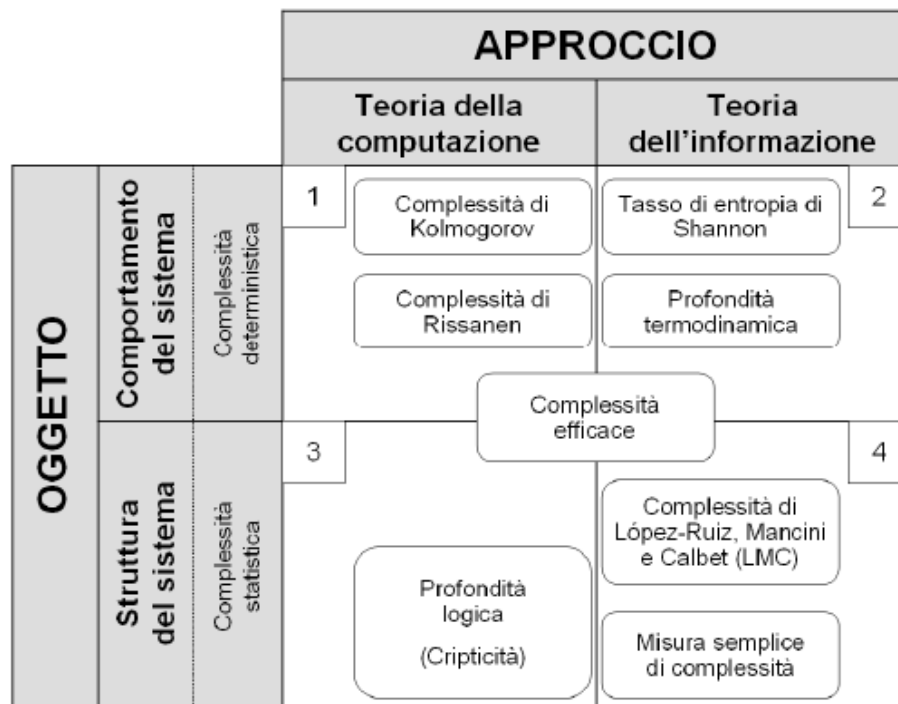


Figura 2.2: Classificazione delle misure di complessità (De toni A. F., Nonino F. e Zanutto G., 2005)

Nel terzo quadrante viene inserita la profondità logica, ovvero il tempo che necessita una macchina di Turing universale per scrivere il programma più breve che descriva la configurazione di un modello. Infine, nel quarto quadrante sono presenti quelle misure che utilizzano i principi della teoria dell'informazione per valutare la complessità della struttura del sistema; queste misure sono basate su un indice entropico.

Più generalmente Senge³⁶ divide la complessità in:

- Complessità strutturale (detail complexity), che è generata dal numero di variabili incorporate nel sistema preso in considerazione.
- Complessità dinamica (dynamic complexity), che è presente quando un insieme di azioni applicate ad un sistema generano diverse reazioni in base alla parte di sistema che si analizza. Inoltre, tali azioni non hanno risultati ovvi nel tempo.

Il professor Sterman³⁷ invece cita le seguenti caratteristiche di un sistema determinanti la complessità dinamica:

- Cambiamento costante, ovvero il sistema è in continua evoluzione; ogni attore reagisce ai cambiamenti adattandosi.
- Collegamento stretto tra gli attori del sistema.
- Governato da feedback, che fa riferimento al fatto che le decisioni prese da un attore influenzano tutto il sistema, portando i nodi che gli appartengono ad agire ai cambiamenti. Una volta ricevuto il feedback, un attore usa le nuove informazioni acquisite per aggiustare la propria strategia e avvicinarsi agli obiettivi prefissati (Figura 2.3).
- Non lineare, ovvero dato un input in ingresso l'output non è proporzionale; inoltre, un turbamento iniziale può dare origine ad un risultato completamente diverso rispetto all'aspettativa iniziale.
- Auto-organizzato, ovvero in cui si formano degli schemi che non sono imposti dall'esterno ma che nascono dall'interazione non lineare tra le parti.
- Adattivo, infatti le parti di un sistema evolvono nel tempo acquisendo capacità attraverso l'esperienza; l'evoluzione porta al successo di alcuni contro il fallimento di altri.
- Resistente al cambiamento, ovvero la complessità connaturata al sistema rende difficile la sua comprensione, portando a soluzioni che possono

³⁶ Senge P., 1990, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the learning organization*, Random House Business, New York.

³⁷ Sterman J. D., 2000, *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw Hill, Chicago

sembrare ovvie ma che nella realtà portano ad un peggioramento delle performance del sistema.

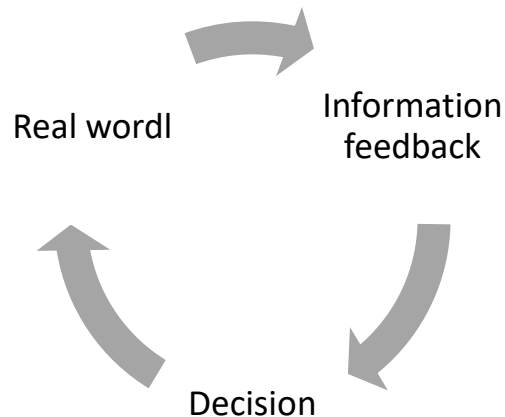


Figura 2.3: Processo di apprendimento (Sterman, 1994)³⁸

2.2 Complessità di una supply chain

Nonostante nella letteratura si possano trovare molte definizioni, è possibile definire la complessità di una supply chain (SCC) come il livello di complessità statica (*detail, static o structural*) e dinamica (*dynamic o operational*) che la caratterizzano. Serdarasan³⁹ descrive la prima come derivante dalla struttura della supply chain, intesa come il numero e la varietà dei suoi costituenti, rappresentati dai prodotti, componenti, processi, clienti, fornitori; un esempio è rappresentato da un sistema indipendente dalla domanda (come un centro di distribuzione) in cui tutti gli articoli sono caratterizzati da una domanda deterministica e sono forniti da attori affidabili con lead time di fornitura costante; in questo caso la fonte di complessità è data dal

³⁸ Sterman J. D., 1994, Learning in and about complex systems, *System Dynamics Review vol. 10*, pp 291-330.

³⁹ Serdarasan S., 2013, A review of supply chain complexity drivers, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 66, pp. 533-540.

numero di articoli gestiti dal centro di distribuzione. La seconda scaturisce dall'incertezza caratterizzante la supply chain, causata dalle interazioni tra le parti che la costituiscono; essa dipende dall'ambiente e dal comportamento operativo del sistema e comprende aspetti come il tempo e la casualità e misura la "deviazione" dal pianificato. Un esempio è costituito da un ambiente dipendente dalla domanda, come ad esempio un sistema di pianificazione e controllo della domanda che sfrutta l'MRP per rifornire l'azienda dei materiali necessari; una variazione nel piano principale di produzione (MPS) impatta in maniera non prevedibile il piano di acquisto dei materiali, che dipende dalle politiche di approvvigionamento, quali il lotto minimo di acquisto, il lead time e la giacenza minima. Un ulteriore esempio di complessità dinamica può emergere nel *beer distribution game*, un gioco di simulazione elaborato alla *Sloan School of Management* in cui ogni giocatore o team rappresenta una parte della supply chain senza controllo sulle altre e collabora con solo un cliente e un fornitore; ogni giocatore deve riordinare i componenti in base al LT di fornitura, agli ordini in entrata e alla giacenza. Nel gioco emerge come le decisioni prese da ogni partecipante portino a delle oscillazioni nella domanda (effetto Forrester⁴⁰), fase produttiva, fase di approvvigionamento e nelle scorte causate da una mancanza di comunicazione e condivisione di informazioni e dalle caratteristiche intrinseche di auto-organizzazione e non linearità del sistema. In Figura 2.4 vengono riportati dei grafici tratti da una partita online di beer distribution game⁴¹, in cui si nota come le varie parti in gioco sperimentino forti oscillazioni nello stock e nella domanda, che sono più evidenti man mano che "saliamo" la catena fino ad arrivare al produttore. In più di una volta le parti a monte del retailer sono andate out-of-stock o over-stock. Le cause di questo fattore sono molteplici come, ad esempio, il LT di fornitura, i lotti minimi di produzione e l'MOQ, la capacità distributiva, lo stock di sicurezza (SS), la fluttuazione di prezzo e le offerte commerciali, forecast non accurati e mancanza di comunicazione.

Oltre alla distinzione tra complessità dinamica e statica, possiamo definire altri tipi di complessità presi in considerazione nello studio delle supply chain, descritte di seguito:

⁴⁰ Forrester J. W., 1961, *Industrial Dynamics*, MIT Press.

⁴¹ <https://beergame.masystem.se/>

- Complessità interna vs complessità esterna:
Internamente la complessità è dipendente dal numero di sub-sistemi appartenenti all'impresa e può essere divisa in:

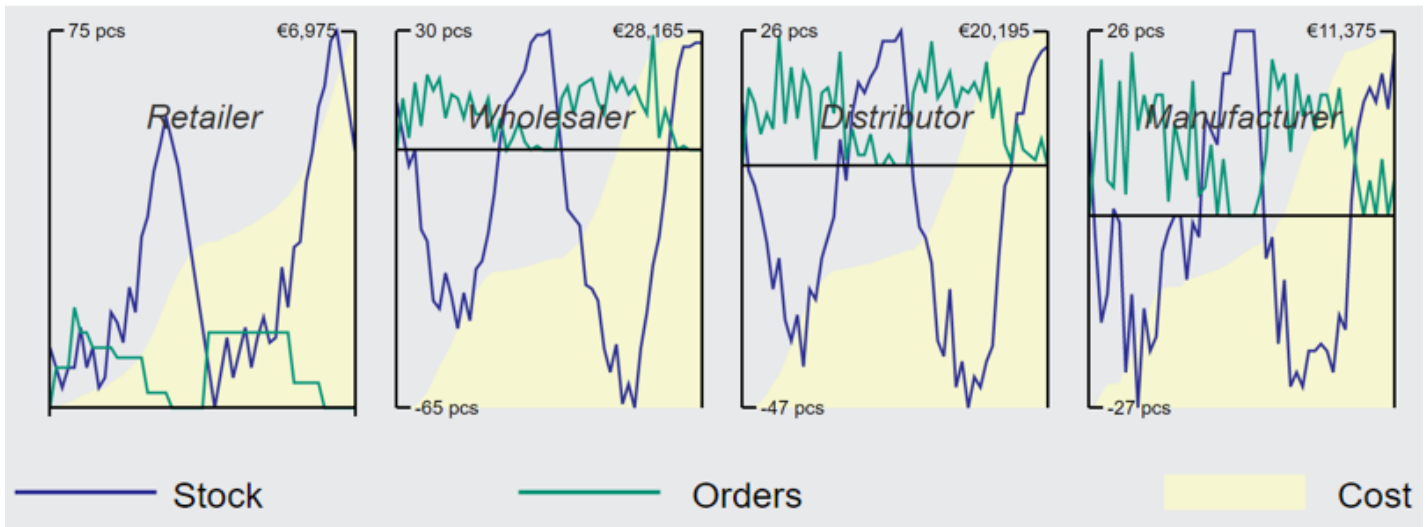


Figura 2.4: Grafici rappresentanti l'andamento del magazzino, degli ordini e dei costi totali in un orizzonte temporale di 35 settimane. (<https://beergame.masystem.se/>)

- Verticale (*vertical*), rappresentata dal numero di livelli gerarchici.
- Orizzontale (*orizzontal*), data dal numero di unità organizzative.
- Spaziale (*spatial*), derivante dal numero di poli appartenenti all'impresa.

È possibile estendere questa concettualizzazione all'intera supply chain, in cui la complessità verticale è relativa al numero di livelli (*Tier 1, Tier 2...Tier n*), quella orizzontale al numero di fornitori di primo livello (*Supplier_{1i}, Supplier_{1j}...Supplier_{1k}*) e quella spaziale alla distanza fisica tra gli attori, ovvero alla dispersione geografica. (Figura 2.5)

Relativamente alla complessità esterna, un'azienda può trovarsi a gestire tre tipi di complessità⁴²:

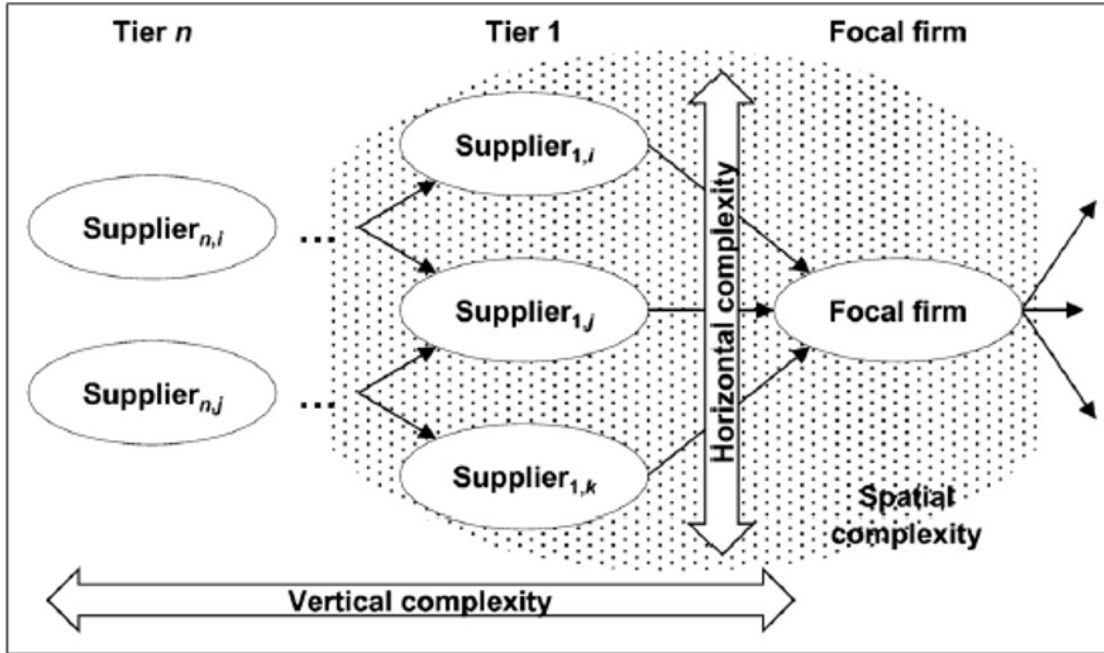


Figura 2.5: Complessità orizzontale, verticale e spaziale lato fornitura (Bode e Wagner, 2015)

- Ambientale (*environmental*), che fa riferimento a cambiamenti esogeni, che sono imprevedibili, veloci e possono portare ad instabilità.
- Manageriale (*managerial*), data dall'imprevedibilità delle conseguenze di scelte strategiche ed azioni manageriali.
- Transazionale (*transactional*), causata dall'incertezza e dall'interdipendenza delle operazioni interne ed esterne di un'impresa.

- Complessità strategica vs complessità disfunzionale

⁴² Cagliano A. C., Carlin, A., Rafele C., 2009, Understanding Supply Chain Complexity with Performance Measurement, *Department of Production Systems and Business Economics*, Politecnico di Torino, Torino.

Alcuni autori (ad esempio Aitken, Bozarth e Garn)⁴³ si sono focalizzati sulla differenza tra complessità strategica (strategic complexity) e disfunzionale (*dysfunctional complexity*), sostenendo che la prima è necessaria per perseguire la strategia aziendale mentre la seconda rappresenta un ostacolo per il raggiungimento degli obiettivi. In Figura 2.6 viene riportata una schematizzazione riassuntiva riportante la tipologia, l'origine e la natura della complessità.

	Upstream	Internal	Downstream
Detail	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>
Dynamic	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>	<i>Strategic</i> - <i>Accommodate</i> <i>Dysfunctional</i> - <i>Reduce or eliminate</i>

Figura 2.6: Categorizzazione della complessità (Aitken, et al.)

Alcuni esempi di complessità disfunzionale includono fornitori con standard qualitativi non affidabili e tempi di ciclo eccessivamente lunghi; alti livelli di customizzazione oppure un ampio bacino di clienti possono essere esempi di complessità strategica.

- Complessità della supply chain e complessità decisionale

⁴³ Aitken J., Bozarth C., Garn W., 2016, To eliminate or absorb supply chain complexity: a conceptual model and case study, *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 21, No. 6, pp. 759-774.

Manuj e Sahin⁴⁴ introducono nel loro articolo il termine complessità “decision-making”, definendola come la difficoltà riscontrata da chi deve prendere decisioni nella gestione della supply chain, e la concettualizzano come lo sforzo richiesto per la definizione e l’analisi dei problemi, la raccolta dei dati, l’implementazione di soluzioni e controllo. Gli autori sostengono che c’è una stretta relazione tra la complessità nella supply chain e la difficoltà nel prendere le decisioni, e che possono essere utilizzati dei “moderatori” per ridurla, appartenenti a due sfere, ovvero moderatori strategici e moderatori relativi alle capacità umane.

Secondo il modello introdotto da Wilding⁴⁵ illustrato in Figura 2.7, una supply chain complessa è caratterizzata da tre aspetti:

- Caos deterministico, di cui di seguito viene riportata la definizione di Treccani:
“Si parla di caos deterministico per indicare una proprietà di sistemi retti da leggi di evoluzione perfettamente deterministiche, tali però che una minima differenza nelle condizioni iniziali produce evoluzioni enormemente diverse; dato che le condizioni iniziali, nei sistemi reali, sono sempre affette da una seppur minima incertezza, lo stato dei suddetti sistemi finisce per essere assolutamente imprevedibile dopo un certo intervallo di tempo.”
- Interazioni parallele, che si generano all’interno della rete di imprese; un esempio è rappresentato da un fornitore che non riesce a garantire la consegna di un materiale o di un componente, costringendo il cliente approvvigionarsi altrove.
- Amplificazione della domanda (o effetto Forrester) derivante dagli aspetti citati in precedenza, di cui si riporta un ulteriore schematizzazione in Figura 2.8.

⁴⁴ Manuj I., Sahin F., 2011, A model of supply chain and supply chain decision-making complexity, *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage*, vol. 41, No 5, pp. 511–549.

⁴⁵ Wilding, R., 1998, The supply chain complexity triangle: Uncertainty generation in the supply chain, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 28, No. 8, pp. 599.

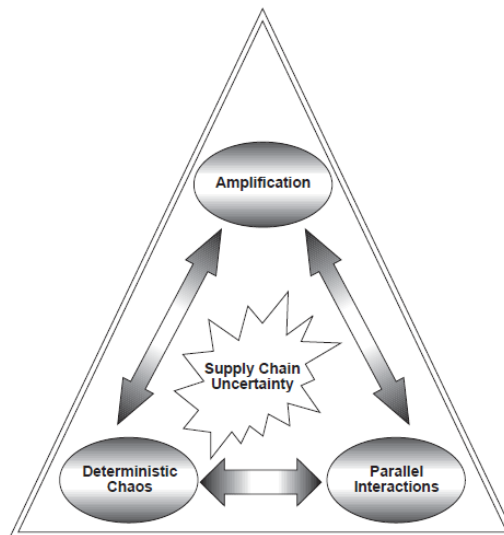


Figura 2.7: Il triangolo delle complessità in una supply chain (Wilding, 1998)

Questi tre fattori operano contestualmente generando incertezza e agendo come stimolo reciproco. Ad esempio, l'amplificazione della domanda può portare un'azienda ad espandere la propria customer base (e quindi creare interazioni parallele), generando caos all'interno del sistema che porta ad instabilità. Questo modello rappresenta uno strumento utile per comprendere le ragioni alla base dell'incertezza che permea la supply chain e sottolinea l'importanza di trattare la catena di approvvigionamento nella sua totalità. L'autore fornisce inoltre delle implicazioni pratiche per le imprese, riportate di seguito:

- Cambiamenti repentini ed inaspettati caratterizzano il sistema; picchi nella domanda sono causati dall'interno del sistema e come risultato di agenti esterni.
- La pianificazione di lungo periodo è difficile da implementare e necessita una perpetua revisione; considerando che la maggior parte dei sistemi di approvvigionamento di materiali (MRP) si basano su forecast di lunga durata, questo può portare le aziende a sovrastimare le scorte necessarie per coprirsi dalle oscillazioni.
- Le supply chain non raggiungono un equilibrio, infatti anche piccole perturbazioni destabilizzano il sistema.
- La pianificazione di breve periodo risulta essere più efficace della pianificazione del lungo periodo; i managers devono essere consapevoli degli effetti delle decisioni prese nella pianificazione

giornaliera, che dovrebbe essere riflettere la strategia e gli obiettivi dell'impresa.

- Il focus sulla domanda e la comunicazione delle informazioni relative ad essa il più a monte possibile nella supply chain riduce il caos e migliora le performance.
- I miglioramenti locali, come ad esempio la riduzione delle scorte o dei lead time, non sempre migliorano le performance dell'intera rete e possono condurre il sistema al caos.
- La simulazione del sistema e l'analisi dinamica non lineare di output chiave devono essere alla base di ogni processo di re-ingegnerizzazione della supply chain.

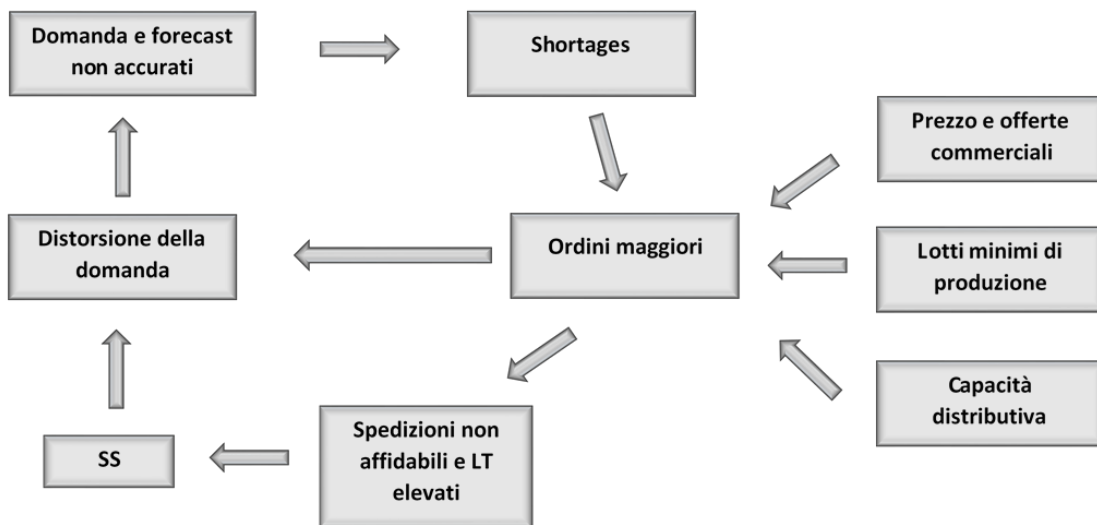


Figura 2.8: Effetto Forrester

2.2.1 Articoli correlati e analisi della letteratura

Lo stretto legame tra le performance di una supply chain e la gestione della complessità rendono l'integrazione di tale azione all'interno della supply chain un aspetto necessario nel contesto competitivo attuale, motivo per il quale è un aspetto che sta acquisendo sempre più importanza per studiosi e manager. La misurazione della complessità, infatti, può essere un valido strumento a supporto delle decisioni che riguardano la gestione dei processi aziendali. Numerosi studi evidenziano come

una gestione efficace della complessità possa portare all'acquisizione di un vantaggio competitivo (ad esempio Seth, et al., 2017)⁴⁶ e sono molti gli aspetti correlati alla complessità presi in considerazione in letteratura, tra cui l'impatto negativo sulle performance degli impianti di produzione (Bozarth, et al., 2009)⁴⁷, causa inflessibilità (Battini et al., 2007)⁴⁸, impedimento al miglioramento continuo (Okwir, et al., 2018)⁴⁹ e peggioramento delle delivery performance (Vachon e Klassen 2002)⁵⁰. Gli studi presenti in letteratura legati alla complessità si differenziano per la parte di supply chain analizzata (sito produttivo, due stadi della supply chain come, ad esempio, fornitore-cliente, o la rete di imprese) e per la tipologia di ricerca effettuata (applicazione numerica, caso studio, approccio teorico) e possono essere raggruppati in diverse categorie: gli studi quantitativi, gli studi esplorativi, gli studi teorici e quelli volti all'identificazione di strategie per la gestione/riduzione della complessità; questi ultimi verranno trattati nel Capitolo 4. Tra gli studi a carattere quantitativo, focalizzati cioè ad ottenere una misura della complessità della singola impresa/plant produttivo o dell'intera rete, gli studi basati sull'entropia sono l'approccio più comune; sono basati sulla teoria dell'informazione e utilizzando la quantità di informazioni per descrivere lo stato del sistema. La misura dell'entropia lega la complessità della supply chain all'incertezza; all'aumentare dell'incertezza il sistema diventa più complesso, di conseguenza servono più informazioni per descriverlo. Gli approcci esplorativi (o statistici) hanno invece come obiettivo l'identificazione di una relazione tra gli aspetti relativi alla complessità e le performance della supply chain. Infine, all'interno degli studi teorici (o di carattere generale), un primo flusso

⁴⁶ Seth D., Seth N., Dhariwal P., 2017, Application of Value Stream Mapping (VSM) for Lean and Cycle Time Reduction in Complex Production Environments: A Case Study, *Production Planning and Control*, vol 28, No 5, pp. 398–419.

⁴⁷ *Ibidem*

⁴⁸ Battini, D., Persona, A., Allesina, S., 2007, Towards a use of network analysis: quantifying the complexity of supply chain networks, *International Journal of Electronic Customer Relationship Management*, vol. 1, No. 1, pp. 75-90.

⁴⁹ Okwir, S. N., Ginieis, M., J., A. 2018, Performance Measurement and Management Systems: A Perspective from Complexity Theory. *International Journal of Management Reviews*, vol. 20 No. 3, pp 731-754.

⁵⁰ Vachon S., Klassen R. D., 2002, An Exploratory Investigation of the Effects of Supply Chain Complexity on Delivery Performance, *IEEE Transactions on Engineering Management* vol. 49, No 3, pp. 218-230.

concettualizza e studia le supply chain come sistemi complessi adattivi (CAS), con lo scopo di capire le interazioni che avvengono tra gli elementi del sistema e i principi che regolano il suo comportamento. Il focus in questo caso è sull'intera supply chain, su come essa possa essere rappresentata e su come il sistema risponde ai livelli di complessità strutturale e dinamica. Questa prospettiva suggerisce che la risposta alla complessità di una supply chain può emergere in maniera organica attraverso schemi comportamentali e interpretativi, oltre che meccanismi più formali come, ad esempio, la pianificazione collaborativa di previsione e rifornimento, in inglese collaborative planning, forecasting and replenishment (Seifert, 2003)⁵¹. Una seconda prospettiva esamina le supply chain attraverso il concetto di reti sociali complesse, con il focus sulla modalità con cui si instaurano le relazioni tra le parti del sistema e la progressiva costruzione della rete; questa prospettiva non verrà approfondita in questo lavoro di tesi.

2.2.1.1 Studi quantitativi basati sull'entropia

Sebbene l'entropia sia conosciuta come un concetto fisico applicato ai sistemi termodinamici, introdotto per la prima volta da Rudolf Clausius, più tardi alcuni scienziati (ad esempio Shannon⁵²) l'hanno studiata ed applicata anche da un punto di vista statistico. Tra le diverse misure di entropia sviluppate nel tempo, la più nota è quella ideata nell'ambito della teoria dell'informazione da Shannon, che è utilizzata anche nel dominio del supply chain management per valutare la complessità della rete. L'entropia di Shannon è una misura quantitativa per l'incertezza, ovvero la quantità di informazioni che servono o per risolvere un problema oppure per descrivere lo stato del sistema. L'idea alla base è che un evento che ha alte probabilità di accadere, fornisce meno informazioni (incertezza) di un evento che ha basse probabilità di accadere. L'incertezza del sistema è data dalla distribuzione di probabilità delle sue condizioni (definite da una variabile causale discreta x); quando tutte le condizioni del sistema hanno la stessa probabilità di accadere, il sistema

⁵¹ Seifert D., 2003, *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment: How to Create a Supply Chain Advantage*, AMACOM.

⁵² Shannon, C. E., 1948, A mathematical theory of communication, *The bell system Technical Journal* vol. 27, pp. 379-423 e pp. 623-656.

presenta la massima incertezza. In termini matematici, l'entropia di Shannon è definita come segue:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n \rho(x_i) \log_2 \rho(x_i) \quad (1)$$

dove $H(x)$ è l'entropia e $\rho(x_i)$ è la probabilità che l'output del sistema sia nello stato i ($1,2,\dots,n$), $\rho(x_i) \geq 0$, $\sum_{i=1}^n \rho(x_i) = 1$ e $\log_2 0 = 0$.

L'entropia di Shannon ha le seguenti proprietà:

- $\rho(x_i) = 1/n$, dove n rappresenta il numero di possibili stati in un sistema.
- Se un evento ha probabilità 0, allora l'entropia è 0.
- Il range in cui può variare il valore dell'entropia è $0 \leq H \leq \log_2 n$.
- L'entropia raggiunge il suo valore minimo ($H=0$) quando esiste solamente un risultato che ha probabilità uguale ad uno; ciò significa che il risultato è noto con certezza (Figura 2.9).
- L'entropia ha il suo massimo valore ($H = \log_2 n$), quando tutti gli stati hanno la stessa probabilità; in questo caso il sistema è caratterizzato dalla massima incertezza e imprevedibilità. Ad esempio, in un sistema binario ($n=2$), se $\rho=1/2$, l'entropia è massima ($H = 1$).

La tabella 2.1 riporta e descrive brevemente degli articoli presenti in letteratura che utilizzano modelli basati sugli indici entropici per calcolare la complessità della rete, alcuni dei quali vengono approfonditi successivamente.

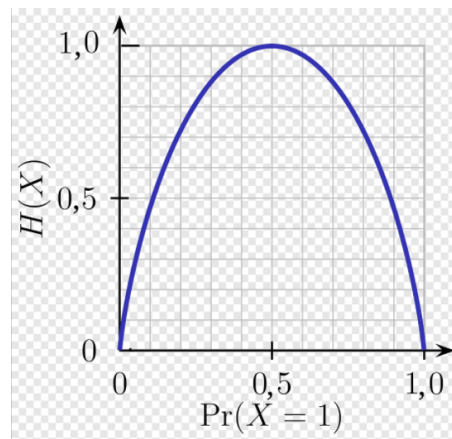


Figura 2.9: Grafico che mostra l'andamento della funzione entropia in funzione della probabilità

Tipologia di complessità	Origine	Focus	Autori	Tipologia di articolo
Statica e dinamica	Interna	Gli autori sviluppano una formula basata sull'entropia per determinare la posizione di un lotto in una linea di assemblaggio, conoscendo la probabilità che questo si trovi in una determinata stazione; inoltre utilizzano la teoria dell'informazione per provare che l'utilizzo delle tecniche JIT e lotti piccoli diminuiscono la necessità di informazioni.	Karp A. and Ronen B., 1992, Improving shop floor control: An entropy model approach, <i>International Journal of Production Research</i> , Vol. 30, No. 4, pp. 923–938.	Applicazione numerica
Statica e dinamica	Interna	Partendo dal dominio della complessità logaritmica, gli autori ricavano delle misure entropiche per la complessità statica e dinamica, fornendo successivamente un'interpretazione operativa del modello.	Frizelle, G., Woodcock, E, 1995, Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. <i>International Journal of Operations & Production Management</i> , Vol. 15, No. 5, pp. 26-39	Caso studio
Statica	Interna	Gli autori sviluppano un framework basato sull'entropia per valutare la complessità statica di un sistema manifatturiero, in funzione della struttura del sistema, della forza delle interazioni e della varietà dei sub-sistemi.	Deshmukh A.V., Talavage J.J., Barash M.M., 1998, Complexity in manufacturing systems, Part 1: Analysis of static complexity, <i>IIE Transactions</i> , Vol. 30, pp. 645-655.	Approccio teorico
Statica e dinamica	Interna	Gli autori propongono due metodi complementari per stimare la complessità di un sistema di produzione.	Calinescu A., et al., 1998, Applying and assessing two methods for measuring complexity in manufacturing, <i>Journal of the Operational Research Society</i> , Vol. 49, No. 7, pp. 723–733.	Caso studio

Dinamica		Gli autori analizzano le ragioni che causano le deviazioni dal piano schedulato; considerano che il processo possa essere in controllo o fuori controllo e calcolano la complessità dinamica attraverso le probabilità condizionate associate a questi stati.	Huatuco H. L., Efstathiou J., Sivadasan S., Calinescu A., 2001, The value of dynamic complexity in manufacturing systems, <i>Proceedings of IV SIMPOI/POMS</i> .	Caso studio
Dinamica	Esterna	Gli autori sviluppano una metodologia basata sull'entropia per misurare ed analizzare la complessità operativa in una diade fornitore-cliente, partendo dalla formula sviluppata da Frizelle e Woodcock.	Sivadasan et al., 2002, An information-Theoretic Methodology for Measuring the Operational Complexity of Supplier-Customer Systems, <i>International Journal of Operations and Production Management</i> , vol. 22, No.1, pp. 80-102	Applicazione numerica
Statica	Interna	Prendendo come riferimento la formula proposta da Calinescu et al., in cui la complessità viene calcolata considerando solamente la distribuzione di probabilità degli stati delle risorse, gli autori propongono una formula che aggiunge un fattore che tiene conto del diverso peso degli stati nella generazione della complessità.	Makui, A. and Aryanezhad, M.B., 2002. A new method for measuring the static complexity in manufacturing. <i>Journal of the Operational Research Society</i> , 54 (5), 555–558.	Approccio teorico
Statica	Interna	Gli autori propongono una misura entropica per la valutazione degli effetti derivanti dalla riorganizzazione e dalla modifica dei processi produttivi attraverso la misurazione quantitativa delle performance del layout del sistema in termini di complessità e throughput.	Shih B. Y., Efstathiou J., 2002, An introduction of network complexity, <i>Proceedings of manufacturing complexity network conference, 9–10 April Cambridge, UK</i> , pp. 249-258.	Applicazione numerica
Statica	Interna	Gli autori introducono un modello per la valutazione della complessità in un sistema di assemblaggio e lo applicano	Fujimoto T., 2003, Assembly process design for managing	Applicazione numerica

		a vari esempi nell'ambito dell'industria automobilistica.	manufacturing complexity because of Product Varieties, <i>International Journal of Flexible Manufacturing Systems</i> , Vol. 15, pp. 283-307.	
Statica	Esterna	Gli autori utilizzano la misura della complessità come indicatore della flessibilità di un'organizzazione. Adottano la rete di Petri per modellare la struttura operativa dell'impresa e analizzano la complessità applicando l'entropia di Shannon.	Arteta B. M., Giachetti R. E., 2004, A measure of agility as the complexity of the enterprise system, <i>Robotics and Computer-Integrated Manufacturing</i> , vol. 20, pp. 495-503	Caso studio
Dinamica		Questo articolo riporta i risultati di cinque anni di ricerca sulla complessità delle supply chain e propone una misura per la valutazione della complessità operativa.	Frizelle G., 2004, Complexity in the Supply Chain, Institute for Manufacturing, University of Cambridge, UK	Caso studio
Dinamica	Esterna	Questo articolo è la continuazione della pubblicazione di Sivadasan et al. (2002); gli autori applicano praticamente la metodologia per misurare la complessità dinamica precedentemente sviluppata. Il principale contributo è la dimostrazione dell'aumento di complessità dinamica dovuta ad una maggiore integrazione tra fornitore e cliente.	Sivadasan S., Smart J., Huaccho Huatuco L., Calinescu A., 2010, Operational complexity and supplier-customer integration: case study insights and complexity rebound, <i>Journal of the Operational Research Society</i> , vol. 61, pp. 1709-1718	Caso studio
Statica e Dinamica	Esterna	Questo articolo rappresenta una seconda fase del lavoro descritto sopra (Battini, et al., 2006), in cui gli autori sviluppano un set di otto indici entropici che possono essere usati per analizzare le reti di imprese e per valutare la loro complessità.	Allesina S., Azzi A., Battini D., Regattieri A., 2010, Performance measurement in supply chains: new network analysis and entropic indexes, <i>International</i>	Applicazione numerica

			<i>Journal of Production Research</i> , vol. 48, No. 8, pp 2297-2321	
Statica e Dinamica	Esterna	L'autore sviluppa delle formule per valutare la complessità statica e dinamica basate sulla teoria di Shannon, con lo scopo di dimostrare che gli indici di complessità aumentano con l'aumentare della differenza nei flussi della rete.	Filiz I., 2011, Complexity in Supply Chains: A New Approach to Quantitative Measurement of the Supply-Chain-Complexity, <i>Supply Chain Management</i> , InTech	Caso studio
Statica	Esterna	In questo articolo gli autori applicano le funzioni legate all'entropia per calcolare la complessità strutturale, considerando quest'ultima caratterizzata da due fattori, il grado di ordine, ovvero il numero di collegamenti all'interno della rete, e la diversità dei membri.	Cheng C-Y., Chen T-L., Chen Y-Y., 2014, An analysis of the structural complexity of supply chain networks, <i>Applied Mathematical Modelling</i> , Vol. 38, pp. 2328-2344.	Applicazione numerica

Tabella 2.1: Alcuni degli studi presenti in letteratura che sfruttano il concetto di entropia per studiare e quantificare la complessità in un'impresa/supply chain

Karp e Ronen⁵³ propongono la seguente formula per il calcolo delle informazioni necessarie per determinare la posizione di un lotto di produzione quando si conosce la sua probabilità di essere in una determinata stazione:

$$H(S) = -\frac{N}{C^2} \cdot \log \frac{N}{P \cdot S \cdot C} - \left(\frac{1}{C} - \frac{N}{P \cdot C^2} \right) \cdot \log \left(1 - \frac{N}{P \cdot C} \right) \quad (2)$$

dove:

- S rappresenta il numero di stazioni
- C è una costante che è calcolata come segue: se il lotto di produzione è singolo è calcolata come il rapporto tra il LT di produzione più il tempo speso nell'area di stoccaggio dei prodotti finiti e il LT di produzione.

53

- P, B e N identificano rispettivamente il numero da produrre per ogni prodotto finito, il numero di lotti e la loro dimensione del lotto ($P = N \cdot C$).

Frizelle e Woodstock⁵⁴ studiano la complessità statica e dinamica in un plant produttivo, focalizzandosi sul contributo che ogni fonte operativa dà alla complessità totale. La formulazione matematica della complessità statica è la seguente:

$$H \text{ statica} = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} \log_2 p_{ij} \quad (3)$$

dove M è il numero di risorse, N è il numero di stati che la risorsa j può avere e p_{ij} è la probabilità che la risorsa j sia nello stato i . Gli autori considerano il processo manifatturiero composto da un insieme di input (items), una risorsa, (ad esempio un centro di lavoro) e un output. Se consideriamo un processo semplicemente come un'operazione di una risorsa, allora la risorsa è disponibile e quindi sta lavorando, oppure è inattiva. In questo caso la probabilità è $1/2$, quindi l'entropia risulta uguale a uno e la complessità statica è uguale al numero di risorse M . In questa formula quindi la complessità statica è rappresentata dal numero di risorse, alla quale è assegnato un peso di $\sum p \log_2 p$, con ogni risorsa che può avere diversi stati (1,2...N). Il peso può essere visto come l'impedimento al flusso causato da ogni risorsa, con la complessità totale che ha effetti negativi sui lead time produttivi e porta ad una maggiore imprevedibilità dei processi. Di conseguenza, se la risorsa (e quindi il processo) non è in funzione, non c'è resistenza al flusso e quindi il peso è pari a 0. Le risorse con un indice di complessità più elevato sono, molto probabilmente, le più difficili da gestire. Questa misura fornisce un'indicazione della difficoltà intrinseca del processo nel produrre i prodotti nel numero e nella varietà richiesta.

La complessità dinamica misura la quantità di informazione necessaria per descrivere lo stato del sistema quando esso non è nello stato "in controllo", ovvero c'è un discostamento dal pianificato al consuntivo; questo concetto può essere tradotto in termini matematici come:

⁵⁴ Frizelle, G., Woodcock, E, 1995, Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 15, No. 5, pp. 26-39

$$H \text{ dinamica } (S^S, S^{NS}) = \{-P \log_2 P - (1 - P) \log_2(1 - P)\} + (1 - P)H'(S^{NS}) \\ = OCI(S^{INC}) + OCI(S^{NC}) \text{ dove OCI sta per "Operational Complex Index"}. \quad (4)$$

La formula soprastante⁵⁵ si riferisce ad un sistema (S) discreto che può essere diviso in due classi, schedulato (S^s) e non schedulato (S^{NS}). La prima comprende l'insieme di traiettorie predicibili che un sistema può seguire; al contrario, nella seconda classe sono inseriti gli stati che caratterizzano il sistema come "non in controllo". OCI (S^{INC}) è una misura delle informazioni richieste per descrivere se il sistema è "in controllo" oppure "fuori controllo", dove P è la probabilità che il sistema sia nello stato che era stato inizialmente pianificato. Nel caso in cui il sistema si discostasse dalla traiettoria preventivata, la complessità ad esso associata è data dal secondo termine, ovvero OCI(S^{NC}), che può essere interpretato come la quantità di informazioni necessarie per misurare il grado di non controllo del sistema, ovvero la deviazione dal pianificato dovuta all'incertezza. H'(S^{NS}) è l'entropia derivante dalle probabilità che il sistema segua traiettorie non schedulate date dallo stato i ($i = 1 \dots n$) nel nodo j ($j = 1 \dots n$), calcolata dagli autori come $-\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N p_{ij} \log_2 p_{ij}$. p_{ij} è la probabilità che, nel caso il sistema fosse (S^{NS}) fuori controllo, la risorsa j si trovi nello stato i .

Deshmukh et al.⁵⁶ propongono la seguente formula per il calcolo della complessità statica:

$$H = -C \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^n \tilde{\pi}_{ijkl} \log \tilde{\pi}_{ijkl} \quad (5)$$

Dove:

- C rappresenta una costante dipendente dall'unità di misura.
- m rappresenta il numero di operazioni.

⁵⁵ Sivadasan S., Efstathiou J., Frizelle G., Shirazi R., Calinescu A., 2002, An Information-Theoretic Methodology for Measuring the Operational Complexity of Supplier-Customer Systems, *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22, No. 1, pp. 80-102.

⁵⁶ Deshmukh A., Talavage J., Barash M. M., 1998, Complexity in manufacturing systems, Part 1: Analysis of static complexity, *IIE Transactions*, Vol. 30, pp. 645-655

- n rappresenta il numero di parti che vengono prodotte contemporaneamente nel sistema produttivo.
- r rappresenta il numero di macchinari associati alla lavorazione di un set di parti e

$\tilde{\Pi} = \{ \tilde{\pi}_{ijkl}, \forall i = \overline{1, m}, \forall j = \overline{1, m}, \forall k = \overline{1, r}, \forall l = \overline{1, n} \}$ identifica l'insieme

normalizzato dei requisiti di produzione con $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^r \sum_{l=1}^n \tilde{\pi}_{ijkl} = 1$.

Secondo gli autori il calcolo della complessità può essere fatto attraverso la misura delle informazioni necessarie per descrivere il sistema e i suoi componenti e il valore deve tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- All'aumentare del numero di parti, di macchinari, di operazioni e della flessibilità del sistema produttivo la complessità risulta maggiore.
- La complessità statica è maggiore se le parti condividono più risorse.

Sivadasan et al.⁵⁷ calcolano la complessità operativa in una diade fornitore-cliente come

$$H = - \sum_{i=1}^F c_i \sum_{j=1}^U (1 - P_{ij}) \sum_{k=1}^R \sum_{l=1}^{NS} p_{ijkl} \log_2 p_{ijkl} \quad (6)$$

in cui

- F è il numero di variazioni di flusso.
- Numero di osservazioni necessarie durante un particolare intervallo di tempo nel quale la variazione i è monitorata.
- U è il numero di prodotti.
- R rappresenta il numero di possibili ragioni per il discostamento tra il dato consuntivo e pianificato.
- P_{ij} identifica la probabilità del prodotto j nel di flusso i di essere nello stato schedulato.
- NS è il numero di stati non schedulati per il prodotto j nel flusso i per la ragione k .

⁵⁷ Sivadasan S., Smart J., Huaccho Huatuco L., Calinescu A., 2010, Operational complexity and supplier-customer integration: case study insights and complexity rebound, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 61, pp. 1709-1718.

- p_{ijk} è la probabilità del prodotto j nel flusso i di non essere nello stato schedulato per la ragione k .

Isik⁵⁸ definisce la complessità come variazione tra i flussi stimati e quelli effettivi, sostenendo che nel caso in cui questa condizione non si verificasse, la complessità avrebbe un valore uguale a zero. Partendo da questo presupposto, propone la seguente formulazione per il calcolo della complessità strutturale e operativa:

$$H^I_S = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\log_2 p_{ij}] p_{ij} d_{ij} \quad (7)$$

$$H^I_D = -(1 - P) \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\log_2 p_{ij}] p_{ij} d_{ij} \quad (8)$$

dove d_{ij} rappresenta la deviazione del dato effettivo dal pianificato e può assumere valori positivi, negativi o essere uguale a zero. Valori negativi di questa misura porterebbero a dei valori complessivi dell'entropia non informativi per il problema, motivo per il quale l'autore considera il valore assoluto della deviazione d_{ij} .

In questo modo, viene considerato un contributo alla complessità delle varie risorse tenendo in considerazione anche di quanto queste si discostano dallo stato “in controllo”. Mediante l'utilizzo di queste formule, quindi, il risultato è più significativo e permette di capire quale fonte contribuisce maggiormente a rendere la rete complessità (e quindi capire dove intervenire prima e con quali azioni correttive). Nel caso studio illustrato nell'articolo, i punti operativi descritti per il calcolo della complessità sono i seguenti:

- Calcolo quantitativo della differenza fra il dato pianificato e quello consuntivo.
- Definizione degli stati in cui si possono trovare le variabili, ovvero “in controllo” e “fuori controllo”
- Definizione degli intervalli all'interno degli stati “in controllo” e “fuori controllo” e creazione della distribuzione di probabilità. È possibile assegnare ad ogni intervallo una descrizione ed un livello di costo. Gli stati più distanti dalla situazione “in controllo” sono caratterizzati da un costo ed una difficoltà gestionale maggiore.

⁵⁸ Filiz I., 2011, Complexity in Supply Chains: A New Approach to Quantitative Measurement of the Supply- Chain-Complexity, *Supply Chain Management*, InTech

- Calcolo della complessità mediante le formule (7) e (8).

Chen-Yang Cheng et al.⁵⁹ applicano le funzioni legate all'entropia per analizzare la complessità strutturale di una catena di imprese, utilizzando in particolare un indice denominato informazione mutua, in inglese AMI (Average Mutual Information). Questa misura dà un'indicazione della dipendenza mutua tra due variabili e mette in relazione le entropie marginali delle variabili, l'entropia condizionale e l'entropia congiunta (Figura 2.9). L'entropia condizionale è una misura della quantità d'informazione necessaria per descrivere il valore di una variabile aleatoria (o casuale) noto il valore di un'altra variabile aleatoria, mentre l'entropia congiunta dà un'indicazione dell'incertezza legata ad un insieme di variabili; questa misura fornisce un'indicazione sull'entropia legata ad un evento come, ad esempio, “un flusso esce da un nodo i appartenente alla rete ed entra in un nodo j ”.

L'informazione mutua presente in Figura 2.10 viene calcolata nel seguente modo:

$$\begin{aligned} I(X;Y) &= H(X) - H(X|Y) = H(X) - H(Y|X) \\ &= H(X) + H(Y) - H(X,Y) \\ &= H(X,Y) - H(X|Y) - H(Y|X) \end{aligned}$$

dove:

- $I(X;Y)$ è l'informazione mutua
- $H(X)$ ed $H(Y)$ sono le entropie marginali
- $H(X|Y) = H(Y|X)$ sono le entropie condizionali
- $H(X,Y)$ è l'entropia congiunta

Una catena di approvvigionamento può essere descritta attraverso le probabilità di transizione di “unità” da monte a valle (beni, informazioni, pallets, capitali) e l'AMI viene calcolato dagli autori attraverso le entropie in ingresso e in uscita da ogni nodo (imprese) della supply chain.

⁵⁹ Cheng C-Y., Chen T-L., Chen Y-Y., 2014, An analysis of the structural complexity of supply chain networks. *Applied Mathematical Modelling* vol. 38, pp. 2328-2344.

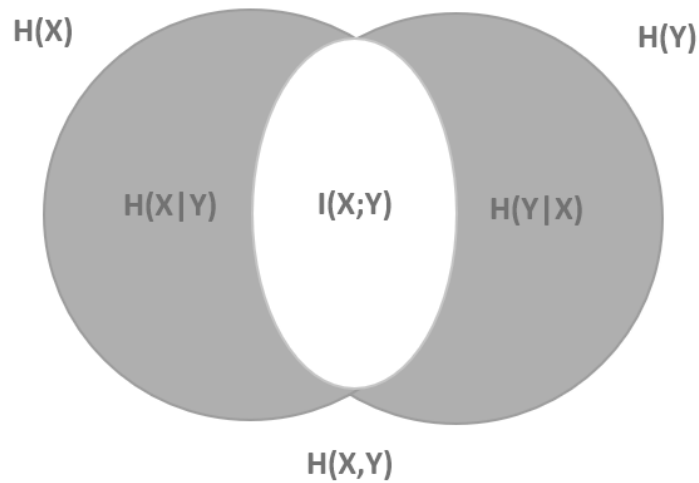


Figura 2.10: Relazioni tra mutua informazione ($I(X;Y)$), entropie marginali ($H(X)$ e $H(Y)$), entropie condizionali ($H(X|Y)$ e $H(Y|X)$) ed entropia congiunta ($H(X,Y)$)

Considerando una supply chain costituita da i aziende a monte e j aziende a valle (Figura 2.11), le formule sopra riportate possono essere applicate come di seguito:

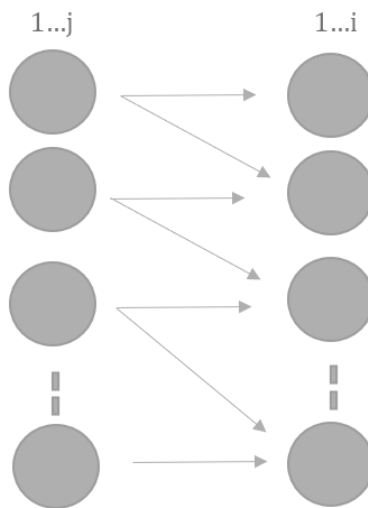


Figura 2.11: Rappresentazione di una supply chain con j nodi a monte e i nodi a valle

$$H(O) = -\sum_{i=1}^M (\sum_{j=1}^N p_{ij}) \log_2 (\sum_{j=1}^N p_{ij}) \text{ che calcola l'incertezza relativa ai flussi in output dai nodi} \quad (9)$$

$$H(I) = -\sum_{j=1}^N (\sum_{i=1}^M p_{ij}) \log_2 (\sum_{i=1}^M p_{ij}) \text{ che calcola l'incertezza relativa ai flussi in input ai nodi} \quad (10)$$

$$H(I|O) = -\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{\sum_{k=1}^N p_{ik}} \text{ che calcola l'incertezza dei flussi in output dei nodi conoscendo i nodi in input} \quad (11)$$

$$H(O|I) = -\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{\sum_{l=1}^M p_{lj}} \text{ che calcola l'incertezza dei flussi in input ai nodi conoscendo i nodi da cui provengono} \quad (12)$$

$$H(I, O) = -\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M p_{ij} \log_2 p_{ij} \text{ che calcola l'incertezza complessiva della rete} \quad (13)$$

p_{ij} è la probabilità di transizione di un'unità da un compartimento i ad un compartimento j , è assunta come proporzionale al flusso da i a j .

$$\text{AMI} = H(O) - H(O|I) = H(I) + H(O) - H(I, O) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{\sum_{k=1}^N p_{ik} \sum_{l=1}^M p_{lj}} \quad (14)$$

L'AMI deriva dalle funzioni dell'entropia e rappresenta la misura del grado di condivisione delle informazioni tra i membri delle organizzazioni; più è grande questo valore e più sono le informazioni condivise. Configurazioni di flussi più vincolate sono quelle in cui esistono un numero limitato di flussi; in questo caso conoscendo che un flusso parte da un nodo i , abbiamo anche l'informazione su quale nodo j sarà diretto, portando il valore dell'AMI al suo massimo valore. Altri valori di AMI caratterizzano una rete più efficiente, in cui i flussi sono minori e più organizzati. Al contrario, una rete caratterizzata da un basso valore di AMI implica una minore condivisione di informazioni per flusso e ogni azienda ha bisogno di più archi per capire la struttura della rete (Figura 2.12). Se tutti i nodi fossero collegati agli altri, l'incertezza sarebbe massima, di conseguenza $H(I, O)$ sarebbe massima e il valore dell'AMI diventerebbe $H(I) + H(O) - H(I, O) = 0$.

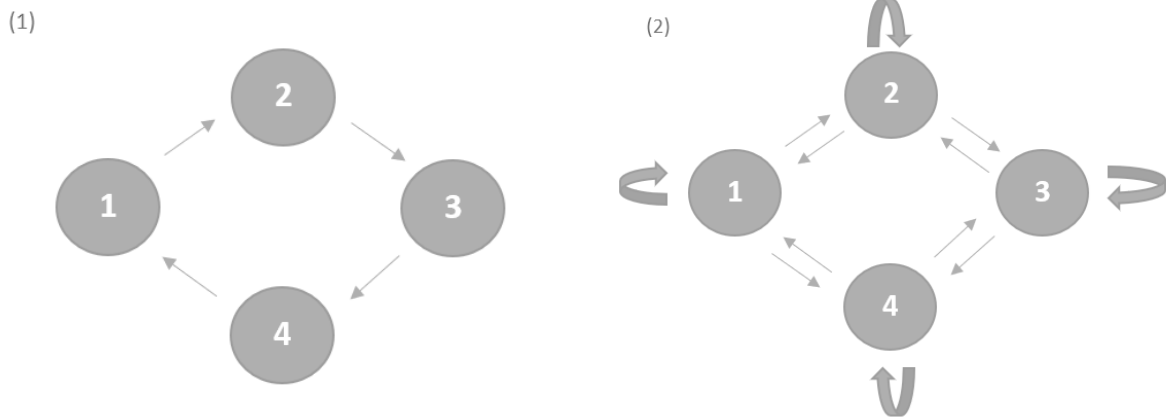


Figura 2.12: (1) network con massimo livello organizzativo, AMI = Max
 (2) network con massima diversità di flussi, AMI = 0

A seguito della definizione di questo indicatore, gli autori presentano e verificano le seguenti preposizioni:

- Quando il grado di ordine (ossia il grado di connessione tra l'azienda e gli altri nodi della supply chain) è più basso, l'incertezza che caratterizza la rete è maggiore; più è complicata la supply chain e più il valore dell'AMI è basso.
- Quando l'AMI presenta il suo massimo valore, la supply chain ha il massimo grado di ordine; in questa condizione l'incertezza e quindi la complessità della supply chain sono basse. In questo caso, i membri della supply chain hanno tutte le informazioni condivise, ovvero tutte le informazioni in input e output dai nodi possono essere conosciute dagli altri attori.
- Più aumenta la diversità e il numero di flussi tra i nodi della rete, più informazioni sono necessarie per descriverla. Possono esserci quattro tipi di configurazioni diverse, infatti un nodo può avere un flusso in entrata e in uscita, un flusso in entrata e più flussi in uscita, più flussi in entrata ed uno in uscita e più flussi in entrata e più flussi in uscita. A questo proposito per ogni membro può essere identificata una tipologia di struttura (tabella 2.2), in cui $o(\text{tipologia})$ è il numero di nodi f con quella struttura e $p(\text{tipologia})$ è la distribuzione.

Tipologia	o(tipologia)	p(tipologia)
Tipologia ₁	o(tipologia ₁)	p(tipologia ₁)
Tipologia ₂	o(tipologia ₂)	p(tipologia ₂)
..		
Tipologia _f	o(tipologia _f)	p(tipologia _f)
$\sum o(\text{tipologia}_f)$	n	1

Tabella 2.2: Matrice delle tipologie di strutture dei membri del sistema (Cheng et al., 2014)

L'entropia derivante dalla tipologia di nodi della supply chain viene calcolata dagli autori come:

$$H(\text{tipologia}) = - \sum_{i=1}^f p(\text{tipologia}_i) \log_2 p(\text{tipologia}_i) \quad (15)$$

$$\text{con } p(\text{tipologia}_i) \geq 0 \forall i \in \{1, 2, \dots, f\}, \sum_{i=1}^f p(\text{tipologia}_i) \geq 1$$

Infine, la complessità totale della rete può essere calcolata come:

$$C_{st} = R(I, O) * TST + H(\text{tipologia}) * n \quad (16)$$

Battini et al.⁶⁰ applicano i paradigmi relativi all'analisi dei network comprendenti delle metodologie per l'analisi sistematica dei flussi e gli indicatori ecologici alle reti di imprese, con lo scopo di calcolare la complessità e il livello di organizzazione di un network industriale. Nel loro articolo individuano delle analogie tra i sistemi ecologici e i sistemi industriali, ovvero la similitudine nella struttura, nei flussi e nei nodi. La metodologia da loro proposta comprende i seguenti punti:

- 1- Misurazione dei flussi di beni, finanziari e le interazioni tra i nodi della rete.
- 2- Costruzione di un network di flussi (Figura 2.13), che possono essere divisi in:

(1) input dall'esterno

⁶⁰ Battini, D., Persona, A., Allesina, S., 2007, Towards a use of network analysis: quantifying the complexity of supply chain networks, *International Journal of Electronic Customer Relationship Management*, vol. 1, No. 1, pp. 75-90.

- (2) flussi tra i nodi della rete
- (3) output ad altre reti
- (4) “perdite di dissipazione”

3- Costruzione di una matrice di flussi e calcolo del TST (Total System Throughput), che dipende sia dalla portata dei flussi che dal numero di nodi della rete. La matrice che viene costruita dagli autori contiene nelle colonne i nodi da cui partono le transizioni e nelle righe i nodi a cui arrivano; la Tabella 2.3 ne riporta un esempio. In questo esempio il TST è così calcolato:

$$TST = \sum_{i=0}^{N+2} \sum_{j=0}^{N+2} t_{ij} = t_{\dots} = t_{ImpA} + t_{ImpB} + t_{AB} + t_{BC} + t_{AD} + t_{BD} + t_{CD} + t_{BExp} + t_{DExp} + t_{ADis} + t_{BDis} + t_{CDdis} + t_{Ddis}$$

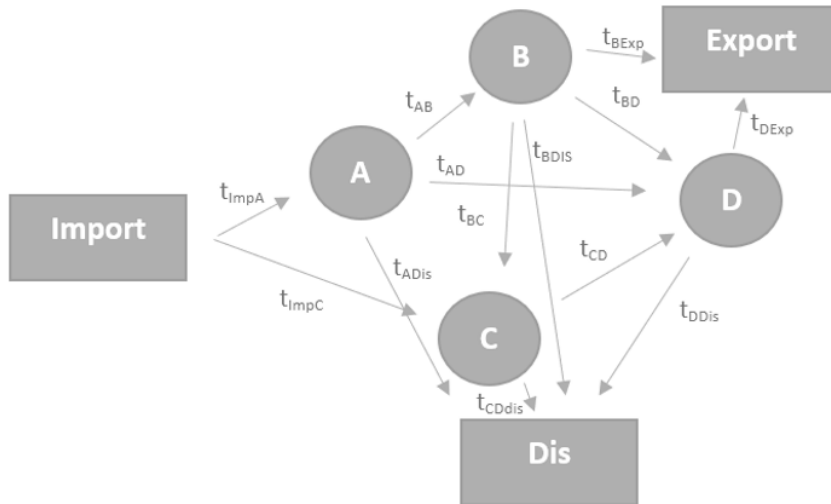


Figura 2.13: Esempio di network dei flussi relativo a quattro nodi (A,B,C,D)

	Import	A	B	C	D	Export	Dis
Import	0	t _{ImpA}	t _{ImpB}	0	0	0	0
A	0	0	t _{AB}	0	t _{AD}	0	t _{ADis}
B	0	0	0	t _{BC}	t _{BD}	t _{BExp}	t _{BDis}
C	0	0	0	0	t _{CD}	0	t _{CDdis}
D	0	0	0	0	0	t _{DExp}	t _{DDis}
Export	0	0	0	0	0	0	0
Dis	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 2.3: Matrice dei flussi

- 4- Rappresentazione della rete mediante un insieme di probabilità di transizione delle unità (di carico, truck, tonnellate di materiale, ecc.). La probabilità che un'unità si muova da i a j è proporzionale al flusso da i a j , ovvero $p_{ij} = \frac{t_{ij}}{TST}$
- 5- Calcolo degli indici del network (ad esempio l'indice AMI)
- 6- Comparazione dei risultati e identificazione delle parti critiche/colli di bottiglia
- 7- Miglioramento e controllo dei cambiamenti nella rete

Allesina et al.⁶¹ introducono degli ulteriori indici caratterizzanti la rete, tra cui "l'ascendenza" (A), calcolata come il prodotto dell'AMI per il TST. Questo indicatore dà come risultato una combinazione dei due fattori caratterizzanti i flussi, ovvero la dimensione (TST) e l'organizzazione (AMI). Il TST non dà un'indicazione della distribuzione dei prodotti lungo i flussi; infatti, reti con valori medesimi di TST potrebbero avere configurazioni di flusso anche molto diverse; per tale motivo integrando nella formula anche l'AMI è possibile fare un'analisi più approfondita della rete, calcolando la parte di beni, capitali e informazioni che la rete gestisce in modo efficiente.

Un ulteriore indicatore presentato è la capacità di sviluppo della rete (C), calcolata attraverso la moltiplicazione di TST per $H_{I,O}$, che rappresenta il potenziale massimo di sviluppo della rete in termini di organizzazione. La capacità C è composta da flussi organizzati (A) e ridondanti (ϕ).

2.2.1.2 Studi legati alla complessità del prodotto

Oltre alla misurazione della complessità basata sull'origine e la tipologia, la letteratura si è focalizzata anche sulla valutazione della complessità legata al prodotto. In questa parte vengono descritti quattro approcci che possono essere applicati praticamente per questa misurazione.

⁶¹ Allesina S., Azzi A. Battini D., Regattieri A., 2010, Performance measurement in supply chains: new network analysis and entropic indexes, *International Journal of Production Research*, vol. 48, No. 8, pp. 2297-2321.

Il primo metodo analizzato è quello di Fredendall e Gabriel⁶²; secondo gli autori sono quattro le dimensioni legate al prodotto che contribuiscono alla complessità:

- Il numero di prodotti
- Il numero di componenti
- Il numero di livelli della struttura del prodotto
- Il grado di comunanza tra i componenti

Considerando queste dimensioni, gli autori propongono la seguente formula:

$$C = (E + C) \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=1}^e V_i \left[\frac{(Levels(E_i)-1) + \sum_j |c_{ij}| (Levels(c_{ij})-1)}{|c_i|+1} \right]}{\sum_{i=1}^e V_i} \right\} \cdot (2 - TCCI) \quad (17)$$

dove

- E rappresenta il numero di prodotti finiti
- C rappresenta il numero di componenti
- V_i è il volume del prodotto i-esimo
- I livelli rappresentano i livelli del prodotto e componente i-esimo
- TCCI (Total constant commonality index), che è una modifica dell'indice DCI (Degree of commonality index) e prende in considerazione la comunanza dei componenti; è calcolato come $1 - \frac{d-1}{\sum_{j=1}^d \phi_j - 1}$ dove d è il numero di componenti distinti facenti parte dei prodotti dell'azienda e ϕ_j rappresenta il numero di genitori diretti del componente j-esimo. Questo indice può avere un valore compreso tra 0 (nessuna comunanza) a 1 (un componente utilizzato in tutti i prodotti). Nella formula finale viene sottratto a due, cosicché se la c'è completa comunanza, il valore totale è uno e questo non contribuisce all'aumento della complessità.

⁶² Fredendall L. D., Gabriel T. J., 2003, Manufacturing Complexity: A Quantitative Measure, *POMS Conference*, Savannah, GA.

In questa formula non viene considerata la complessità associata all'acquisto ed il rifornimento di materie prime e componenti, ma solamente i prodotti finiti e i componenti prodotti; infatti, al numero di livelli di quest'ultimi ne viene sottratto uno.

Bashir e Thompson⁶³ calcolano la complessità del prodotto partendo dalla decomposizione funzionale (figura 2.14). Una volta identificate le funzioni e sotto-funzioni si identificano i loro legami e si forma un diagramma ad albero di tutte le funzioni (Figura 2.15) al quale si applica la seguente formula:

$$PC = \sum_{j=1}^l F_j \cdot k_j \quad (18)$$

dove F_j è il numero di funzioni al livello j , l è il numero di livelli e k_j è il peso per il livello j .

Keating⁶⁴ propone una formula per la valutazione del design di un prodotto di facile applicazione basata sul numero di componenti e le loro interazioni:

$$C = M^2 + I^2 \quad (19)$$

dove M è il numero di moduli e I è il numero di interazioni o interfacce tra di loro. Roy et al.⁶⁵, infine, propongono una metrica che valuta la complessità del prodotto basata sulle varianti del prodotto finito e i loro componenti:

$$Design\ ratio\ (i) = n_i/n \quad (20)$$

⁶³ Bashir H. A., Thompson V., 1999, Estimating design complexity, *Journal of Engineering Design*, vol. 10, No. 3, pp. 247-257

⁶⁴ Keating M., 2000, Measuring design quality by measuring design complexity, *Proceedings of the IEEE 2000 First International Symposium on Quality Electronic Design*, pp. 103-108.

⁶⁵ Roy R., Evans R., Low M. J., Williams D. K., 2011, Addressing the impact of high levels of product variety on complexity in design and manufacture, 225, *Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1939-1950.

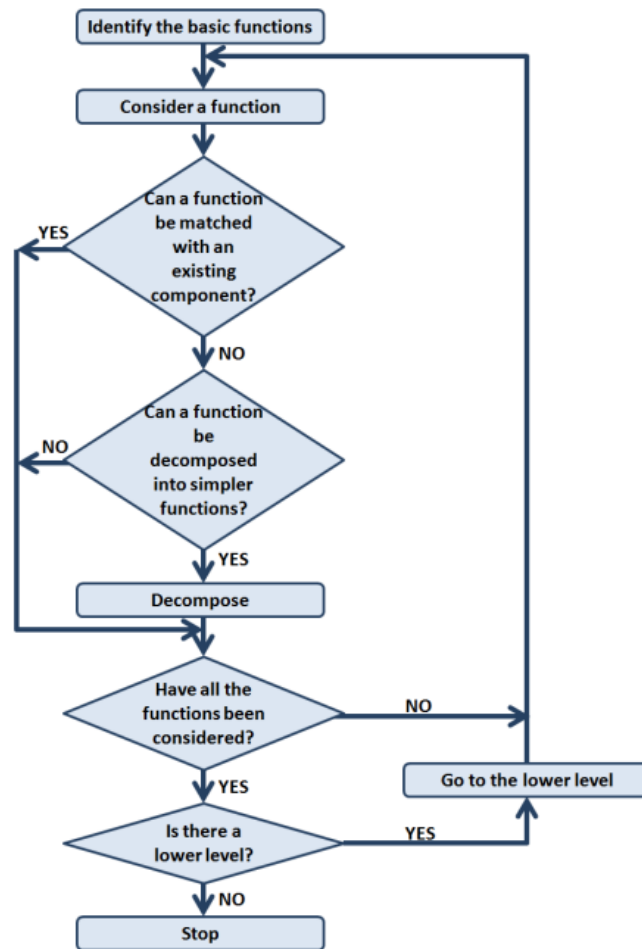


Figura 2.14: Step per la decomposizione funzionale (Bashir e Thompson,)

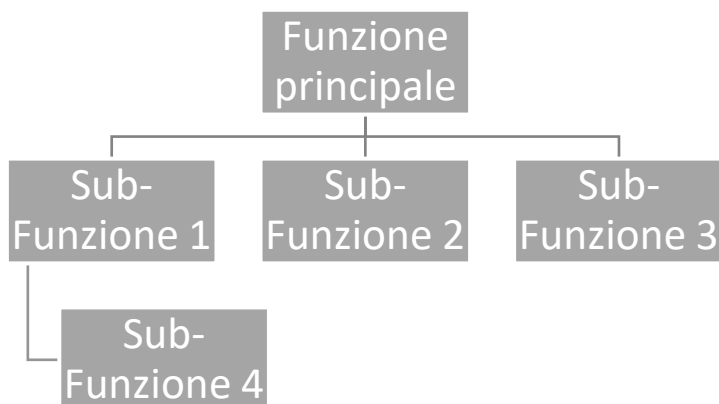


Figura 2.15: Diagramma ad albero delle funzioni

dove n_i rappresenta il numero di varianti di prodotto che utilizzano il componente i e n è il numero di varianti di prodotto. Questo indice non è una misura diretta della complessità ma identifica il grado di comunanza dei componenti e può assumere valori che sono compresi tra 0 (bassa comunanza) e 1 (quando tutte le varianti di prodotto utilizzano il componente j -esimo); è possibile calcolare la complessità aggregata considerando tutti i design ratio applicando la seguente formula:

$$\sum_{i=1}^n (1 - \text{Design ratio}(i)) \quad (21)$$

Gli step per il calcolo della complessità proposti dagli autori sono i seguenti:

1. Quantificare il numero di varianti n dalle BOM del prodotto.
2. Per ogni componente calcolare il numero di varianti nella quale viene utilizzato (n_i).
3. Calcolare il design ratio per ogni componente applicando (20).
4. Calcolare la complessità applicando (21).

2.2.1.3 Studi esplorativi

In questa sezione sono riportati degli articoli (Tabella 2.4) che mirano ad indentificare e testare un legame tra la complessità della rete e alcuni aspetti legati alla sua performance.

Tipo di complessità	Focus	Autori
Statica e dinamica	L'autore studia la relazione tra le delivery performance e la complessità della supply chain; considerando quest'ultima caratterizzata da tre fattori (incertezza, complessità tecnologica e sistemi organizzativi), attraverso uno studio empirico trova un legame significativo solamente tra l'incertezza e le delivery performance (velocità ed affidabilità).	Milgate M, 2001, Supply chain complexity and delivery performance: an international exploratory study, <i>Supply Chain Management: An International Journal Volume</i> , Vol. 6, No. 3, pp. 106-118
Statica e dinamica	In questo articolo gli autori analizzano il legame tra la complessità della	Vachon S, Klassen R. D., 2002, An Exploratory Investigation of the Effects of

	supply chain e le delivery performance; in questo caso la complessità è concettualizzata attraverso due dimensioni: quella tecnologica, che racchiude i prodotti, i processi e le infrastrutture, e quella legata all'elaborazione delle informazioni, inerente all'incertezza all'interno della rete.	Supply Chain Complexity on Delivery Performance, <i>IEEE Transactions on Engineering Management</i> Vol. 49, No 3, pp. 218-230.
Statica e dinamica	Questo articolo indaga come la complessità possa influire sulle performance di un'azienda manifatturiera.	Perona M., Miragliotta G., 2004, Complexity management and supply chain performance assessment. A field study and a conceptual framework, <i>Int. J. Production Economics</i> , Vol. 90, pp. 103–115.
Statica e dinamica	Gli autori sviluppano un modello e lo testano in modo empirico, dimostrando che la complessità a monte, interna ed a valle influenzano negativamente le performance del plant produttivo.	Bozarth C., Warsing D., Flynn B., 2009, The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance, <i>Journal of Operations Management</i> , vol. 27, No. 1, pp. 78-93
Statica e dinamica	Questo articolo mira a comprendere se e quanto la configurazione della rete di imprese influenza, in termini di complessità, la sua visibilità; propone un approccio strutturato per misurare quantitativamente la complessità.	Caridi M., Crippa L., Perego A., Sianesi A., Tumino A., 2010, Do virtuality and complexity affect supply chain visibility?, <i>Int. J. Production Economics</i> , vol. 127, pp. 372-383.
Statica e dinamica	Attraverso un questionario, gli autori si pongono l'obiettivo di dimostrare che un'integrazione nella relazione tra fornitore e cliente caratterizzata da un'alta complessità, porta ad un miglioramento delle performance (ad esempio riduzione dei costi, servizio migliorato, ecc.).	Gimenez C, van der Vaart T., van Donk D. P., 2012, Supply chain integration and performance: the moderating effect of supply complexity, <i>International Journal of Operations & Production Management</i> , Vol. 32, No. 5, pp. 583-610
Orizzontale, verticale e spaziale	In questo studio, gli autori sviluppano un modello con il quale testano gli effetti della complessità sulla frequenza delle oscillazioni (in inglese	Bode C., Wagner S. M., 2015, Structural drivers of upstream supply chain complexity and the frequency of supply chain

	disruptions) nella rete, dimostrando che la complessità orizzontale, verticale e spaziale aumentano la frequenza delle oscillazioni e si auto-alimentano.	disruptions, <i>Journal of Operations Management</i> , vol. 36, pp. 215-228
--	---	---

Tabella 2.4: Descrizione di alcuni degli studi esplorativi presenti in letteratura

2.2.1.4 Supply chain come CAS

Il concetto di Complex Adaptive System (CAS) accostato al supply chain management si trova per la prima volta nell'articolo di Choi et al⁶⁶. In questo articolo gli autori riconoscono la supply chain come un sistema complesso adattivo e si focalizzano sull'intero network, sostenendo che molto spesso le reti di imprese emergono dall'interazioni tra di esse, senza delle azioni di progettazione deliberate da una singola entità. Secondo gli autori, imporre troppo controllo porta ad una riduzione di flessibilità ed innovazione, mentre lasciare troppa libertà può minare la strategia manageriale. Un CAS è un sistema che interagisce con l'ambiente esterno evolvendosi e auto-organizzandosi, caratterizzato da un comportamento non sempre prevedibile; a sua volta l'ambiente subisce un'evoluzione determinata dall'interazione con i sistemi complessi adattivi. La Figura 2.14 mostra tre dimensioni che gli autori prendono in considerazione nello studio di un CAS: i meccanismi interni al sistema, l'ambiente e l'evoluzione d'insieme.

1.1 Meccanismi interni

- Agenti (*Agents*), ovvero le entità che popolano il sistema complesso (che in una supply chain sono costituite dalle imprese), e schemi (*schema*) che si riferiscono a regole, valori, norme e procedure condivise tra gli agenti e che guidano il processo decisionale. Questi ultimi dipendono dall'entità delle relazioni (ad esempio di breve o lunga durata); inoltre, maggiori sono gli schemi condivisi, migliore sarà la performance degli attori. Riflettendo questo concetto nel contesto imprenditoriale, più schemi vengono

⁶⁶ *Ibidem*

condivisi dalle imprese (lingua, procedure, sistemi di pianificazione e controllo, sistemi informativi), migliore sarà la performance della rete.

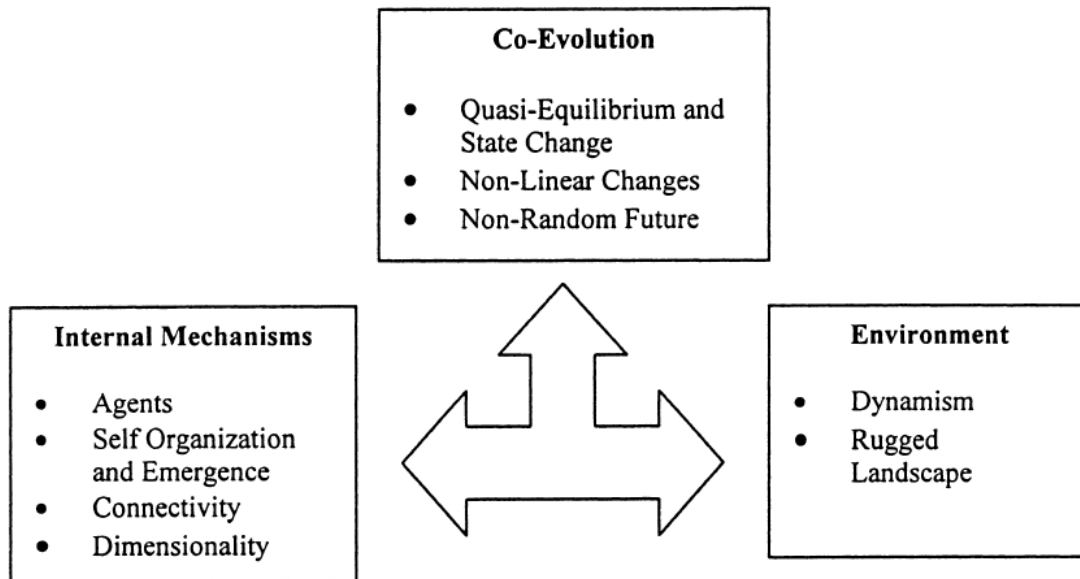


Figura 2.14: Dinamiche sottostanti ai sistemi complessi (Choi, et al., 2001)

- Auto-organizzazione (*Self organisation*), ossia il fatto che la struttura ed il comportamento del sistema sono determinati dall'interazione tra le parti. Una singola entità non può controllare l'intero sistema: un assemblatore finale, ad esempio, sceglie i suoi fornitori di primo e, in alcuni casi, di secondo livello, ma non ha controllo sul resto della supply chain. Gli altri membri della supply chain individuano autonomamente i propri partners, contribuendo a dare origine alla struttura della supply chain in modo probabilistico. Questo implica un perpetuo adattamento delle imprese ai cambiamenti che interessano i propri clienti e fornitori. Inoltre, le imprese che meglio riescono a trasformare il loro modo di lavorare in base alle esigenze dei clienti, alle caratteristiche dei fornitori e dei competitors, sopravviveranno più a lungo di imprese statiche.
- Connettività (*Connectivity*), rappresentata dai molteplici legami tra gli attori appartenenti alla supply chain. Le connessioni tra le aziende sono di varia natura e legano aziende che altrimenti sarebbero slegate. Un'azienda produttrice di detersivi, ad esempio, si troverà a monitorare anche i mercati delle materie prime, come ipoclorito o soda caustica, ordinando in

base alla disponibilità ed i prezzi nel mercato a monte dei fornitori di queste materie. Una bassa reperibilità di questi materiali porterà ad un aumento del prezzo da parte dei fornitori e quindi ad un aumento del prezzo per i clienti finali. Un'azienda consapevole ed attenta all'ambiente esterno (non solo ai fornitori di primo livello ma anche più a monte) è migliore nella gestione dei materiali e più reattiva alle opportunità che si presentano (come sviluppi tecnologici significativi nel settore).

- Dimensionalità (*Dimensionality*), che si riferisce ai gradi di libertà consentiti alle imprese all'interno della supply chain. Molto spesso, dove c'è la necessità di controllo della supply chain, vengono implementati sistemi di controllo che limitano la variabilità nel comportamento, come normative (ad esempio nell'ambito della qualità la normativa ISO 9000) oppure sistemi informatici ERP condivisi (come SAP). L'implementazione di tali sistemi porta ad un aumento dell'efficienza, di contro però possono ridurre le attività innovative, che dipendono anche dalla libertà che viene concessa ai partners dell'impresa.

2.1 Ambiente

- Dinamicità (*Dynamism*) che caratterizza le supply chain. Le connessioni tra le aziende sono in continua evoluzione; alcuni esempi sono l'inclusione di nuovi fornitori o l'espansione del bacino dei clienti. Cambiamenti come innovazioni radicali o nuove normative hanno il potere di scardinare i meccanismi e paradigmi preesistenti, costringendo le aziende a adattarsi.
- "Paesaggi difficili" ("*Rugged landscape*"): se si rappresenta l'ambiente in cui un'impresa opera con un paesaggio, si può pensare alla vetta più alta come lo stato ottimale, che potrebbe essere rappresentato dal miglior prodotto realizzabile o da un ottimale livello di servizio. Se pensiamo ad un prodotto formato da un insieme di attributi, non sempre l'ottimizzazione degli stessi (e quindi locale) porta all'ottimizzazione globale. Se così fosse, il paesaggio sarebbe facile e la strada per la vetta intuitiva. Molto spesso sono presenti delle interdipendenze tra gli attributi che rendono difficile l'individuazione del punto ottimale. Gli autori citano il seguente esempio: nell'assemblaggio di un libro non si può completamente disaccoppiare la qualità della carta dalla qualità della copertina; infatti, le caratteristiche di

quest'ultima influenzano il processo di rilegatura. In alcuni casi l'ottimizzazione locale può portare ad oscillazioni nel sistema (bullwhip effect), e al peggioramento delle performance globali.

3.1 Co-evoluzione

- Quasi-equilibrio e cambiamento di stato (*Quasi-equilibrium and state change*), che si riferisce alla tendenza della supply chain di mantenere una configurazione inalterata alle turbolenze esterne; di contro, se allontanate dal punto di equilibrio, le supply chain possono intraprendere un cambiamento strutturale, che può essere innescato anche da una minima oscillazione. Un esempio è rappresentato dal settore automobilistico: durante gli anni '70 ed '80 le tre principali aziende (definite "the big three"), ovvero Ford, GM e Chrysler, erano solite stringere partnership di breve durata con molti fornitori; dopo il cambio di paradigma delle aziende giapponesi, caratterizzato da relazioni più strette e durature, anche le aziende americane iniziarono a cambiare il modello di relazioni, spinte dall'enfatizzazione di aspetti quali il prezzo e la qualità (i fornitori dei mercati esteri infatti fornivano prestazioni migliori); questa transizione inizialmente localizzata diede inizio ad un cambiamento strutturale della supply chain, che portò alla fine degli anni '80 al passaggio ad una rete a livelli e con meno fornitori consolidati. Ford, ad esempio, passò da 2400 fornitori di primo livello a 1400 (Ballew e Schnorbus, 1994)⁶⁷.
- Cambiamenti non lineari (*Non-linear changes*), che impattano gli attori in modo non prevedibile.

In maniera più intuitiva una supply chain può essere associata ad un sistema complesso adattivo per i seguenti motivi:

- È formata da numerosi elementi come dipendenti, prodotti, mezzi di trasporto, operatori logistici, clienti, fornitori e così via.

⁶⁷ Ballew B., Schnorbus R., 1994, Realigning in auto supplier industry, *Economic Perspectives*, vol. 18 No. 1, pp. 2-9.

- Sistema aperto che interagisce in modo non lineare con attori appartenenti alla propria rete o esterni ad essa.
- Flusso ingente di informazioni, prodotti, servizi tra gli attori della rete.
- Costante cambiamento della rete che evolve per cause dovute ad esempio a motivazioni strategiche aziendali, norme o pressioni sociali, leggi, avvicinamento alle esigenze dei consumatori.

Successivamente alla pubblicazione di questo articolo, svariati autori hanno approfondito l'argomento in diversi ambiti (ad esempio ingegneria industriale, fisica, sviluppo prodotto, scienze politiche, ecc.), sebbene siano pochi gli studiosi che hanno abbracciato questa teoria nel dominio del supply chain management. Tra questi Pathak et al.⁶⁸ studiano la teoria dei CAS evidenziando il suo potenziale per integrare le attuali metodologie inerenti alla gestione del supply chain management e forniscono un framework per creare e convalidare nuove teorie da applicare nel mondo reale, mentre Zhao et al.⁶⁹ propongono e validano due tipologie di strategie adattive che le aziende possono adottare per limitare le oscillazioni.

⁶⁸ Pathak S. D., Day J. M., Nair A., Sawaya W. J., Kristal M. M., 2007, Complexity and adaptivity in supply networks: building supply network theory using a complex adaptive systems perspective, *Decision Sciences*, vol. 38, no. 4, pp. 547-580.

⁶⁹ Zhao K., Zuo Z., Blackhurst J. V., 2019, Modelling supply chain adaptation for disruptions: An empirically grounded complex adaptive systems approach. *J Oper Manag.*, vol. 65, pp. 190–212.

Capitolo 3

Driver della complessità

Questo capitolo ha l'obiettivo di fornire una panoramica sulle diverse fonti sottostanti la complessità in una supply chain e sulle metodologie per identificarle, classificarle e prioritarle. A tal proposito verranno riportate alcune delle possibili cause della complessità all'interno delle reti di imprese basate sull'analisi della letteratura scientifica, tenendo però in considerazione che ogni azienda ha caratteristiche differenti derivanti dall'ambiente competitivo in cui è inserita, dalla struttura fisica e organizzativa e dalla strategia aziendale e per questo motivo deve essere analizzata individualmente; i driver, inoltre, a seconda del caso preso in considerazione, possono essere di varia natura, molteplici e in continuo cambiamento a causa di fattori come la globalizzazione, la customizzazione, l'outsourcing, l'approvvigionamento su scala globale, la nascita di prodotti tecnologicamente sempre più avanzati e la ricerca della sostenibilità. Fare un'analisi interna ed esterna all'azienda per studiare e comprendere i driver è il primo passo per implementare una corretta strategia per la gestione e/o riduzione della complessità. In questa fase, oltre ad individuare e classificare i fattori legati alla complessità, si dovrebbero anche chiarire le interdipendenze e le relazioni tra di essi, con lo scopo di dare un'importanza relativa ai driver ed essere a conoscenza degli effetti conseguenti alla loro specifica gestione.

3.1 Identificazione e classificazione dei driver

Per driver si intendono quei fattori che influenzano la complessità di un sistema e il raggiungimento di un target aziendale; sono responsabili per l'aumento del livello di complessità e aiutano a definire le caratteristiche della complessità di un sistema (Vogel e Lasch, 2016)⁷⁰ e, per tale motivo, è fondamentale definirli prima di mettere in pratica qualsiasi azione correttiva volta alla gestione della complessità.

In letteratura molti articoli hanno contribuito all'identificazione dei driver, motivo per il quale la ricerca può essere fatta mediante un'analisi delle pubblicazioni

⁷⁰ Vogel W., Lasch R, 2016, Complexity drivers in manufacturing companies: a literature review, *Logist. Res.*, vol. 9, No. 25.

accademiche attraverso banche dati come Google scholar, ISI Web of Science, Science Direct, Springer, Emerald e Proquest. Una volta identificati attraverso questi strumenti, i driver possono essere discussi con degli esperti del settore, per garantire solidità, integrità e affinità con il concetto di complessità e delle caratteristiche aziendali intrinseche del caso specifico; inoltre è importante fare una loro classificazione per renderne più chiara l'origine, quale parte dell'impresa impattano o altre caratteristiche oltre al fatto che una categorizzazione aiuta inoltre la loro visualizzazione ed analisi.

Bozarth et al.⁷¹ identificano undici driver e dimostrano che la complessità originata, indifferentemente dalla parte della supply chain in cui viene generata (interna, upstream o downstream), ha un impatto sulle performance dello stabilimento; la classificazione utilizzata in questo articolo è in base alla parte di supply chain in cui si generano (upstream, interna e downstream) e alla tipologia di complessità (statica o dinamica). Serdarasan⁷² esamina i driver (ne identifica diciotto) che vengono riscontrati in diverse catene di fornitura e presenta delle soluzioni di strategie per ognuno di essi; i driver e le strategie sono ricavati da risorse come reports, archivi, osservazioni e interviste. Anche in questo caso la classificazione è per origine e tipologia, con la differenza che nella prima vengono presi in considerazione anche fattori esterni all'impresa (come i cambiamenti nei modelli di consumo) e nella seconda anche la complessità decisionale (oltre a quella statica e dinamica). Vogel e Lasch⁷³ categorizzano i driver in interni ed esterni, suddividendo i primi in "internal correlated complexity" e "internal autonomous complexity" e i secondi in "society complexity" e "market complexity", come mostrato in Figura 3.1. Piya et al.⁷⁴ invece classificano i driver anche in base al livello manageriale che deve prendersi in carico la gestione delle complessità che ne deriva; infatti, alcuni driver sono legati a fattori più operativi ed altri a fattori più strategici. Per tale motivo la classificazione può essere da supporto per il giusto indirizzamento delle attività nella fase di analisi e gestione dei driver, in base alla loro tipologia. Considerando le distinzioni di complessità introdotte nel capitolo precedente e le classificazioni utilizzate in

⁷¹ *Ibidem*

⁷² *Ibidem*

⁷³ *Ibidem*

⁷⁴ Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M., 2019, An approach for analysing supply chain complexity drivers through interpretive structural modelling, *International Journal of Logistics Research and Applications*

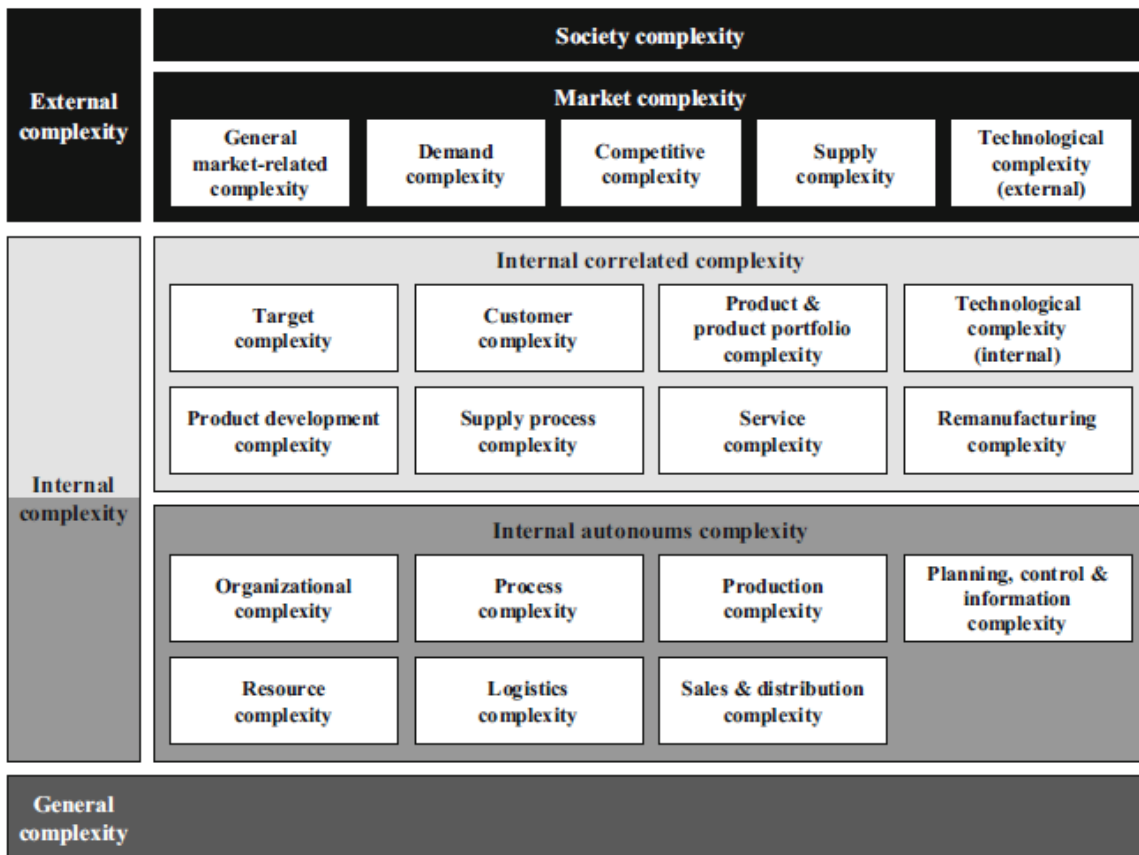


Figura 3.1: Classificazione proposta da Vogel e Lasch, 2016

letteratura, è possibile categorizzare i driver secondo due principali dimensioni:

- Tipologia, che fa riferimento alla natura della complessità; in particolare in questa tesi vengono considerate per la classificazione quella statica e dinamica.
- Origine, che fa riferimento alla radice della complessità e può essere divisa in interna ed esterna. I driver interni sono generati da fattori e decisioni interne all'organizzazione e sono quindi i più facili da analizzare e su cui intervenire. I driver esterni possono essere divisi in tre sottocategorie: ambientali, manageriali e transazionali. All'interno dei primi vengono inseriti fattori esogeni all'impresa, ovvero elementi ed azioni che l'azienda non può direttamente controllare ma il cui margine di azione si limita al monitoraggio e all'analisi dell'ambiente esterno. I secondi sono legati a scelte strategiche dell'impresa mentre gli ultimi fanno riferimento alle relazioni con l'esterno e sono quindi legati all'interfaccia tra l'azienda e gli

altri anelli della supply chain ed a tutti i flussi che li caratterizzano. Infine, all'interno delle ultime categorie (manageriale e transazionale), può essere fatta una distinzione tra i fattori che sono legati alla parte upstream oppure downstream della rete.

Origine	Interna	Esterna			
		Manageriale + Transazionale		Ambientale	
		Upstream	Downstream		
Tipologia	Statica	<ul style="list-style-type: none"> • Numero di sku e ampiezza di gamma (S₁) • Numero di componenti (S₂) • Numero di processi (S₃) • Set-up complessi e ricorrenti (S₄) • Numero di progetti (S₅) 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero, varietà e posizione dei fornitori (S₆) 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero, varietà e collocazione dei clienti (S₇) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regolamentazioni governative e leggi (A₁) • Standard organizzativi (A₂) • Cambiamento dei modelli di consumo e aspettative dei clienti (A₃) • Globalizzazione (A₄)
	Dinamica	<ul style="list-style-type: none"> • Pianificazione e schedulazioni instabili (D₁) • Incertezze relative al personale (assenteismo, malattia, infortuni,...) (D₂) • Inidoneità dei sistemi informativi (D₃) • Organizzazione aziendale ed ambiguità dei processi decisionali (D₄) 	<ul style="list-style-type: none"> • LT inaffidabili e/o lunghi dei fornitori (D₅) • Scarsa qualità dei componenti (D₆) • Mancanza di visibilità e di condivisione di informazioni (D₁₀) 	<ul style="list-style-type: none"> • Variabilità ed eterogeneità della domanda (D₇) • Ciclo più corto dei prodotti (D₈) • Forecast inaccurati (D₉) • Mancanza di visibilità e di condivisione di informazioni (D₁₀) 	

Tabella 3.1: Driver della complessità

Le dimensioni sopra descritte vengono utilizzate nella Tabella 3.1 per fare una classificazione dei driver principali derivanti da un'analisi della letteratura. Di seguito viene fornita una descrizione più dettagliata dei driver, divisi per categoria.

3.1.1 Driver statici

S₁: Una corretta gestione del portafoglio di prodotti è vitale per il successo di un'impresa e impatta sulla complessità che si trova a gestire; sono molti gli autori (tra cui Jacob M. A. e Swink M., 1996)⁷⁵ che sostengono che le decisioni relative al portafoglio di prodotti possono impattare negativamente le performance di una rete. Un maggior varietà di prodotti potrebbe causare una maggiore complessità nella gestione operativa della supply chain dovuta alla gestione di un numero maggiore di canali distributivi, di componenti, di set-up e una schedulazione più differenziata, che a sua volta può impattare sulle spedizioni e portare al mancato della promessa fatta al cliente. Oltre a questi aspetti, l'aumento della varietà dei prodotti influenza anche le fasi di forecasting e approvvigionamento dei materiali.

S₂: Il numero di componenti che un'impresa deve gestire è legato al numero e alla complessità dei prodotti ma anche al livello di modularità nella progettazione; la quantità di componenti da gestire impatta sul numero di fornitori con cui un'azienda si interfaccia, sullo stoccaggio e la movimentazione di essi e può rendere un'azienda maggiormente sensibile a stock-out.

S₃: Un alto numero di processi produttivi e logistici può essere dettato dalla necessità di soddisfare differenti esigenze dei clienti per essere più competitivi e appetibili sul mercato (Gerschberger e Hohensinn, 2013)⁷⁶. Questo può portare ad una carente standardizzazione e coordinazione dei processi e un basso flusso informativo con un conseguente incremento della complessità nel shop floor (Kavilal et al., 2017)⁷⁷.

S₄: Nell'ambito delle aziende manifatturiere un'accurata gestione dei set-up è fondamentale per aumentare l'efficienza produttiva e ridurre i tempi non a valore aggiunto. La presenza di set-up ravvicinati e complicati non gestiti correttamente

⁷⁵ *Ibidem*

⁷⁶ Gerschberger M., Hohensinn S., 2013, Supply chain complexity - a view from different perspectives.

⁷⁷ Kavilal E. G., Venkatesan S. P., Kumar K. D. H., 2017, An integrated fuzzy approach for prioritizing supply chain complexity drivers of an Indian mining equipment manufacturer, *Resources Policy*, vol. 51, pp. 204-218.

può limitare l'efficienza della schedulazione, diminuire la flessibilità e aumentare la complessità operativa.

S₅: La realizzazione di un progetto presuppone la gestione di risorse e di un budget, con lo scopo di realizzare l'output in un tempo prestabilito. Il numero di progetti all'interno dell'impresa può essere una fonte di complessità in quanto devono essere integrati nell'operatività quotidiana dell'impresa.

S₆: Il numero di fornitori è spesso identificato come fattore che contribuisce al livello di complessità. Perona e Miragliotta⁷⁸, ad esempio, attraverso uno studio empirico trovano un'evidente correlazione tra il tasso di complessità e la tipologia di relazioni (determinata in base alla durata dei contratti e alle politiche di acquisto). Sebbene avere un maggior numero di fornitori può essere un approccio utilizzato per mitigare i rischi dovuti alle oscillazioni all'interno della supply chain, più alto è il numero di fornitori con il quale un'azienda collabora, più saranno i flussi informativi, monetari e di materiali che un'azienda deve gestire. Inoltre, un'ampia supply base può aumentare i costi totali di acquisto, ridurre la reattività e le innovazioni dei fornitori (Bozarth, et al., 2009)⁷⁹. Sivadasan et al.⁸⁰ mostrano invece come una maggiore integrazione (intesa come una co-locazione del fornitore e cliente con il fornitore che lavora per il cliente JIT) possa portare ad un aumento della complessità, se non vengono attentamente rivisti i processi e le pratiche nel post integrazione.

S₇: Considerando il lato a valle dell'impresa, maggiore sono il numero e la varietà dei clienti, maggiore è l'eterogeneità e la frequenza degli ordini, la diversità delle tipologie di spedizioni richieste, i resi e le lamentele. Anche la collocazione può avere un impatto sulla complessità, basti pensare ad esempio alle difficoltà operative e legate alla lingua che possono emergere nella collaborazione con clienti esteri.

S₈: Ristrutturazioni organizzative dovute a fusioni, acquisizioni e consolidazioni possono essere una delle principali cause di complessità nella supply chain (Manuj e

⁷⁸ *Ibidem*

⁷⁹ *Ibidem*

⁸⁰ *Ibidem*

Sahin, 2011)⁸¹. La riorganizzazione aziendale spesso richiede la ricerca di una nuova ottimizzazione delle offerte di prodotti, della struttura del network e dei processi. L'acquisizione di Gillette da parte di Procter and Gamble fornisce un esempio, in cui P&G ha incorporato 100.000 clienti, 50.000 SKU e 11 miliardi di dollari di entrate in un unico sistema di immissione ordini e distributivo (Cooke, 2007)⁸².

3.1.2 Driver dinamici

D₁: Programmazione e schedulazione inefficienti causano un incremento della complessità operativa, ritardi nelle consegne, un incremento nei costi di produzione (Piya, et al., 2019)⁸³ e una maggior difficoltà nella gestione delle risorse umane e dei processi.

D₃: L'utilizzo di sistemi informativi inattuali e/o non modellati alle esigenze dell'impresa può impattare sul tempo di processazione delle informazioni, sull'efficace gestione ed analisi dei dati, sull'efficace integrazione con i fornitori, con i clienti, tra business unit e tra funzioni interne portando ad un aumento della complessità. Perona e Miragliotta⁸⁴ dimostrano come un investimento in sistemi informativi (nei casi studio da loro riportati, lo studio è condotto nell'ambito della pianificazione della produzione), porti ad un miglioramento delle performance (nello specifico caso misurato come numero di ordini di produzione evasi in un anno) e ad una riduzione della complessità (misurato come minore numero di persone impiegato).

D₄: Caratteristiche organizzative come burocrazia, lunghi e non ben definiti processi decisionali, molti livelli gerarchici, eccessive ispezioni qualitative, diversi flussi informativi indipendenti possono generare incertezza (Childerhouse e Towill, 2004)⁸⁵ che conseguentemente genera complessità operativa.

⁸¹ *Ibidem*

⁸² Cooke J. A., 2007, Weaving 2 supply chains together, *CSCMP's Supply Chain quarterly*.

⁸³ *Ibidem*

⁸⁴ *Ibidem*

⁸⁵ Childerhouse P., Towill D. R., 2004, Reducing uncertainty in European supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 15, No. 7, pp. 585–598.

D₅-D₆: L'inaffidabilità dei fornitori, la scarsa qualità dei componenti e lunghi lead time di fornitura impattano la performance dello stabilimento e aumentano la complessità operativa (Bozarth et al., 2009)⁸⁶.

D₇: I clienti tendono a richiedere prodotti sempre più customizzati per riuscire a soddisfare in maniera più completa ed efficiente le proprie esigenze, obbligando l'azienda a gestire più varianti di prodotto e componenti con le conseguenti complessità organizzative e gestionali.

D₈: L'aumento di prodotti lanciati nel mercato dalle aziende con lo scopo di essere più competitive ed appetibili ha come conseguenza l'accorciamento del ciclo di vita dei prodotti. Questo conduce ad una maggiore complessità operativa data dall'aumento del numero di prodotti, processi, componenti (Bozarth et al., 2009)⁸⁷ e numero di set-up (Aelker et al., 2013)⁸⁸.

D₉: L'inaccuratezza del forecast riduce l'abilità dell'impresa di anticipare le variazioni della domanda e quindi di prendere azioni correttive. Forecast inaccurati causano decisioni sull'approvvigionamento sbagliate, ritardi nella produzione risultanti in lead time più lunghi e conseguente perdita della domanda (Lu, 2015)⁸⁹.

D₁₀: La visibilità in una supply chain può essere definita come l'abilità nel condividere o accedere ad informazioni accurate lungo la rete nel momento richiesto. Nella realtà, data l'ingente quantità di dati che un'azienda deve processare, la visibilità delle informazioni relative alla domanda effettiva e alla supply base possono essere alterate dal loro passaggio da un livello ad un altro; questo potrebbe portare ad un aumento della complessità operativa ed è per questo che per gestire efficacemente una supply chain complessa è necessario mantenere un'alta visibilità (Caridi et al., 2010)⁹⁰.

⁸⁶ *Ibidem*

⁸⁷ *Ibidem*

⁸⁸ Aelker J., Bauernhanslb T., Ehmc H., 2013, Managing complexity in supply chains: A discussion of current approaches on the example of the semiconductor industry, *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 79 - 84.

⁸⁹ Lu, R., 2015, A study examines the importance of forecast accuracy to supply chain performance, the contributing factors and the improvement enablers in practice, *Massey University*.

⁹⁰ *Ibidem*

3.1.3 Driver ambientali

A₁: Il soddisfacimento di regolamentazioni governative e leggi legate ad esempio alla sicurezza, salute, ambiente, import-export e antitrust crea complessità all'azienda che deve tenerne conto nella produzione dei prodotti, nella fornitura di servizi e nell'implementazione dei processi di approvvigionamento, manifatturieri, logistici, amministrativi, di marketing, ecc. Relativamente al global sourcing, ad esempio, sono molte le leggi che ne influenzano direttamente e indirettamente le pratiche (Cho e Kang, 2001)⁹¹.

A₂: Allo scopo di rimanere competitivi è critico perseguire standard organizzativi (ad esempio norme ISO); tuttavia la soddisfazione dei requisiti richiesti potrebbe portare ad un appesantimento dei processi e ad una maggiore complessità organizzativa e gestionale.

A₃: I clienti cambiano frequentemente le richieste relative alle caratteristiche dei prodotti che portano a variazioni nei fabbisogni di materiali, incertezza nella domanda e variazione nei processi (Kavilal et al., 2017). Inoltre, i manager indicano che l'assecondare le crescenti aspettative dei clienti in termini di ampiezza di gamma, alto livello di servizio, riduzione di costi (Manuj e Sahin)⁹², velocità delle spedizioni, richiesta di maggiore visibilità e richiesta differenti modi di ricevere i prodotti o godere dei servizi rappresenta un driver della complessità.

A₄: Supply chain estese sono più difficilmente gestibili di quelle domestiche; fattori come l'incertezza che caratterizza il mercato globale, quote di importazione, tasse doganali, fluttuazione delle valute, mancanza di terminologia comune tra le aziende in diverse regioni e lunghi lead time aumentano la complessità da gestire.

3.2 Analisi e prioritizzazione dei driver

Nonostante gli esperti abbiano generalmente focalizzato i propri studi sugli impatti negativi dati dalla complessità sulle performance della supply chain, è importante realizzare che alcuni livelli di complessità possono essere richiesti o perfino

⁹¹ Cho J., Kang J., 2001, Benefits and challenges of global sourcing: perceptions of US apparel retail firms, *International Marketing Review*, vol. 18, No. 5, pp. 542-561.

⁹² *Ibidem*

desiderabili (Aitken, et al., 2016)⁹³ ed è crescente il numero di ricercatori che sostengono che abbracciare determinate complessità può rafforzare la competitività di alcune imprese (Campos et al., 2018)⁹⁴. Partendo da questo presupposto, una volta identificati e classificati i driver, è necessario analizzarli per riuscire a comprendere quali di essi sono imprescindibili dai processi e dalle caratteristiche intrinseche dell'impresa (e quindi sono un elemento fondamentale) e quali invece sono considerati non necessari e possono essere ridotti oppure eliminati. Successivamente i driver devono essere prioritizzati, in modo da assegnare loro un'importanza relativa per capire dove il management debba andare ad agire più tempestivamente; il processo di prioritizzazione è un problema decisionale multicriterio (in inglese MCDM, ovvero multi criteria decision making problem) e può essere svolto basandosi su diversi fattori quali, ad esempio, la severità dell'impatto sul business, l'interdipendenza con altri driver e la specifica situazione aziendale. Un modo per valutare l'effetto dei driver è misurarne quantitativamente l'impatto sulla rete attraverso le tecniche illustrate nel Capitolo 2; oltre a questo, è necessario studiare le connessioni ed i legami tra di essi in modo da permettere ai manager di prendere delle scelte più ponderate quando si tratta di applicare una strategia di gestione. Kavilal, Venkatesan e Kumar⁹⁵ sintetizzano gli articoli in cui i driver vengono prioritizzati e/o viene analizzata la loro interdipendenza in una tabella, che viene sotto riportata (Tabella 3.2); come si può vedere, gli articoli che hanno preso in considerazione questi aspetti non sono molti in letteratura e sono state proposte diverse metodologie. Tra gli articoli analizzati, questionari e AHP sono quelli più usati, mentre Wang e Zhang utilizzano DEMATEL (Decision making trial and evaluation laboratory).

Autori	SCC Drivers		Interdipendenza		Metodologia proposta
	Identif./Class.	Prioritizzazione	Si	No	
Kinra and Kotzab (2008)	-	-	-	-	AHP
Bozarth et al. (2009)	-	-	●	-	Analisi fattoriale

⁹³ *Ibidem*

⁹⁴ Campos P. F., Trucco P., Huatuco H. L., 2018, Managing structural and dynamic complexity in supply chains: insights from four case studies. *Production Planning & Control*, vol. 30, No. 8, pp. 611-623.

⁹⁵ *Ibidem*

Wang and Zhang (2010)	-	-	•	-	DEMATEL
Geissbauer and D'heur (2012)	-	-	-	-	Questionario
Gerschberger and Staberhofer (2012)	-	-	-	-	AHP
Schey and Roesgen (2012)	-	-	-	-	Questionario
De Leeuw et al. (2013)	-	-	-	-	Questionario
Hashemi et al. (2013)	-	-	•	-	Studio esplorativo
Bode and Wagner (2014)	-	-	•	-	Regressione
Subramanian et al. (2014)	-	-	-	-	AHP
Subramanian et al. (2015)	-	-	-	-	Analisi matriciale

Tabella 3.2: Articoli in cui vengono prioritizzati i driver e/o studiate le loro interdipendenze (Kavilal, Venkatesan e Kumar, 2017)

Nella loro ricerca, gli autori identificano quattordici driver e li prioritizzano utilizzando diverse tecniche quali:

- Fuzzy ISM (Fuzzy Interpretive Structural Modelling) che è un modello utilizzato per stabilire le interdipendenze tra i driver. È ben stabilito che l'ISM è utilizzato efficacemente per riconoscere e disegnare relazioni tra criteri associati ad un problema decisionale; l'obiettivo principale di un ISM è di sfruttare le competenze degli esperti per investigare e scindere un sistema complicato in componenti chiamati "criteri" e formulare un modello strutturato multilivello utilizzando questi criteri (Tyagi et al., 2019)⁹⁶. Un ISM valuta solamente l'esistenza di una relazione tra due variabili (in maniera binaria, ovvero 0 o 1); tuttavia, in determinati contesti risulta difficile per gli esperti esprimere il proprio giudizio sulle interdipendenze in maniera così marcata. Per tale motivo nell' ISM

⁹⁶ Tyagi S. K., Sharma S. K., Shukla V. K., 2019, Interpretive Structural Modelling Using Fuzzy Linguistic Information, *4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*.

“sfuocato” (fuzzy ISM), la dipendenza dei driver è espressa in termini linguistici che sono legati a dei corrispettivi numeri fuzzy triangolari: un “fuzzy set” è una coppia insieme-funzione (U, μ_x) , dove $\mu_x: X \rightarrow [0,1]: x \rightarrow \mu_x(x)$ con delle proprietà ben definite. Un numero fuzzy è definito triangolare quando:

$$\mu_x(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{se altrimenti} \end{cases}$$

dove a, b e c sono le ascisse del vertice di un triangolo ordinate dalla minore alla maggiore (Figura 3.2).

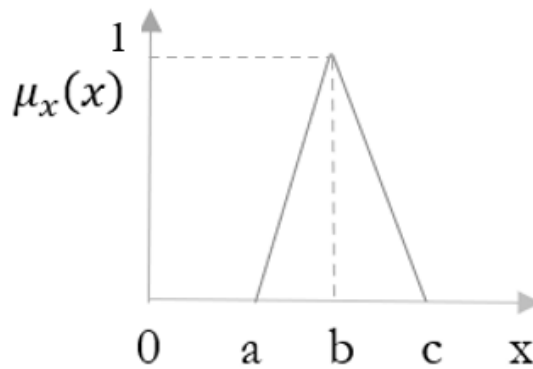


Figura 3.2: Rappresentazione grafica di un numero fuzzy triangolare

Nel fuzzy ISM ad ogni numero triangolare è possibile attribuire un termine linguistico (ad esempio molto debole, debole, moderato, forte, molto forte), con lo scopo di ottenere la forza delle interrelazioni tra le variabili (Tabella 3.3).

Termine linguistico	Numero fuzzy triangolare
Molto debole (MD)	0,0,0.25
Debole (D)	0,0.25,0.5
Moderato (M)	0.25,0.5,0.75
Forte (F)	0.5,0.75,1

Molto forte (MF)	0.75,1,1
------------------	----------

Tabella 3.3: Termini linguistici per ottenere una relazione tra i driver (Kavilal, Venkatesan e Kumar, 2017)

In questa fase viene identificato un gruppo di decisori (che possono essere esperti nel settore con molti anni di esperienza) che valuta la forza delle relazioni tra le variabili; l'output è una tabella comprendente i giudizi degli esperti per ogni diade di driver (ovvero MD, D, M, F, MF).

Successivamente viene costruita la tabella definita SSIM (structural self-interaction matrix), che definisce le relazioni esistenti tra i fattori e di cui un esempio è riportato in Tabella 3.4.

SCC driver					
	Driver n	Driver 4	Driver 3	Driver 2	Driver 1
Driver 1	O	X	O	V	
Driver 2	A	O	V		
Driver 3	X	A			
Driver 4	O				
Driver n					

Tabella 3.4: Esempio di SSIM

All'interno della tabella possono essere presenti quattro simboli: V se il driver i influenza il driver j , A se il driver j influisce sul driver i , X se i driver i e j influenzano contemporaneamente i driver j e i e O se non ci sono legami. Il passaggio successivo è quello di “defuzzificare” la tabella indicante la “forza” attribuita alle relazioni tra i driver e renderla binaria (matrice BC); l'output finale del processo è dato dalla “matrice di raggiungibilità” (in inglese reachability matrix), che viene costruita dalla matrice SSIM e dalla matrice binaria BC in base a delle regole definite inizialmente (Tabella 3.5). In questa matrice, sommando le colonne si ricavano le così dette “dipendenze” (dependence power), mentre sommando le righe si calcolano le “influenze” (driving power) dei driver (Tabella 3.6).

Regole			
	BM	SSIM	Matrice di raggiungibilità

	Elemento (i,j)	Elemento (i,j)	Elemento (i,j)	Elemento (j,i)
R₁	1	V	1	0
	0	V	0	0
R₂	1	A	0	1
	0	A	0	0
R₃	1	X	1	1
	0	X	0	0
R₄	1	O	0	0
	0	O	0	0

Tabella 3.5: Regole per la costruzione della matrice di raggiungibilità (Kavilal, Venkatesan e Kumar, 2017)

SCC driver						
	Driver 1	Driver 2	Driver 3	Driver 4	Driver n	Driving power
Driver 1	1	0	0	1	0	2
Driver 2	0	1	1	0	0	2
Driver 3	0	0	1	1	0	2
Driver 4	1	0	1	1	0	3
Driver n	0	0	0	0	1	1
Dependence power	2	1	3	3	1	

Tabella 3.6: Esempio di matrice di raggiungibilità

Dalla matrice è possibile costruire un diagramma in cui nelle ascisse viene messo il valore “Dependence power” e nelle ordinate il “Driving power”; è possibile successivamente dividere il diagramma in quattro quadranti (Figura 3.3):

- Nel primo quadrante sono presenti i driver che hanno meno dipendenza e meno influenza sugli altri driver; non hanno quindi un forte impatto sul sistema.
- Nel secondo quadrante cadono i driver che sono molto dipendenti dai driver che sono presenti nel quarto quadrante.

- Nel terzo quadrante sono raffigurati i driver altamente influenzanti e dipendenti.
- Il quarto quadrante consiste di driver caratterizzati da una bassa dipendenza ma un'alta influenza su altri.

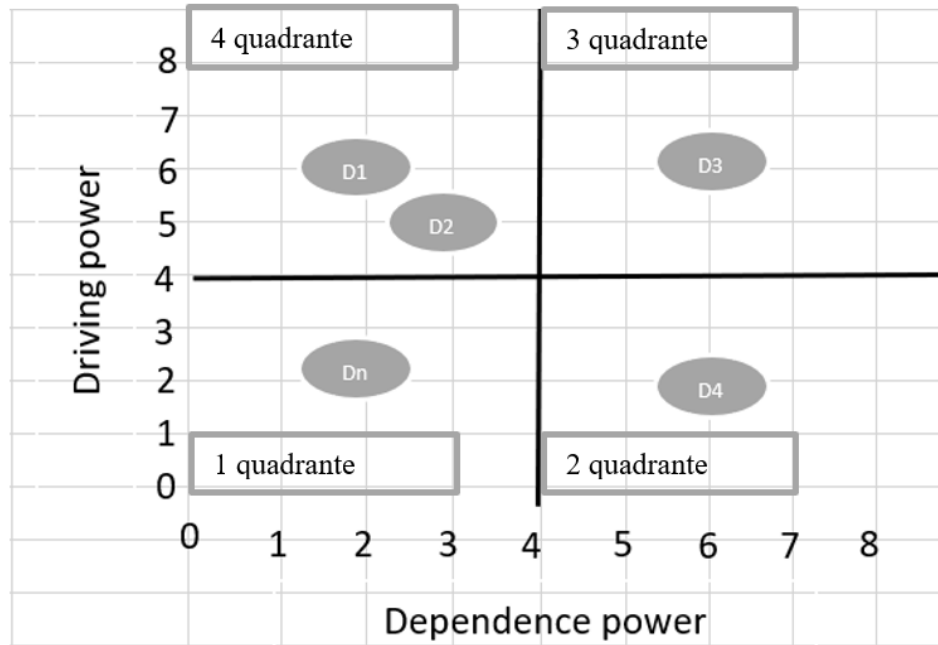


Figura 3.3: Esempio di diagramma raffigurante i driver

L'output finale del modello ISM è un diagramma che illustra le relazioni tra i driver (Figura 3.4).

- Fuzzy AHP (Analytic Hierarchy Process) e fuzzy PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), utilizzati per quantificare e prioritizzare i driver considerando la forza dell'interdipendenza ricavata utilizzando ISM.

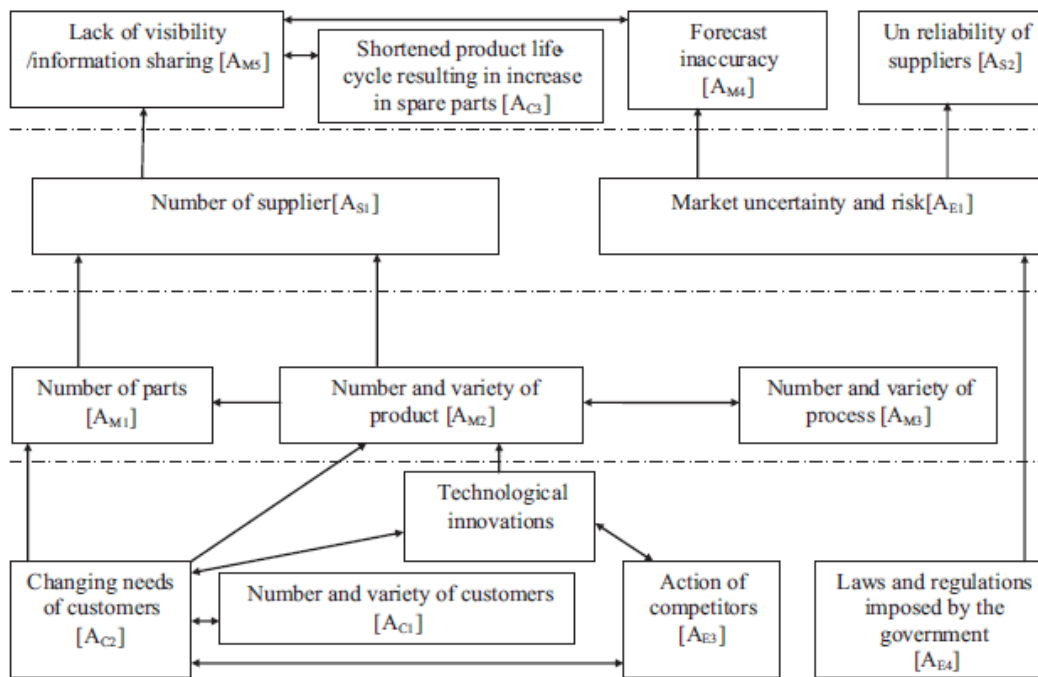


Figura 3.4: Esempio di diagramma che illustra le relazioni tra i driver (Kavilal, Venkatesan e Kumar, 2017)

Capitolo 4

Gestire la complessità

Il presente capitolo è incentrato sulla gestione della complessità. Nella prima parte viene introdotta l'importanza dell'analisi e gestione della complessità all'interno delle imprese e viene presentato un modello illustrante le fasi che possono essere implementate per il suo studio, analisi e gestione. Successivamente vengono presentate diverse strategie, strumenti ed azioni citati in letteratura che possono essere valutati ed applicati in questa fase.

4.1 Introduzione: modello per l'analisi e la gestione della complessità

L'analisi e la gestione della complessità all'interno dell'azienda e della supply chain sono processi che è importante incorporare nella gestione d'impresa nel contesto attuale. Per prima cosa, riprendendo quanto detto nel secondo capitolo, molti studi presenti in letteratura legano la complessità ad un peggioramento delle performance dell'impresa, ad un incremento della difficoltà nel prendere decisioni e la individuano come una delle fonti causanti oscillazioni all'interno della rete; questo in ultima analisi impatta la gestione delle richieste del cliente e il fine ultimo di soddisfare le promesse prese in termini di quantità, qualità, velocità e precisione. Tuttavia, non tutti gli studi mostrano una relazione negativa tra complessità e performance (ad esempio Ateş et al.⁹⁷ con il supporto di una metanalisi trovano che può avere un effetto positivo in termini di innovazioni e performance finanziarie); la complessità che può essere dannosa per una funzione o una parte di impresa potrebbe svolgere un notevole ruolo nel sostenere l'organizzazione o le attività strategiche dell'unità di business (Manuj e Sahin, 2011)⁹⁸. In entrambi i casi è sottolineata da molti autori l'importanza di agire deliberatamente per capire quali effetti la complessità stia avendo ed intervenire conseguentemente, considerando il trade-off tra le dimensioni delle performance. Inoltre, data la multidimensionalità

⁹⁷ Ateş M. A., Suurmond R., Luzzini D., Krause D., 2020, Order from chaos: A meta-analysis of supply chain complexity and firm performance, *Journal of supply chain management*.

⁹⁸ *Ibidem*

che la caratterizza, il monitoraggio della complessità presuppone un'analisi più approfondita dei processi, prodotti, competitors, fornitori e clienti e lo stato delle relative partnership; pertanto, le informazioni che si ottengono aiutano a collezionare dati sulla supply chain e a definire meglio le relazioni causa-effetto. In aggiunta ai primi due punti, la misura della complessità è utile per comparare le performance dei partner in termini di affidabilità, velocità e qualità delle consegne e per capire se le modalità con cui vengono gestiti i processi e gli strumenti implementati ed utilizzati sono adeguati ed efficienti; internamente invece può essere utilizzata per confrontare prodotti e servizi. Infine, le informazioni ricavate da un'analisi della complessità permettono di fare dei benchmark con i competitors relativi a diversi aspetti, per capire la posizione dell'impresa in confronto ai migliori del settore. Motorola, ad esempio, nel 2003 ha sviluppato un indice della complessità basato su dieci fattori per confrontare la complessità dei prodotti dell'impresa con gli altri presenti sul mercato⁹⁹. Se il prodotto presenta un indice di complessità pari a uno, significa che è in parità con il migliore in commercio, mentre se l'indice ha valore maggiore ad uno, la complessità del prodotto Motorola è maggiore di quella dei prodotti dei competitors. Theresa Metty, ex vicepresidente senior della gestione della supply chain in Motorola, commentò quanto segue successivamente alla creazione e all'utilizzo dell'indice: "L'indice è diventato l'indicatore principale per verificare quanto un determinato prodotto si comporti efficientemente all'interno della supply chain. Inoltre, è un indicatore determinante per i costi, le scorte e l'abilità dell'azienda nel rispondere a richieste last minute dei clienti."

Dall'analisi e lo studio della letteratura scientifica viene proposto il modello mostrato in Figura 4.1 per la valutazione e la gestione della complessità. La sua circolarità mette in evidenza la necessità di integrare il processo nella routine aziendale, applicandolo ripetutamente e non una tantum; infatti, la velocità con cui avvengono i cambiamenti nel contesto attuale implica un continuo adattamento dell'azienda che modifica i processi e l'ampiezza di gamma dei prodotti offerti, crea nuove partnership, entra o esce da segmenti di mercato, attua manovre di espansione e agisce in risposta a cambiamenti esogeni come l'introduzione di nuove tecnologie oppure il cambio di regolamentazioni. Tali cambiamenti possono essere dettati da variazioni nella strategia aziendale oppure da obblighi imposti dall'esterno e impattano il numero, l'origine, la tipologia e l'effetto dei driver. Per questi motivi è

⁹⁹ <https://www.ncsu.edu/>

importante monitorarli e adottare le giuste strategie in base alla loro natura e alle loro interdipendenze. Le fasi relative all'identificazione, classificazione, misurazione e prioritizzazione dei driver sono state discusse nei capitoli precedenti, mentre le fasi concerni la loro gestione vengono trattate in questo capitolo.

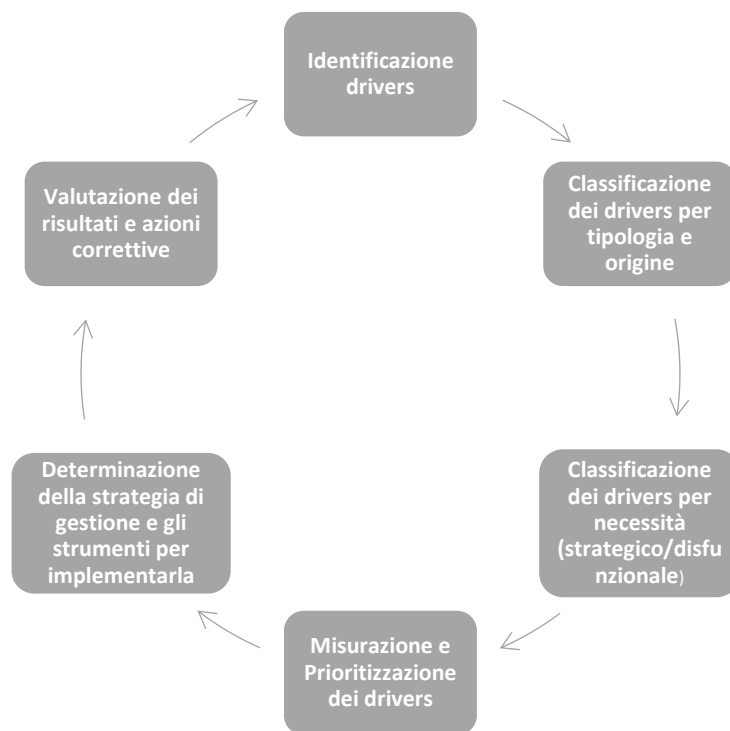


Figura 4.1: Modello per la gestione della complessità nelle reti di impresa

4.2 Strumenti per la gestione della complessità

Come evidenziato nei capitoli precedenti, in letteratura la complessità di una supply chain è legata a molti aspetti ed è studiata ed analizzata secondo diverse prospettive. Nonostante l'ampio numero di articoli e studi legati all'argomento, sia a livello di supply chain che di business unit, sono scarsi i modelli che supportano i manager nella progettazione di strategie e nella scelta delle pratiche da adottare (Aitken,

Bozarth e Garn, 2016¹⁰⁰; Turner et al., 2018¹⁰¹). Come si può ricavare dagli articoli descritti nei precedenti capitoli, infatti, la maggior parte degli studi si focalizzano sulla ricerca dei driver, sull'identificazione di metodologie per misurare la complessità e sullo studio delle relazioni con le performance della rete, senza però

Autori e anno di pubblicazione	Riferimenti
Vachon S., Klassen R. D. (2002)	Vachon S., Klassen R. D., 2002, An Exploratory Investigation of the Effects of Supply Chain Complexity on Delivery Performance, <i>IEEE Transactions on Engineering Management</i> Vol. 49, No 3, pp. 218-230.
Perona M., Miragliotta G. (2004)	Perona M., Miragliotta G., 2004, Complexity management and supply chain performance assessment. A field study and a conceptual framework, <i>Int. J. Production Economics</i> , Vol. 90, pp. 103–115
Hoole R. (2005)	Hoole R., 2005, Five ways to simplify your supply chain, <i>Supply Chain Management: An International Journal</i> , vol. 10, No. 1, pp. 3-6.
Huatuco L. H., Burgess T. F., Shaw N. E. (2010)	Huatuco L. H., Burgess T. F., Shaw N. E., 2010, Entropic-related complexity for re-engineering a robust supply chain: a case study, <i>Production Planning & Control</i> , vol. 21, No. 8, pp. 724-735.
Manuj I., Sahin F. (2011)	Manuj I., Sahin F., 2011, A model of supply chain and supply chain decision-making complexity, <i>Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage</i> , vol. 41, No 5, pp. 511–549.
Serdarasan S. (2013)	Serdarasan S., 2013, A review of supply chain complexity drivers, <i>Computers & Industrial Engineering</i> , vol. 66, pp. 533-540.
Caniato F., Größler A. (2015)	Caniato F., Größler A., 2015, The moderating effect of product complexity on new product development and supply chain management integration, <i>Production Planning & Control</i> , vol. 26, No. 16, pp. 1306–1317.

¹⁰⁰ *Ibidem*

¹⁰¹ Turner N., Aitken J., Bozarth C., 2018, A framework for understanding managerial responses to supply chain complexity. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 38, No. 6, pp. 1443-1466.

Aitken J., Bozarth C., Garn W. (2016)	Aitken J., Bozarth C., Garn W., 2016, To eliminate or absorb supply chain complexity: a conceptual model and case study, <i>Supply Chain Management: An International Journal</i> 21/6, pp. 759-774.
Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M., Al-kindhi M. (2017)	Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M., Al-kindhi M., 2017, Supply Chain Complexity Drivers and Solution Methods, <i>Int. J. Sup. Chain. Mgt</i> , vol. 6, No. 4.
Turner N., Aitken J., Bozarth C. (2018)	Turner N., Aitken J., Bozarth C., 2018, A framework for understanding managerial responses to supply chain complexity. <i>International Journal of Operations & Production Management</i> , vol. 38, No. 6, pp. 1443-1466.
Campos P. F., Trucco P., Huatuco H. L. (2018)	Campos P. F., Trucco P., Huatuco H. L., 2018, Managing structural and dynamic complexity in supply chains: insights from four case studies. <i>Production Planning & Control</i> , Vol. 30, No. 8, pp. 611-623.

Tabella 4.1: Articoli in letteratura che trattano la gestione della complessità

fornire un approccio pratico e strutturato da applicare per gestirla. La tabella 4.1 sintetizza gli studi che forniscono degli approcci o soluzioni per gestire la complessità presenti in letteratura. Di seguito vengono riportati più dettagliatamente alcuni degli articoli presenti nella tabella, in modo da fornire una panoramica delle principali metodologie prese in considerazione dagli studiosi.

Serdarasan¹⁰² fornisce una lista di soluzioni strategiche per la gestione dei driver identificati nella sua analisi, ricavate attraverso la valutazione delle “good practices” (ovvero delle pratiche già utilizzate e comprovate per la gestione della complessità che hanno avuto dei risultati positivi), che vengono esaminate mediante un meta-sintesi qualitativa, un approccio che analizza dati presenti in studi qualitativi in maniera sistematica. Lo scopo di questo articolo è assistere i decisori nella formulazione di strategie appropriate per affrontare la complessità, attraverso il trasferimento e l’applicazione delle good practices individuate in una nuova configurazione che incontri i requisiti specifici del caso in esame. Dopo una prima scrematura, ventitré good practices sono analizzate, ognuna delle quali soddisfa i seguenti criteri: devono essere relative alla complessità nella supply chain, devono aver prodotto risultati positivi e i documenti devono essere accessibili e fornire informazioni dettagliate. Nella loro revisione vengono esaminate le informazioni relative al tipo di azienda e di supply chain, alla complessità riscontrate nella rete, alla

¹⁰² *Ibidem*

sfida affrontata o al problema riscontrato, ai driver della complessità inerenti alla sfida o al problema, alle soluzioni e tecniche utilizzati per superare la sfida/il problema e ai risultati ottenuti. Alcuni dei driver e delle relative strategie identificate dall'autore sono mostrati in Tabella 4.2. Ad un livello più generale, l'autore riscontra tre approcci generici, ovvero la riduzione della complessità, la sua gestione o un'azione preventiva. L'approccio comune è quello di ridurre/eliminare la complessità quando non è necessaria, gestirla quando è necessaria ed infine di prevenire ulteriori driver non necessari (Figura 4.2).

Driver	Strategie proposte
Alto numero e varietà delle SKU (complessità necessaria)	Migliorare la gestione della domanda, dei forecast e della logistica mediante una piattaforma decisionale integrante soluzioni di SCM
Alto numero e varietà delle SKU (complessità non necessaria)	Offrire una limitata varietà di gamma
Complessità del prodotto	Ridisegnare i prodotti con un alto indice di complessità
Alta varietà di richieste alla soluzione IT	Implementare un software customizzato
Sistema di pianificazione incompatibile e carente	<ul style="list-style-type: none"> - Sviluppare e implementare nuovi sistemi - Fare aggiustamenti tecnologici e di processo - Sviluppare nuove metriche di performance
Volatilità e incertezza relative alla domanda	<ul style="list-style-type: none"> - “Isolare” la domanda incerta - Pianificazione giornaliera delle operations
Mancanza di informazioni sulla domanda/pattern di ordini imprevedibili	<ul style="list-style-type: none"> - Gestione proattiva degli ordini - Collaborative planning - Condivisione dei forecast di capacità con i partners
Incapacità nella gestione dei processi di trasporto	<ul style="list-style-type: none"> - Formare partnership con partner logistici che hanno molta expertise - Adottare nuove tecnologie e processi
Design del supply chain network incompatibile, performance carente delle operations	<ul style="list-style-type: none"> - “Ridisegnare la supply chain” - Riorganizzare il network distributivo - Collaborazione con i fornitori
Mancanza di un sistema di approvvigionamento ben definito	- Sviluppare un processo di approvvigionamento end to end

	- Integrare il processo di approvvigionamento nell'ERP.
Mancanza di mezzi di controllo efficaci sui processi	- Automatizzare il processo decisionale utilizzando un sistema di gestione delle regole del business
Produzione esternalizzata	- Integrazione dei fornitori - Visibilità delle operations tramite piattaforme B2B
Mancanza di know-how	- Formare partnership con aziende che possiedono il know-how
Mancanza di controllo dell'outsourcing	- Ridurre il numero di partner a cui si esternalizza la produzione - Lavorare in stretta collaborazione con i partners
Cambiamento nelle richieste del settore	Adattamento ai cambiamenti attraverso la fornitura di servizi sincronizzati
Pressione del mercato e cambiamenti nelle richieste dei clienti	Adottare strategie adattive

Tabella 4.2: Driver e strategie per la loro gestione (Serdarasan, 2013)

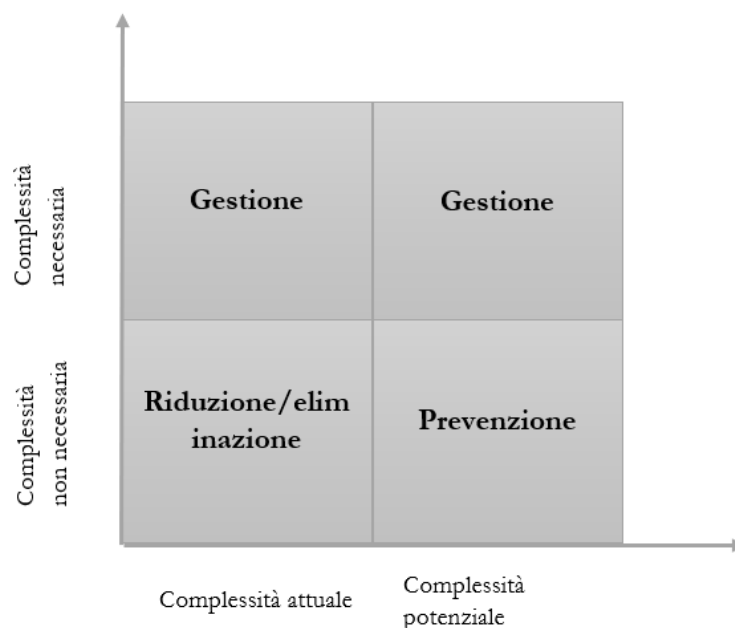


Figura 4.2: Matrice che mostra gli approcci generici alla gestione della complessità (Serdarasan, 2013)

Infine, relativamente al livello di abilità che un'azienda ha nel contrastare la complessità, l'autore sostiene che questo dipende dal suo livello e dal controllo che

l'azienda ha sui driver, come illustrato in Figura 4.3. È importante considerare questa matrice nel momento in cui è presente un'interrelazione tra i driver; in questo caso l'azienda deve agire sul driver in cui ha il maggior grado di controllo.

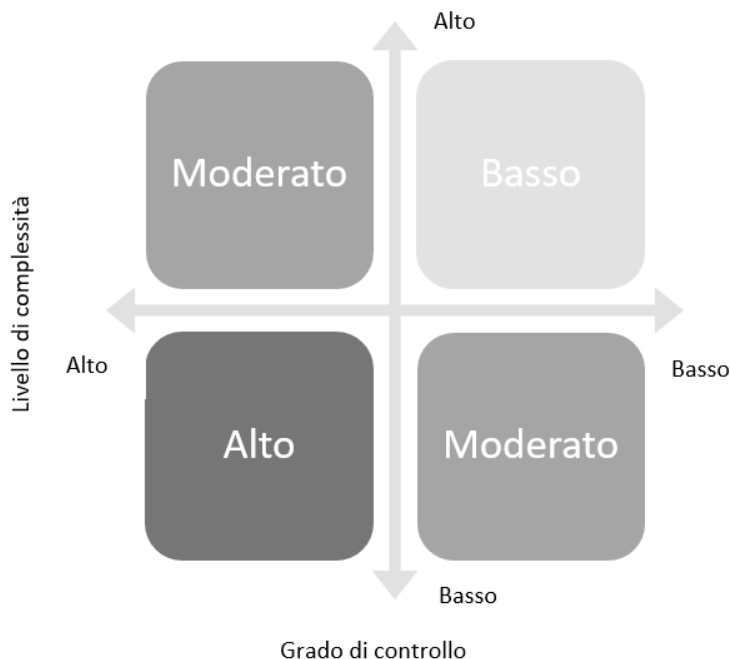


Figura 4.3: Abilità di un'impresa nel gestire la complessità (Serdarasan, 2013)

L'articolo appena riassunto identifica molti driver e fornisce le strategie per la loro gestione, senza però fare un'analisi relativa alla loro natura strategica oppure meno (è presente solamente la divisione tra complessità necessaria e non necessaria nel driver relativo al numero di SKU). Aitken, Bozarth e Garn¹⁰³ includono nel loro modello la distinzione tra complessità strategica e disfunzionale, che è stata brevemente introdotta nel primo capitolo. Nel loro studio gli autori analizzano la letteratura relativa alle risposte organizzative alla complessità e identificano tre flussi:

- Il primo deriva dalla letteratura dell'organization design e sostiene che le imprese possono rispondere alla complessità attraverso due approcci, la riduzione oppure l'assorbimento. Il primo fa riferimento alla sua comprensione ed alla diretta azione intesa a ridurre i driver, mentre il secondo ha l'obiettivo di mitigare gli effetti che ne derivano. In particolare,

¹⁰³ *Ibidem*

secondo il lavoro di Galbraith¹⁰⁴ nell'ambito dell'organizational information processing, i metodi per la gestione della complessità sono cinque:

- Strategie per la gestione dell'ambiente (*environmental management strategies*).
- Task autonomi (*self-contained task*), che fanno riferimento all'aggiunta delle risorse necessarie nei team/sub-unità per riuscire a svolgere autonomamente le attività e ridurre la mole di informazioni che devono essere processate. Un esempio citato dagli autori è rappresentato da una business unit nazionale che produce i prodotti direttamente con le caratteristiche richieste dal mercato domestico. In tal modo, la complessità per l'azienda madre diminuisce in quanto non deve più produrre per differenti mercati con le relative specifiche (riduzione della variabilità dell'output).
- Creazione di *slack resources*, ovvero ridurre le performance garantendo una maggiore disponibilità di risorse; nonostante questo porti ad avere costi addizionali, lavorare ad un livello di performance inferiore riduce le eccezioni e quindi l'incertezza delle attività. Esempi sono un'eccessiva capacità produttiva o la creazione di buffer.
- Investimento in sistemi informativi (*investment in information systems*), per incrementare la capacità di processamento delle informazioni con lo scopo di evitare un sovra utilizzo dei canali gerarchici tradizionali, ridurre l'incertezza legata alle attività decisionali e implementare nuovi meccanismi decisionali. Un esempio può includere soluzioni come programmi per la schedulazione della produzione dinamica e sistemi POLCA (*Paired-cell Overlapping Loops of Cards with Authorization*)¹⁰⁵.
- Relazioni laterali (*lateral relations*), che possono includere meccanismi come la decentralizzazione del processo decisionale e la creazione di team cross-funzionali che permettono lo scambio di informazioni in maniera veloce ed efficace durante le attività.

¹⁰⁴ Galbraith J. R., 1974, Organization Design: An Information Processing View, *Interfaces*, vol. 4, No. 3, pp. 28-36.

¹⁰⁵ Suri R., 2010, It's About Time: The Competitive Advantage of Quick Response, *Manufacturing Productivity Press*, New York.

Le prime tre azioni mirano alla riduzione dell'ammontare di informazioni che l'azienda deve processare (e quindi alla riduzione della complessità), mentre le due rimanenti migliorano la capacità di processare le informazioni (e quindi assorbono la complessità).

- La seconda prospettiva che considerano è relativa alle diverse opinioni presenti in letteratura relativamente al bilanciamento del livello di risorse; in particolare, secondo alcuni autori (come, ad esempio, Chen et al., 2005)¹⁰⁶ un'alta efficienza nell'utilizzo delle risorse porta ad un maggiore stabilità operativa e ad un miglioramento delle performance, mentre altri (come Rosenzweig ed Easton, 2010)¹⁰⁷ sostengono che un certo livello di scorte (slack resources) può impattare positivamente la flessibilità e la prontezza di un'impresa. Gli autori supportano l'idea che il mantenimento di determinati livelli di scorte sia una delle strategie utilizzate dalle imprese per assorbire la complessità.
- Il terzo flusso è relativo agli effettivi meccanismi per ridurre o assorbire la complessità. Gli autori sostengono che sono pochi i framework sviluppati che aiutano i manager nella selezione della giusta azione per contrastare la complessità; inoltre, quelli presenti non affrontano quando e perché una particolare azione dovrebbe essere adottata.

A fronte di questa analisi e delle informazioni ricavate da un caso studio longitudinale condotto dal 2008 al 2012 su un'azienda di produzione di packaging, gli autori propongono un modello concettuale riportato in Figura 4.4, che descrive come un'impresa dovrebbe rispondere alla complessità massimizzando la performance operativa. In accordo con la letteratura, gli autori considerano due approcci principali nella gestione della complessità: riduzione e assorbimento, dipendentemente alla natura della complessità. Il modello presuppone che un'impresa possa contestualmente affrontare sia la complessità strategica (assorbendola) che disfunzionale (riducendola).

¹⁰⁶ Chen, H., Frank, M., & Wu, O. (2005). What actually happened to the inventories of American companies between 1981 and 2000? *Management Science*, Vol. 51, pp. 1015-1031.

¹⁰⁷ Rosenzweig E., Easton G., 2010, Tradeoffs in manufacturing? A meta-analysis and critique of the literature, *Production and Operations Management*, vol. 19, No. 2, pp. 127-141.

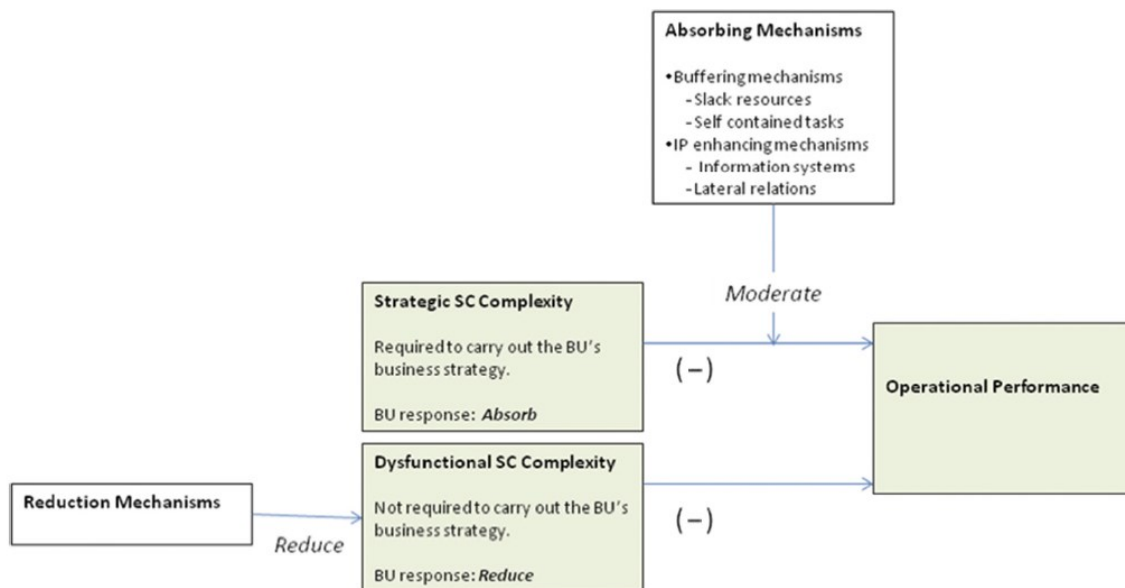


Figura 4.4: Modello concettuale di risposta alla complessità della rete di una business unit (Aitken et al., 2016)

Nella tabella 4.3 vengono riportati i driver riscontrati nello studio divisi per origine (interna, upstream e downstream e strategica o disfunzionale), le azioni messe in pratica per contrastarli e i risultati ottenuti.

Complessità	Drivers	Azioni	Risultati ottenuti
Downstream	<ul style="list-style-type: none"> - Strategica: variabilità della domanda causata da un numero crescente di sku e un mix di alti volumi MTS, bassi volumi MTO e promozioni. - Disfunzionale: prodotti a basso volume non profittevoli. 	<ul style="list-style-type: none"> - Separazione della pianificazione della domanda per gli ordini MTS e MTO (meccanismo di assorbimento – gestione dell’ambiente esterno). - Creazione di linee autonome basate sulla dimensione del packaging che hanno permesso di ridurre l’impatto dell’aumento delle sku assorbendo parte degli effetti negativi dovuti a cambi formato. 	<ul style="list-style-type: none"> - Livello di servizio più alto. - Livello di scorte di prodotto finito ridotto del 15 %. - Output per turno incrementato di una media del 28 % senza le oscillazioni determinate da ordini non pianificati.

		(meccanismo di assorbimento – task autonomi). - Interazione diretta tra la produzione e marketing e clienti MTO. (meccanismo di assorbimento- relazioni laterali). - Rimozione di prodotti a basso margine dall’offerta (meccanismo di riduzione).	
Interna	Disfunzionale: schedulazioni instabili causanti un aumento del numero e la frequenza dei cambi formato.	Finestra di pianificazione e produzione bloccata a tre giorni (rolling planning) e utilizzo della tecnica SMED.	- Tempo per i set-up ridotto del 56 %. - Output del plant (in tonnellate) aumentato del 20 %.
Upstream	Strategica: variabilità della domanda ai fornitori di packaging dovuta a veloci tempi di sviluppo e rapido turnover di packaging design.	Utilizzo della pratica VMI.	Riduzione del 40 % delle scorte.

Tabella 4.3: Driver, azioni e risultati ottenuti (Aitken, Bozarth e Garn, 2016)

De Leeuw, Grotenhuis e van Goor¹⁰⁸ identificano otto driver e sei meccanismi di gestione della complessità nell’ambito del commercio all’ingrosso, che rappresenta il segmento che ha ricevuto meno attenzione nel contesto accademico. I driver vengono individuati dagli autori tramite la revisione della letteratura; successivamente costruiscono dei questionari e li sottopongono a due aziende per

¹⁰⁸ de Leeuw S., Grotenhuis R. van Goor A. R., 2013, Assessing complexity of supply chains: evidence from wholesalers. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 33, no. 8, pp. 960-980.

testarne la validità e la rilevanza e per verificare se questi fossero sufficientemente dettagliati. Il questionario finale è stato infine inviato ad altre cinque aziende per la raccolta dei dati; i driver identificati ed analizzati sono i seguenti:

- Incertezza, riferita alla mancanza di predicibilità e affidabilità della domanda.
- Diversità, legata al numero di fornitori e clienti, il range di prodotti/servizi e il livello di customizzazione.
- Grandezza, che fa riferimento al numero o volume di prodotti ed attività.
- Variabilità, relativa alle improvvise variazioni nelle richieste.
- Struttura, che si riferisce al numero di sistemi, livelli e processi sia all'interno che all'esterno dell'impresa.
- Velocità, intesa come reattività lungo la supply chain in termini di lead time, tempo e frequenza delle spedizioni.
- Mancanza di sincronizzazione delle informazioni.
- Mancanza di cooperazione tra i partner all'interno della rete.

Le strategie utilizzate dai grossisti per far fronte alla complessità generata che sono emerse dal questionario sono sotto riportate:

- L'utilizzo di scorte per ridurre l'incertezza e permettere di avere una maggiore velocità nelle consegne.
- L'utilizzo di risorse flessibili per mitigare la variabilità della domanda, ad esempio impiegando più personale all'inizio della settimana rispetto alla fine, infatti per i grossisti l'inizio tende ad essere più impegnativo.
- Scambio di informazioni e maggiore comunicazione, investendo in sistemi informativi per rendere più accessibili i dati.
- Razionalizzare, inteso sia in termini di prodotti ma anche di clienti e fornitori.
- Esternalizzare attività riducendone il numero da gestire.
- Sviluppare unità distinte ed autonome per gestire le attività complicate. Un esempio è rappresentato da un grossista che implementa una linea di produzione a cui vengono assegnati solamente piccoli ordini.

La figura 4.5 riporta una rappresentazione grafica delle relazioni tra i driver ed i meccanismi identificati dagli intervistati; come si può vedere ogni strategia è associata alla riduzione di più driver, con i relativi effetti positivi nella gestione del business.

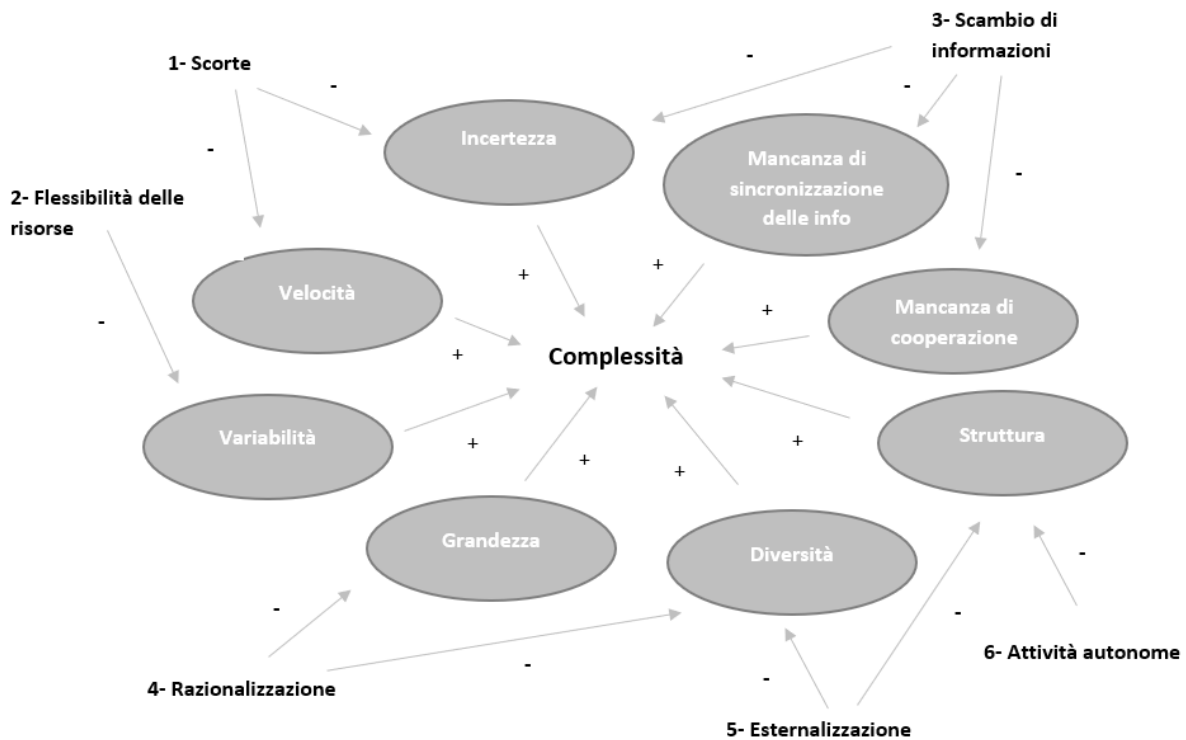


Figura 4.5: Driver della complessità e meccanismi di risposta (De Leeuw, Grotenhuis e van Goor, 2013)

Manuj e Sahin¹⁰⁹ inseriscono nel loro articolo anche la complessità decisionale e propongono un modello per la gestione di quest'ultima, derivante dallo studio qualitativo condotto attraverso undici interviste semi-strutturate caratterizzate da una durata 60-90 minuti con senior supply chain manager. Successivamente all'intervista, ai candidati è stato fatto rileggere il transcript, in modo da determinare se ci fossero risposte da riconsiderare o dettagli da aggiungere. I risultati che hanno permesso di costruire il modello derivano quindi da pratiche di business utilizzate nel campo di studio. Il modello estende le ricerche di Swink e Robinson¹¹⁰, che descrivono la complessità decisionale percepita come combinazione di un insieme di fattori che includono la complessità oggettiva del task e aiuti decisionali; esso è illustrato in figura 4.6 ed è formato dai seguenti blocchi:

¹⁰⁹ *Ibidem*

¹¹⁰ Swink M., Robinson E. J., 1997, Complexity factors and intuition-based methods for facility network design, vol. 28, No. 3. *Decision Sciences*, pp. 583-614.

- Cause della complessità (*supply chain complexity antecedents*), che includono fattori relativi alla grandezza e struttura della supply chain, le aspettative dei clienti, le condizioni ambientali, la globalizzazione e la ristrutturazione organizzativa (come, ad esempio, acquisizioni e fusioni).
- Le fonti sopracitate hanno un impatto diretto sulla complessità della supply chain che conseguentemente è legata positivamente anche alla complessità decisionale, in quanto essa richiede più sforzi per definire il problema, raccogliere e analizzare i dati ed implementare azioni.
- Moderatori strategici (*Strategic moderators*), che includono:
 1. Gestione dell'ambito e dei confini (*Scope and boundary management*), che fa riferimento alla gestione degli input relativi alle decisioni da prendere; infatti, più è alta la mole di informazioni in ingresso, più è alta la complessità decisionale. Per tale motivo un modo per ridurre la complessità nel prendere decisioni è attraverso il controllo della grandezza e dei confini del problema. Questo può essere fatto attraverso la divisione delle decisioni relative ad attività e processi di supply chain management assegnandoli a diverse persone o diversi team, in maniera tale da ridurre lo "scope"; un'altra tecnica potrebbe essere quella di limitare il numero di sku sotto il controllo del decisore. Procter and Gamble ha applicato questa logica durante l'acquisizione di Gillette; prima di agire a livello globale, ha integrato la parte collocata in America Latina, riducendo quindi l'ampiezza delle decisioni da prendere e guadagnando maggiore esperienza (Cooke, 2007)¹¹¹.
 2. Allineamento culturale, integrazione, collaborazione e gestione delle relazioni: gli intervistati identificano la costruzione di relazioni di lungo termine con i partner chiave come una strategia efficace per la gestione della complessità.
 3. Eliminazione di processi che non aggiungono valore: esempi emersi dalle interviste sono la spedizione diretta di alti volumi di prodotti dai fornitori ai clienti senza l'utilizzo di centri di distribuzione intermedi e l'automatizzazione dell'inserimento degli ordini per evitare l'azione

¹¹¹ *Ibidem*

della persona riducendo gli errori. Inoltre, suggeriscono l'applicazione di tecniche come Six Sigma, Total Quality Management e le certificazioni ISO per creare processi robusti e ripetitivi.

4. Strategie legate ai sistemi informativi: dalle interviste è emerso che la disponibilità di informazioni accurate e rilevanti nei momenti richiesti è visto come un possibile moderatore della complessità; pertanto, l'investimento in tecnologie più l'utilizzo di strategie adeguate può aiutare a gestire la complessità.
 5. Gestione della conoscenza, ovvero la documentazione, organizzazione e archiviazione di informazioni legate al business, la corretta gestione delle conoscenze trasmesse dai vecchi ai nuovi dipendenti, la documentazione di best practice, nuovi progetti e innovazioni. Manager che hanno accesso alla conoscenza aziendale possono prendere decisioni più facilmente.
- Moderatori legati alle abilità umane, che dipendono dalle capacità personali e dall'esperienza dei lavoratori.
 - La complessità della supply chain e la complessità decisionale sono positivamente legate ad effetti indesiderati e/o inaspettati; alcune delle conseguenze possono essere un aumento generale dei costi, cicli più lunghi, scarse delivery performance, incertezza e la necessità di tenere una capacità più alta di risorse.
 - Moderatori "tattici" che fanno riferimento a strumenti che hanno lo scopo di minimizzare i risultati indesiderati conseguenti alla complessità. Dopo l'implementazione dei moderatori strategici e quelli legati alle abilità umane, è necessario gestire la complessità che rimane nel sistema. Questo può essere fatto aumentando la flessibilità dell'impresa, adottando tecniche come il multisourcing, la costruzione di buffer e la flessibilità della forza lavoro.

Lo studio condotto da Campos, Trucco e Huatuco¹¹² investiga quali pratiche possono essere utilizzate per gestire la complessità statica e dinamica e come

¹¹² Campos P. F., Trucco P., Huatuco H. L., 2018, Managing structural and dynamic complexity in supply chains: insights from four case studies. *Production Planning & Control*, Vol. 30, No. 8, pp. 611-623.

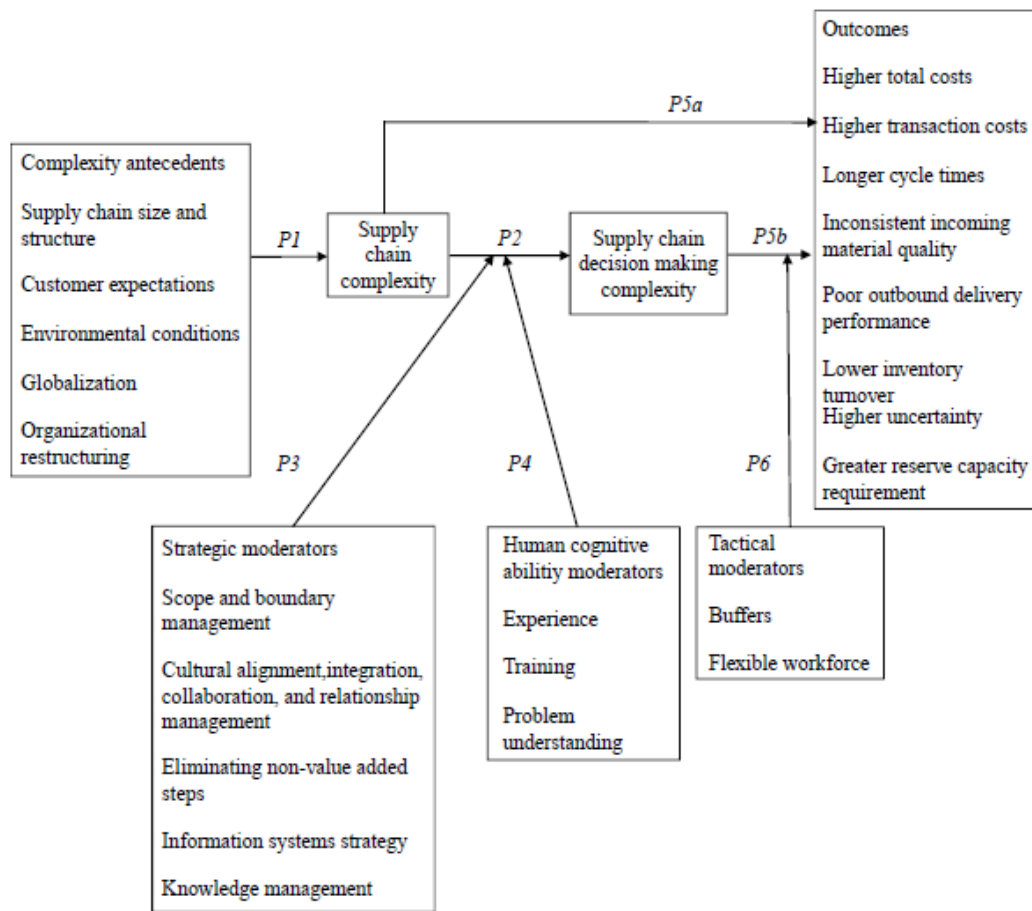


Figura 4.6: Modello per la gestione della complessità proposto da Manuj e Sahin, 2011

queste possono affrontare gli effetti da loro derivanti attraverso l'utilizzo di più casi studio. L'unità di analisi che gli autori considerano sono le funzioni, offrendo quindi una prospettiva più ampia rispetto alla sola parte produttiva o logistica. I dati sono raccolti da più fonti, come interviste e documentazioni aziendali ed i rispondenti scelti hanno svariati anni di esperienza e fanno parte di diverse aree aziendali (acquisti, produzione, pianificazione, ecc.). Successivamente alla raccolta dei dati gli autori classificano e raggruppano, prendendo come punto di riferimento la classificazione di Galbraith descritta nella prima parte del capitolo, le pratiche in quattro cluster: pratiche per la riduzione della varietà, pratiche di "confinamento" e disaccoppiamento, pratiche di collaborazione e coordinamento e pratiche in supporto alle decisioni. Ogni cluster contiene delle tecniche con la stessa logica o lo stesso obiettivo ed alcune di esse sono riportate nella tabella 4.4. Le prime sono utilizzate per ridurre fisicamente il livello di complessità strutturale attraverso la

riduzione del range di elementi (come prodotti, clienti, ecc.) e la ricerca di comunanze tra di loro (ad esempio creando dei “platform” team che cercano di definire ed implementare un’architettura comune per processi e tool nelle diverse business unit).

Riduzione della varietà	Confinamento e disaccoppiamento	Collaborazione e coordinamento	Supporto decisionale
Piattaforma di prodotto standardizzata	Outsourcing	Relationship strategiche con fornitori	Automatizzazione
Razionalizzazione del portafoglio prodotti	Canali di distribuzione customizzati	Sistemi ERP integrati	Team specializzati
Razionalizzazione del numero di facilities	Design modulare e customizzazione del software	Benchmarking	Ottimizzazione dei tool IT
Standardizzazione dei processi	Divisione delle attività di approvvigionamento	Supply chain forum	Training specifici
Accorpamento delle richieste dei clienti	Forza lavoro flessibile	Project management	Vendor rating
Centralizzazione degli acquisti	Team di interfaccia	KPI cross-funzionali	ERP multi-echelon
“Platform” team	Scorte	Interfacce uniche con i clienti	
Customizzazione accessory-based	Category management	Sviluppo dei fornitori	

Tabella 4.4: Pratiche per la gestione della complessità (Campos, Trucco e Huatuco, 2018)

Anche se queste pratiche potrebbero portare ad una riduzione della complessità strutturale e dei costi, la loro implementazione deve sempre tenere in considerazione gli obiettivi e la strategia aziendale. Le seconde possono essere utilizzate per ridurre la complessità statica e dinamica e si focalizzano sulle dipendenze tra gli elementi del sistema: quelle relative al confinamento mirano a contenere la complessità in un

certo dominio in cui risorse specializzate possono essere utilizzate (come ad esempio l'outsourcing) mentre quelle relative al disaccoppiamento cercano di ridurre i vincoli tra gli elementi e rendere certe parti del sistema più indipendenti dalle altre, ad esempio attraverso l'utilizzo di scorte o team di interfaccia (come il team di planning che si interfaccia con i clienti disaccoppia il lato manifatturiero con quello di gestione delle relazioni e delle richieste dei clienti). Le attività di coordinamento e condivisione mirano allo scambio di conoscenza e soluzioni nella supply chain, oltre che alla sincronizzazione tra i team e le funzioni; si focalizzano quindi sulla gestione della complessità dinamica attraverso una migliore gestione dei flussi informativi (un esempio individuato nell'articolo è l'utilizzo di supply chain forum in cui i diversi team discutono topic comuni e definiscono un approccio comune al processo decisionale). L'ultimo cluster, ovvero le pratiche che puntano al supporto nelle decisioni e alla generazione di conoscenza, ha lo scopo di gestire la complessità attraverso l'accrescimento della capacità decisionale a livello manageriale. Alcune delle pratiche inserite supportano i manager attraverso il focus su un numero ridotto di elementi (ad esempio automatizzazione), altre attraverso la fornitura di informazioni efficaci (ad esempio simulazioni o tool di ottimizzazione) ed infine alcune aiutano i managers a costruire e mantenere skills e conoscenza (ad esempio attraverso training specifici).

Infine, l'ultimo articolo che viene riportato è "Five ways to simplify your supply chain", che propone delle tecniche per la semplificazione della supply chain a livello di processo con lo scopo di ridurre la complessità.¹¹³ In accordo con il modello SCOR (*Supply chain operation reference*), l'autore suddivide i processi in plan, source, make e deliver e identifica cinque leve che possono essere utilizzate per la riduzione della complessità nei processi sopracitati, ovvero la configurazione della supply chain (cosa viene fatto e dove), le pratiche manageriali utilizzate, la gestione delle relazioni, l'organizzazione della supply chain e i sistemi informativi. La tabella 4.5 mostra alcune delle tecniche individuate dall'autore in base alle due dimensioni, ovvero il processo e la tipologia di leva.

¹¹³ Hoole R., 2005, Five ways to simplify your supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 10, No. 1, pp. 3-6.

		Processi della supply chain			
		Plan	Source	Make	Deliver
Leve per l' aumento della performance	Configurazione	Razionalizzazione del prodotto/packaging	Razionalizzazione del numero di fornitori e parti	Razionalizzazione del numero di plant	- Diminuire il numero di layer distributivi - Drop ship
	Pratiche di gestione	Postponement	- Razionalizzare i termini - Design for sourcing	Pratiche di lean manufacturing	Esaminare le pratiche utilizzate nella vendita per ridurre la volatilità che creano (effetto Hockey stick)
	Relazioni esterne	Segmentazione dei clienti e del mercato	Collaborazione con i fornitori attraverso pratiche come VMI	Outsourcing	Collaborazione con i clienti
	Organizzazione	Sviluppare un processo S&OP strutturato e chiaro	- Gestione della domanda - Esternalizzazione degli acquisti	VMI	Outsourcing (3PL, 4PL)
	Sistemi informativi	Informazioni sul sell-through attraverso tecniche come VMI e CPFR	E-procurement	Pratiche di lean manufacturing IT come l'approccio backflush.	Portali e-commerce

Tabella 4.5: Tecniche per semplificare la supply chain (Hoole, 2005)

Capitolo 5

Misurazione della complessità

In questo capitolo conclusivo si applicheranno quantitativamente alcune delle metodologie descritte nel capitolo 2 per la misurazione della complessità prendendo in considerazione i prodotti, i flussi produttivi e la supply chain di un'azienda operante nel territorio vicentino, con lo scopo di approfondire i concetti legati agli argomenti descritti ed analizzati in forma teorica nei capitoli precedenti. Nella prima parte verrà fornito un contesto di riferimento nel quale verranno descritte le caratteristiche dell'azienda presa in considerazione per l'analisi, mentre nella seconda parte verranno misurate tre dimensioni della complessità: quella del prodotto, del processo produttivo e della supply chain.

5.1 Introduzione: descrizione dell'azienda

L'azienda analizzata è un'impresa del vicentino di Packaging e Confezionamento di materie plastiche e prodotti per la detergenza che lavora in conto terzi per le multinazionali del settore come contract manufacturer. Il contract manufacturing è una forma di outsourcing caratterizzata dalla sottoscrizione di contratti di diversa durata temporale con i quali l'azienda si impegna ad ospitare parte dei volumi produttivi dell'outsourcer; solitamente l'azienda che esternalizza si focalizza nella vendita dei prodotti. L'impresa presa in considerazione consta di un'area produttiva di soffiaggio di flaconi e di un reparto di riempimento dal quale vengono prodotti e spediti i flaconi riempiti per la detergenza. La tabella 5.1 riassume alcune delle caratteristiche principali dell'impresa.

Settore	Gomma-plastica, FMCG
Fatturato	28 M€
Processi produttivi	Soffiaggio (blow molding extrusion) – 38 macchinari; miscelazione e riempimento (mixing and filling) fino al PF – 7 linee produttive.
Area produttiva	65.000 mq

Organico	Circa 100 dipendenti
-----------------	----------------------

Tabella 5.1: Settore di appartenenza, fatturato, processi produttivi, area produttiva e organico dell'impresa

5.1.1 Flussi di materiali e prodotti

Come introdotto sopra, l'azienda è specializzata nella progettazione e produzione di imballaggi in materia plastica per alimentari e prodotti chimici industriali con un know-how tecnologico che riguarda il processo di estrusione per soffiaggio di materie plastiche quali propilene e polipropilene e un reparto di riempimento più recente per il riempimento e confezionamento dei flaconi, preceduto da un reparto di miscelazione. I tre macro-processi aziendali che quindi si possono identificare sono:

- Soffiaggio
- Miscelazione
- Riempimento

In particolare, andando ad analizzare i flussi di materiali, la partenza è l'acquisto di materie prime plastiche (ovvero polietilene e polipropilene) e masterbatch dalle quali vengono prodotti i flaconi vuoti attraverso un processo di blow molding. Una volta prodotti i flaconi, vengono inseriti in un certo numero di vassoi o scatole che vengono filmati e stoccati nel magazzino "prodotto soffiato". A questo punto i vassoi lasciano il reparto di soffiaggio per essere trasportati in un buffer intermedio collocato all'esterno del reparto di riempimento. Qui i flaconi vengono inseriti in delle tramogge che mediante nastri e canali arrivano alle linee produttive. L'azienda conta cinque linee di produzione automatiche collocate nello stabilimento principale e due linee di produzione semiautomatiche dislocate in un altro stabilimento. Una volta arrivati alle linee di produzione, i flaconi vengono successivamente fatti scendere in un nastro trasportatore orizzontale e subiscono una serie di operazioni, in particolare:

- Riordinamento-orientamento, in cui i flaconi vengono girati unidirezionalmente.
- Riempimento, ovvero il processo principale nel quale i flaconi vengono riempiti con il liquido già miscelato.
- Tappatura ed etichettatura/sleevertura.

- Inscatolamento automatizzato.
- Pallettizzazione, in cui una macchina posiziona le scatole nei pallet che poi vengono filmati ed etichettati.

Da fine linea i pallet vengono presi dagli operatori, trasportati con il muletto e stoccati nel magazzino drive-in di prodotto finito, che può contenere circa 15.000 posti pallet.

5.1.2 Supply chain

L'azienda è inserita in diverse supply chain che fanno parte del mercato della grande distribuzione (GDO) e collabora principalmente con sei clienti, di cui quattro sono internazionali. Il network a monte è caratterizzato da un'alta complessità, dovuta ad un alto numero di fornitori e quindi di flussi informativi, finanziari e di materiali; questo è dovuto al fatto che ogni cliente dell'azienda impone l'utilizzo dei propri fornitori certificati per il rifornimento delle materie prime e componenti.

La figura 5.1 riassume la supply chain dell'azienda, che è formata da:

- Due fornitori di etichette.
- Un fornitore di tappi.
- Un fornitore di sleever.
- Due fornitori di flaconi.
- Tre fornitori di scatole.
- Circa dieci fornitori di materie chimiche.
- Un magazzino intermedio.
- Sei clienti principali.

5.2 Misurazione dei diversi aspetti della complessità

5.2.1 Misurazione della complessità del prodotto

Per calcolare la complessità del prodotto viene utilizzata la formula 17 proposta da Fredendall e Gabriel, descritta nel capitolo 2; per il calcolo si considerano solamente i prodotti finiti riempiti ed i relativi componenti. I diversi prodotti finiti che ad oggi produce l'azienda sono 84, per un volume totale annuo di circa 14-20 milioni di flaconi. Le distinte base (DiBa) dei prodotti sono ricavate dall'ERP aziendale e non sono considerati i materiali di consumo come l'adesivo in grani, l'estensibile e le interfalde. Per il calcolo dei volumi annui sono stati considerati gli ordini di produzione confermati ed i forecast inseriti a gestionale. La tabella 5.2 raffigura un esempio di distinta base del prodotto finito riempito 8001, il volume annuo di produzione e la linea di produzione in cui viene prodotto mentre la figura 5.2 mostra la struttura gerarchica ed i livelli della distinta base. Le distinte base di tutti i prodotti e i relativi volumi sono riportate in appendice.

Codice	Descrizione	Q. per padre	Volume annuo
8001	Prodotto finito riempito	1	1,186,544
6008	Flacone	1.01	
1001	Materia prima plastica	0.7	
1002	Masterbatch	2	
5008	Dispenser	1.01	
7011	Liquido	0.00432	
2015	Materia prima chimica	0.202	
2016	Materia prima chimica	0.505	
2025	Materia prima chimica	0.1515	
2017	Materia prima chimica	0.1111	
2020	Materia prima chimica	0.00004	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
4025	Etichetta	1.025	
4026	Etichetta	1.025	
3013	Scatola	0.06375	

Tabella 5.2: DiBa del prodotto 8001

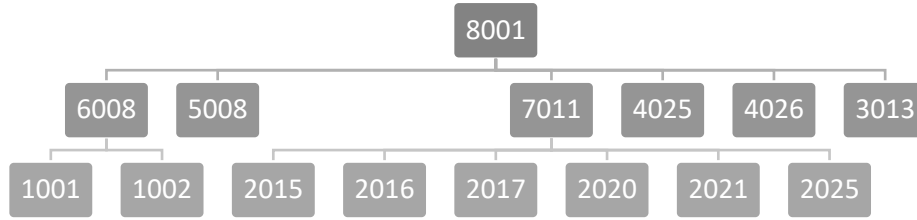


Figura 5.2: Struttura gerarchica e livelli della DiBa per il prodotto 8001

Si ripropone ora la formula (17) già descritta nel Capitolo 3 e si applica al caso aziendale.

$$C = (E + C) \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=1}^e \left[V_i \cdot \frac{(Levels(E_i)-1) + \sum_j |c_{ij}| (Levels(c_{ij})-1)}{|c_i|+1} \right]}{\sum_{i=1}^e V_i} \right\} \cdot (2 - TCCI)$$

Il numero di prodotti finiti è 84, mentre il numero di componenti è 464; i volumi di produzione sono stati ricavati dagli ordini di produzione già confermati e dai forecast attraverso un'estrazione dall'ERP.

$$C = (E + C) \cdot \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{84} \left[V_i \cdot \frac{(Levels(E_i)-1) + \sum_j^{464} (Levels(c_{ij})-1)}{|c_i|+1} \right]}{\sum_{i=1}^{84} V_i} \right\} \cdot (2 - TCCI)$$

$$TCCI = 1 - \frac{d-1}{\sum_{j=1}^d \phi_{j-1}} = 1 - \frac{464-1}{1.167-1} = 0.603$$

$$C = (84 + 464) \cdot \left\{ \frac{\left[1.018.224 \cdot \frac{2+1+1}{14+1} \right] + \left[1.186.544 \cdot \frac{2+1+1}{12+1} \right] + \dots + \left[14.400 \cdot \frac{2+1+1}{16+1} \right]}{14.878.869} \right\} \cdot (2 - 0.603) = 248 * 0.44 * 1.397 = 152.45$$

5.2.2 Misurazione della complessità del processo produttivo

Per il calcolo della complessità statica legata al processo produttivo si applica la formula tre già descritta nel secondo capitolo alle cinque linee automatiche.

$$H \text{ statica} = - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} \log_2 p_{ij}$$

I prodotti considerati sono sette, in quanto questi sono differenziati da una diversa configurazione di tutta la linea di produzione (riordinatore, riempitrice, tappatrice, inscatolatrice e pallettizzatore). Ognuno di questi prodotti ha differenti articoli all'interno della gamma in base al mercato di destinazione; per ognuno di questi articoli cambiano le etichette/sleever e alcune volte il tappo/dosatore ma il formato del flacone è lo stesso. Nel caso specifico quindi il set-up è riferito al cosiddetto cambio formato, ovvero il passaggio da un prodotto caratterizzato da una tipologia di flacone ad un altro; infatti, tutte le parti della linea produttiva vengono impostate e calibrate in base alla tipologia di flacone che le macchine devono “maneggiare”.

Non vengono considerati i fermi macchina per il cambio dei componenti (etichette/sleever, tappi/doser) all'interno della produzione di uno stesso formato.

La figura 5.3 mostra la schedulazione delle linee di produzione per le prime settimane dell'anno, tenendo in considerazione che le linee vanno a ciclo continuo e mantengono sempre la stessa schedulazione nel corso dell'anno. Infatti, anche se l'azienda si è da sempre contraddistinta per un'alta flessibilità, dato il costo elevato e la lunga durata dei cambi formati e la bassa marginalità dei prodotti, la strategia aziendale è quella di minimizzare il numero di set-up, massimizzare il numero di flaconi prodotti per formato e ridurre i cambi di schedulazione in maniera tale da ottimizzare al meglio le risorse necessarie da impiegare nelle linee. Un set-up medio nella condizione attuale dell'azienda è di 8 ore (1 turno lavorativo), nella quale vengono considerati tutti i tempi di attrezzaggio delle varie parti della linea automatica più tutte le operazioni di allineamento ed aggiustamento per fare in modo che la linea possa partire subito a regime.

Week	Wk 1	Wk 2	Wk 3	Wk 4	Wk 5	Wk 6	Wk 7	Wk 8	Wk 9	Wk 10	Wk 11	Wk 12	Wk 13	Wk 14
LINEA 1	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1	SET-UP	Prod. 2	Prod. 2	SET-UP	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1	Prod. 1
LINEA 2	Prod. 3	Prod. 3	SET-UP	Prod. 4	SET-UP		Prod. 3	Prod. 3	SET-UP	Prod. 4	SET-UP		Prod. 3	Prod. 3

LINEA 3	Prod. 4	Prod. 4	Prod. 4		Prod. 4	Prod. 4	Prod. 4		Prod. 4	Prod. 4	Prod. 4		Prod. 4	Prod. 4
LINEA 4	Prod. 5	Prod. 5	SET-UP	Prod. 6		Prod. 5	Prod. 5	SET-UP	Prod. 6		Prod. 5	Prod. 5	SET-UP	Prod. 6
LINEA 5	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7	Prod. 7

Figura 5.3: Struttura gerarchica e livelli della DiBa per il prodotto 8001

Considerando 48 settimane lavorative in un anno e 16 ore al giorno (due turni da 8 ore) per 5 giorni a settimana, il tempo disponibile in cui la linea può essere operativa è di 3840 h/anno. Gli stati che si considerano per il calcolo della complessità statica sono quattro: manutenzione, set-up, in funzione ed inattiva. Il tempo di set-up per ogni linea dipende dal numero di volte in cui viene cambiato il formato in un anno, ad esempio per la linea 1 il calcolo che viene fatto è:

$$H_{setup_1} = 8 \text{ h/sett} * 11 \text{ set-up/anno} = 88 \text{ h}$$

La manutenzione ordinaria delle linee attualmente viene fatta 3 volte all'anno (per ingrassaggi, manutenzione alberi, cinghie e cuscinetti, cambio delle parti usurate dai prodotti come ipoclorito, ecc.): una volta le linee restano ferme per una settimana e due volte per 4 giorni. Il tempo per la manutenzione può quindi essere stimato a 144 ore all'anno per linea. Il tempo di inattività è ricavato dalla schedulazione e varia in base agli ordini ed al forecast dei clienti. Questi dati più quelli relativi alle ore di produzione sono mostrati nella tabella 5.3.

	Linea 1	Linea 2	Linea 3	Linea 4	Linea 5
Tot h annuali	3840	3840	3840	3840	3840
Manutenzione ordinaria	144	144	144	144	144
Set-up (h)	8	8	8	8	8
Tot. h set-up	88	128	8	88	8
Tot. produzione (h)	3608	3248	3208	3248	3688

Tempo di inattività (h)	0	320	480	360	0
--------------------------------	---	-----	-----	-----	---

Tabella 5.3: h disponibili, di manutenzione, di set-up, di produzione e di inattività per ogni linea.

A questo punto si calcolano le probabilità relative ai diversi stati che le linee possono avere (tabella 5.4) dalle quali si calcolano le complessità applicando la formula proposta dagli autori.

Line/Probabilità	Set-up	Manutenzione	Produzione	Inattiva
Linea 1	0.023	0.0375	0.939	0
Linea 2	0.0335	0.0375	0.846	0.083
Linea 3	0,0021	0.0375	0.835	0.125
Linea 4	0.023	0.0375	0.846	0.09375
Linea 5	0,0021	0.0375	0.96	0

Tabella 5.4: Probabilità degli stati delle diverse linee

$$H \text{ statica (1)} = -(0.023 * \log_2(0.023) + 0.0375 * \log_2(0.0375) + 0.939 * \log_2(0.939)) = -(-0.39) = 0.39$$

$$H \text{ statica (2)} = -(0.0335 * \log_2(0.0335) + 0.0375 * \log_2(0.0375) + 0.846 * \log_2(0.846) + 0.083 * \log_2(0.083)) = -(-0.84) = 0.84$$

$$H \text{ statica (3)} = -(0.0021 * \log_2(0.0021) + 0.0375 * \log_2(0.0375) + 0.835 * \log_2(0.835) + 0.125 * \log_2(0.125)) = -(-0.79) = 0.79$$

$$H \text{ statica (4)} = -(0.023 * \log_2(0.023) + 0.0375 * \log_2(0.0375) + 0.846 * \log_2(0.846) + 0.09375 * \log_2(0.09375)) = -(-0.83) = 0.83$$

$$H \text{ statica (5)} = -(0.0021 * \log_2(0.0021) + 0.0375 * \log_2(0.0375) + 0.96 * \log_2(0.96)) = -(-0.25) = 0.25$$

$$H \text{ statica} = 0.39 + 0.84 + 0.79 + 0.83 + 0.25 = 3.1$$

5.2.3 Misurazione della complessità della supply chain

Per la misurazione della complessità della supply chain si applica la formula 16 (descritta nel secondo capitolo) proposta da Chen-Yang Cheng et al. Partendo dalla supply chain rappresentata in figura 5.1, si ricava la tabella 5.5 FROM/TO chiamata matrice strutturale, nel quale ogni collegamento tra le aziende è rappresentato dal numero 1 all'interno della cella.

FROM/TO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	TOT
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	6
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1	1	1	3	3	1	1	1	32

Tabella 5.5: Matrice strutturale della supply chain

A questo punto si calcolano le entropie $H(I)$, $H(O)$ e $H(I,O)$ dalle quali si ricava l'AMI utilizzando la formula 14 descritta nel capitolo 3. In particolare:

$$H(O) = -\sum_{i=1}^M (\sum_{j=1}^N p_{ij}) \log_2 (\sum_{j=1}^N p_{ij}) = -\sum_{i=1}^M (p_{i1} \log_2 (p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + p_{i4} + p_{i5} + p_{i6} + p_{i7} + p_{i8} + \dots + p_{i28}) + p_{i2} \log_2 (p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + p_{i4} + p_{i5} +$$

$$\begin{aligned}
& p_{i6} + p_{i7} + p_{i8} \dots + p_{i28}) + \dots + p_{i28} \log_2(p_{i1} + p_{i2} + p_{i3} + p_{i4} + p_{i5} + p_{i6} + p_{i7} + \\
& p_{i8} \dots + p_{i28}) = -p_{120} \log_2(p_{120}) - p_{220} \log_2(p_{220}) - p_{320} \log_2(p_{320} + p_{325}) - \\
& p_{325} \log_2(p_{320} + p_{325}) - p_{420} \log_2(p_{420} + p_{424}) - p_{420} \log_2(p_{420} + p_{424}) - \\
& p_{520} \log_2(p_{520} + p_{524} + p_{525}) - p_{524} \log_2(p_{520} + p_{524} + p_{525}) - \\
& p_{525} \log_2(p_{520} + p_{524} + p_{525}) - p_{620} \log_2(p_{620}) - p_{720} \log_2(p_{720}) - \\
& p_{820} \log_2(p_{820}) - p_{920} \log_2(p_{920}) - p_{1020} \log_2(p_{1020}) - p_{1120} \log_2(p_{1120}) - \\
& p_{1220} \log_2(p_{1220}) - p_{1320} \log_2(p_{1320}) - p_{1420} \log_2(p_{1420}) - p_{1520} \log_2(p_{1520}) - \\
& p_{1620} \log_2(p_{1620}) - p_{1720} \log_2(p_{1720}) - p_{1820} \log_2(p_{1820}) - p_{1920} \log_2(p_{1920} + \\
& p_{1922}) - p_{1922} \log_2(p_{1920} + p_{1922}) - p_{2021} \log_2(p_{2021}) - p_{2123} \log_2(p_{2123} + \\
& p_{2124} + p_{2125} + p_{2126} + p_{2127} + p_{2128}) - p_{2124} \log_2(p_{2123} + p_{2124} + p_{2125} + \\
& p_{2126} + p_{2127} + p_{2128}) - p_{2125} \log_2(p_{2123} + p_{2124} + p_{2125} + p_{2126} + \\
& p_{2127} + p_{2128}) - p_{2126} \log_2(p_{2123} + p_{2124} + p_{2125} + p_{2126} + p_{2127} + p_{2128}) - \\
& p_{2127} \log_2(p_{2123} + p_{2124} + p_{2125} + p_{2126} + p_{2127} + p_{2128}) - p_{2128} \log_2(p_{2123} + \\
& p_{2124} + p_{2125} + p_{2126} + p_{2127} + p_{2128}) - p_{2220} \log_2(p_{2220}) = -\frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{3}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{3}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{3}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) - \\
& \frac{1}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) = -\frac{17}{32} \log_2\left(\frac{1}{32}\right) - \frac{6}{32} \log_2\left(\frac{2}{32}\right) - \frac{3}{32} \log_2\left(\frac{3}{32}\right) - \frac{6}{32} \log_2\left(\frac{6}{32}\right) = \\
& 4.18
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(I, O) &= -\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M p_{ij} \log_2 p_{ij} = -\sum_{j=1}^N (p_{i1} \log_2 p_{i1} + \\
& p_{i2} \log_2 p_{i2} + \dots + p_{i28}) = -\frac{1}{32} * 32 \log_2 \frac{1}{32} = 5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H(I) &= - \sum_{j=1}^N \left(\sum_{i=1}^M p_{ij} \right) \log_2 \left(\sum_{i=1}^M p_{ij} \right) \\
&= - \sum_{j=1}^N (p_{1j} \log_2(p_{1j} + p_{2j} + \dots + p_{28j}) \\
&\quad + p_{2j} \log_2(p_{1j} + p_{2j} + \dots + p_{28j}) + \dots + p_{28j} \log_2(p_{1j} + p_{2j} + \dots \\
&\quad + p_{28j})) \\
&= - p_{120} \log_2(p_{120} + p_{220} + p_{320} + p_{420} + p_{520} + p_{620} + p_{720} \\
&\quad + p_{820} + p_{920} + p_{1020} + p_{1120} + p_{1220} + p_{1320} + p_{1420} + p_{1520} \\
&\quad + p_{1620} + p_{1720} + p_{1820} + p_{1920} + p_{2220}) \\
&\quad - p_{220} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{320} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{420} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{520} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{620} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{720} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{820} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{920} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{1020} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{1120} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{1220} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{1320} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{1420} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{1520} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{1620} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{1720} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{1820} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{1920} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) \\
&\quad - p_{2220} \log_2(p_{120} + \dots + p_{2220}) - p_{2021} \log_2(p_{2021}) \\
&\quad - p_{1922} \log_2(p_{1922}) - p_{2023} \log_2(p_{2023}) \\
&\quad - p_{424} \log_2(p_{424} + p_{524} + p_{2124}) \\
&\quad - p_{524} \log_2(p_{424} + p_{524} + p_{2124}) - p_{2124} \log_2(p_{424} + p_{524} \\
&\quad + p_{2124}) - p_{325} \log_2(p_{325} + p_{525} + p_{2125}) \\
&\quad - p_{525} \log_2(p_{325} + p_{525} + p_{2125}) \\
&\quad - p_{2125} \log_2(p_{325} + p_{525} + p_{2125}) - p_{2126} \log_2(p_{2126}) \\
&\quad - p_{2127} \log_2(p_{2127}) - p_{2128} \log_2(p_{2128}) \\
&= - \frac{20}{32} \log_2 \frac{20}{32} - \frac{6}{32} \log_2 \frac{1}{32} - \frac{6}{32} \log_2 \frac{3}{32} = 2
\end{aligned}$$

A questo punto possono essere calcolati:

$$AMI = 2 + 4.18 - 5 = 1.18$$

$$R(I, O) = 5 - 1.18 = 3.82 * 32 = 122.24$$

Partendo dalla matrice strutturale si può ora ricavare la matrice relativa alle tipologie di nodi, che dipende dal numero e dalla distribuzione dei collegamenti tra le aziende appartenenti alla supply chain (tabella 5.6).

FROM/TO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	I/O
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1/2
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1/2
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1/3
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1/2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1/1
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1/6
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1/1
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	1	1	1	3	3	1	1	1	32

Tabella 5.6: Matrice delle tipologie di strutture dei membri del sistema

Si può ora calcolare l'entropia legata alla diversità dei collegamenti dei membri della supply chain mediante:

$$H(\text{tipologia}) = -\sum_{i=1}^f p(\text{tipologia}_i) \log_2 p(\text{tipologia}_i) = \frac{17}{28} * \log_2 \left(\frac{28}{17}\right) + \frac{3}{28} * \log_2 \left(\frac{28}{3}\right) + \frac{2}{28} * \log_2(28) = 1.126$$

Infine, la complessità strutturale è calcolata come segue:

$$C_{st} = R(I, O) * TST + H(\text{tipologia}) * n = 122.24 + 1.126 * 28 = 153.78$$

Conclusioni

In questo lavoro di tesi si è discusso il concetto di complessità nell'ambito delle catene di fornitura. Mediante una revisione analitica della letteratura scientifica sono stati categorizzati i numerosi articoli in essa presenti, descrivendo la maggior parte delle prospettive secondo le quali la complessità dell'azienda e della supply chain sono studiate. Da questa analisi si può evincere come gli studi legati a questo concetto stiano assumendo sempre più importanza dal punto di vista accademico, motivo per il quale la letteratura in merito si è estesa significativamente negli ultimi tre decenni. Nonostante questo, la teoria è ancora in fase di sviluppo; difatti, si osservano differenti definizioni e concettualizzazioni della complessità della supply chain, che non rendono facile la comparazione e l'integrazione dei risultati. La stessa considerazione può essere fatta per i driver generanti la complessità; infatti, gli elementi identificati e studiati sono molti e disparati e dipendono da fattori legati al contesto aziendale come la strategia, la struttura fisica dell'impresa e il suo settore di appartenenza, da fattori esogeni legati all'ambiente in cui essa opera e dalla parte di impresa/supply chain che si analizza. I driver sono stati riassunti e categorizzati in base a due dimensioni: la loro origine e la tipologia di complessità. Il risultato è una matrice con ventidue driver che può essere utilizzata come punto di partenza per lo studio della complessità, tenendo in considerazione le differenze che interessano le singole imprese e adattandola conseguentemente integrando oppure escludendo determinati driver nell'analisi in base allo specifico caso aziendale. Attraverso la revisione della letteratura, inoltre, è emerso che la complessità non è sempre considerata dannosa ma deve essere fatta un'analisi distinta per ogni situazione aziendale cercando di adottare un approccio olistico che permetta di considerare tutti i diversi antecedenti e gli effetti che causano nella performance. In ogni caso sembra esserci un'opinione comune degli esperti relativamente all'importanza dell'integrazione dell'analisi, della misura e del monitoraggio della complessità all'interno delle aziende, che può portare a benefici in termini di competitività. A tal proposito è stato proposto un modello che può essere adottato in azienda che permette di introdurre l'analisi della complessità; esso consta di sei fasi che consistono nell'identificazione dei driver, nella loro classificazione in base all'origine (interna o esterna), alla tipologia (statica o dinamica) e alla natura (strategica o disfunzionale), nella successiva misurazione e prioritizzazione, nell'identificazione delle strategie di gestione e degli strumenti per implementarle ed infine nella

valutazione degli effetti che determinano e nell'applicazione delle azioni correttive. Questo modello può essere utilizzato per integrare il processo di analisi della complessità nella routine aziendale con lo scopo di identificare sistematicamente le fonti "disfunzionali" e la loro origine per poi successivamente applicare best practice che permettano di limitarne gli effetti negativi e le loro implicazioni. Nonostante il modello comprenda la disamina dei driver e la loro misurazione, molti degli articoli presenti in letteratura non analizzano la complessità considerando tutti questi aspetti, piuttosto focalizzano l'attenzione esclusivamente su determinati fattori (ad esempio la complessità del prodotto), funzioni aziendali (come, ad esempio, il reparto produttivo) o parti della supply chain (come, ad esempio, la supply base) oppure analizzano determinate performance al fine di identificare una relazione con la complessità. Ciò è dato dal fatto che la multi-dimensionalità caratterizzante la complessità della supply chain e le sue diverse manifestazioni rendono articolato integrare nell'analisi tutti gli aspetti che la caratterizzano. Inoltre, sebbene molti degli articoli presenti in letteratura contribuiscono ad una maggiore comprensione della complessità e le sue implicazioni, non sono molti i modelli che forniscono ai manager degli strumenti pratici che li possano supportare nella progettazione di strategie e nella scelta delle pratiche da adottare. Allo stesso modo molte delle tecniche quantitative descritte non sono di facile implementazione, principalmente per due motivi: la reperibilità dei dati e la loro affidabilità. Un'ulteriore considerazione è relativa ad aspetti più recenti come resilienza e sostenibilità, che non vengono considerati in letteratura ma che potrebbe essere interessante integrare nell'analisi della complessità, data l'importanza che stanno assumendo nel contesto attuale. Nel capitolo finale è stata misurata la complessità di un'azienda operante nel vicentino basandosi su modelli esistenti in letteratura; nello specifico sono state misurate quantitativamente la complessità relativa ai prodotti e ai componenti dell'impresa, alla supply chain e al processo produttivo. Sebbene siano state analizzate solamente queste dimensioni, questa analisi si riconosce come un punto di partenza utilizzabile al fine di valutare come eventuali cambiamenti in questi tre ambiti influenzano la complessità e le performance dell'impresa. Vi sono però delle limitazioni; innanzitutto, l'analisi rappresenta solo una fase del modello descritto in precedenza, ovvero quella relativa alla misurazione quantitativa dei driver. Inoltre, sono stati esaminati solamente gli aspetti relativi alla complessità statica, senza tenere in considerazione quelli dinamici, che dovrebbero essere integrati in modo da fornire il più possibile una visione completa; allo stesso modo

andrebbero incorporati più aspetti relativi all'azienda, alla supply chain e all'ambiente esterno per rendere l'analisi più esaustiva. Infine, data la diversità delle tre metodologie utilizzate, risulta difficile integrare gli indici risultanti in una sola misura che possa essere comparata con altre aziende o utilizzata internamente come benchmark.

Appendice

Codice	Descrizione	Qtà per padre	Volume annuo
8001	Prodotto finito riempito	1	1,186,544
6008	Flacone	1.01	
1001	Materia prima plastica 1	0.7	
1002	Masterbatch	2	
5008	Dispenser/tappo	1.01	
7011	Liquido	0.00432	
2015	Materia prima chimica	0.202	
2016	Materia prima chimica	0.505	
2025	Materia prima chimica	0.1515	
2017	Materia prima chimica	0.1111	
2020	Materia prima chimica	0.00004	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
4025	Etichetta	1.025	
4026	Etichetta	1.025	
3013	Scatola	0.06375	
8002	Prodotto finito riempito	1	388,200
7004	Liquido	0.00528	
2013	Materia prima chimica	0.101	
2022	Materia prima chimica	9.595	
2014	Materia prima chimica	0.101	
2012	Materia prima chimica	0.40097	
6002	Flacone	1.015	
5002	Dispenser/tappo	1.015	
4001	Etichetta	1.015	
4002	Etichetta	1.015	
2026	Materia prima chimica	0.16917	
8003	Prodotto finito riempito	1	14,520
7006	Liquido	0.01391	
6006	Flacone	1.015	
5006	Dispenser/tappo	1.015	
4017	Etichetta	1.015	
4018	Etichetta	1.015	
3008	Scatola	0.5075	
3006	Scatola	1.015	
5007	Dispenser/tappo	1.015	

8004	Prodotto finito riempito	1	12,540
7006	Liquido	0.01391	
6006	Flacone	1.015	
5006	Dispenser/tappo	1.015	
4019	Etichetta	1.015	
4020	Etichetta	1.015	
3009	Scatola	0.5075	
3006	Scatola	1.015	
5007	Dispenser/tappo	1.015	
8005	Prodotto finito riempito	1	13,530
7007	Liquido	0.01391	
6006	Flacone	1.015	
5006	Dispenser/tappo	1.015	
4013	Etichetta	1.015	
4014	Etichetta	1.015	
3010	Scatola	0.5075	
3006	Scatola	1.015	
5007	Dispenser/tappo	1.015	
8006	Prodotto finito riempito	1	7,260
7006	Liquido	0.01391	
6006	Flacone	1.015	
5006	Dispenser/tappo	1.015	
4021	Etichetta	1.015	
4022	Etichetta	1.015	
3011	Scatola	0.5075	
3006	Scatola	1.015	
5007	Dispenser/tappo	1.015	
8007	Prodotto finito riempito	1	10,230
7008	Liquido	0.01391	
6006	Flacone	1.015	
5006	Dispenser/tappo	1.015	
4015	Etichetta	1.015	
4016	Etichetta	1.015	
3007	Scatola	0.5075	
3006	Scatola	1.015	
5007	Dispenser/tappo	1.015	
8008	Prodotto finito riempito	1	92,610
3002	Scatola	0.102	

4005	Etichetta	1.025	
4006	Etichetta	1.025	
5001	Dispenser/tappo	1.01	
6001	Flacone	1.01	
7001	Liquido	0.00259	
2007	Materia prima chimica	3.03	
2005	Materia prima chimica	5.05	
2008	Materia prima chimica	1.515	
2011	Materia prima chimica	1.515	
2002	Materia prima chimica	0.404	
2004	Materia prima chimica	0.3535	
2006	Materia prima chimica	0.202	
2009	Materia prima chimica	0.202	
2010	Materia prima chimica	0.1515	
2023	Materia prima chimica	0.101	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
2001	Materia prima chimica	0.00202	
2019	Materia prima chimica	0.0002	
8009	Prodotto finito riempito	1	91,200
7002	Liquido	0.01288	
6004	Flacone	1.015	
5004	Dispenser/tappo	1.015	
4007	Etichetta	1.015	
4008	Etichetta	1.015	
3002	Scatola	0.16917	
8010	Prodotto finito riempito	1	935,040
7003	Liquido	0.01288	
6004	Flacone	1.015	
5005	Dispenser/tappo	1.015	
4003	Etichetta	1.015	
4004	Etichetta	1.015	
3001	Scatola	0.16917	
8011	Prodotto finito riempito	1	188,782
7004	Liquido	0.00528	
2013	Materia prima chimica	0.101	
2022	Materia prima chimica	9.595	
2014	Materia prima chimica	0.101	
2012	Materia prima chimica	0.40097	
6003	Flacone	1.01	

5003	Dispenser/tappo	1.01	
4031	Etichetta	1.015	
4032	Etichetta	1.015	
3016	Scatola	0.12688	
8012	Prodotto finito riempito	1	576,576
6008	Flacone	1.01	
5008	Dispenser/tappo	1.01	
7011	Liquido	0.00432	
2015	Materia prima chimica	0.202	
2016	Materia prima chimica	0.505	
2025	Materia prima chimica	0.1515	
2017	Materia prima chimica	0.1111	
2020	Materia prima chimica	0.00004	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
4029	Etichetta	1.025	
4030	Etichetta	1.025	
3014	Scatola	0.06375	
8013	Prodotto finito riempito	1	344,064
6008	Flacone	1.01	
5008	Dispenser/tappo	1.01	
7010	Liquido	0.00432	
2015	Materia prima chimica	0.202	
2016	Materia prima chimica	0.505	
2024	Materia prima chimica	0.1515	
2017	Materia prima chimica	0.1111	
2018	Materia prima chimica	0.0404	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
4027	Etichetta	1.025	
4028	Etichetta	1.025	
3015	Scatola	0.06375	
8014	Prodotto finito riempito	1	152,064
6008	Flacone	1.01	
5008	Dispenser/tappo	1.01	
7012	Liquido	0.00432	
2016	Materia prima chimica	0.505	
2021	Materia prima chimica	0.1717	
2003	Materia prima chimica	0.0505	
4023	Etichetta	1.025	
4024	Etichetta	1.025	

3012	Scatola	0.06375	
8015	Prodotto finito riempito	1	30,400
7009	Liquido	0.01906	
6007	Flacone	1.015	
5004	Dispenser/tappo	1.015	
4009	Etichetta	1.015	
4010	Etichetta	1.015	
3004	Scatola	0.203	
8016	Prodotto finito riempito	1	1,201,200
7003	Liquido	0.01288	
6007	Flacone	1.015	
5005	Dispenser/tappo	1.015	
4011	Etichetta	1.015	
4012	Etichetta	1.015	
3005	Scatola	0.203	
8017	Prodotto finito riempito	1	163,296
3017	Scatola	0.08467	
4033	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	0.101	
8018	Prodotto finito riempito	1	209,952
3018	Scatola	0.08467	
4034	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	

2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8019	Prodotto finito riempito	1	265,248
3019	Scatola	0.08467	
4035	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8020	Prodotto finito riempito	1	46,656
3020	Scatola	0.08467	
4036	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8021	Prodotto finito riempito	1	663,984
3021	Scatola	0.08467	

4037	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8022	Prodotto finito riempito	1	1,018,224
3022	Scatola	0.08467	
4038	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8023	Prodotto finito riempito	1	221,184
3024	Scatola	0.08467	
4040	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	

2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8024	Prodotto finito riempito	1	260,928
3023	Scatola	0.08467	
4039	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	0.101	
8025	Prodotto finito riempito	1	25,056
3026	Scatola	0.08467	
4042	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	0.101	
8026	Prodotto finito riempito	1	75,168
3025	Scatola	0.08467	
4041	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	

7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8027	Prodotto finito riempito	1	228,096
3027	Scatola	0.08467	
4043	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8028	Prodotto finito riempito	1	175,824
3028	Scatola	0.08467	
4044	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	

8029	Prodotto finito riempito	1	99,360
3031	Scatola	0.08467	
4045	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8030	Prodotto finito riempito	1	12,096
3032	Scatola	0.08467	
4046	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	0.101	
8031	Prodotto finito riempito	1	207,360
3029	Scatola	0.127	
4047	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	

2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8032	Prodotto finito riempito	1	161,280
3030	Scatola	0.127	
4048	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8033	Prodotto finito riempito	1	408,144
3035	Scatola	0.08467	
4049	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
8034	Prodotto finito riempito	1	100,224
3036	Scatola	0.08467	
4050	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	

5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8035	Prodotto finito riempito	1	250,560
3037	Scatola	0.08467	
4051	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	0.101	
8036	Prodotto finito riempito	1	484,704
3034	Scatola	0.08467	
4052	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7013	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	

2033	Materia prima chimica	0.101	
8037	Prodotto finito riempito	1	25,488
3033	Scatola	0.08488	
4054	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7014	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2034	Materia prima chimica	0.1515	
8038	Prodotto finito riempito	1	25,488
3038	Scatola	0.08467	
4053	Etichetta	1.02	
5100	Dispenser/tappo	1.016	
5009	Dispenser/tappo	1.016	
6008	Flacone	1.016	
7015	Liquido	0.00795	
2028	Materia prima chimica	0.2525	
2029	Materia prima chimica	5.05	
2027	Materia prima chimica	2.02	
2033	Materia prima chimica	20.22	
2030	Materia prima chimica	1.01	
2032	Materia prima chimica	2.02	
2031	Materia prima chimica	2.02	
2035	Materia prima chimica	0.1717	
8039	Prodotto finito riempito	1	1,947,984
5026	Dispenser/tappo	1.01	
6030	Flacone	1.01	
3056	Scatola	0.085	
4092	Etichetta	1.025	
4151	Etichetta	1.025	
2116	Materia prima chimica	3.6057	
2082	Materia prima chimica	4.949	

2117	Materia prima chimica	1.9594	
2115	Materia prima chimica	0.5656	
2097	Materia prima chimica	0.2828	
2163	Materia prima chimica	0.2002	
2118	Materia prima chimica	0.00758	
8040	Prodotto finito riempito	1	1,007,520
2039	Materia prima chimica	1.919	
2105	Materia prima chimica	0.1515	
2078	Materia prima chimica	0.505	
2143	Materia prima chimica	0.303	
2070	Materia prima chimica	0.00253	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2171	Materia prima chimica	0.15015	
2134	Materia prima chimica	0.00192	
2131	Materia prima chimica	0.00018	
5032	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3065	Scatola	0.085	
4155	Etichetta	1.025	
4157	Etichetta	0.08542	
8041	Prodotto finito riempito	1	756,120
3043	Scatola	0.085	
4070	Etichetta	0.08542	
5015	Dispenser/tappo	1.01	
2054	Materia prima chimica	0.707	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
6016	Flacone	1.01	
4136	Etichetta	1.025	
8042	Prodotto finito riempito	1	690,000
4134	Etichetta	1.025	
4135	Etichetta	1.025	
5023	Dispenser/tappo	1.01	
2055	Materia prima chimica	4.515	

2111	Materia prima chimica	2.2422	
2105	Materia prima chimica	2.02	
2054	Materia prima chimica	1.3433	
2154	Materia prima chimica	0.12012	
2056	Materia prima chimica	0.101	
2052	Materia prima chimica	0.00202	
2037	Materia prima chimica	0.00202	
6018	Flacone	1.01	
3062	Scatola	0.085	
8043	Prodotto finito riempito	1	600,000
2039	Materia prima chimica	2.02	
2094	Materia prima chimica	0.707	
2127	Materia prima chimica	0.303	
2170	Materia prima chimica	0.3003	
2122	Materia prima chimica	0.202	
2091	Materia prima chimica	0.202	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2137	Materia prima chimica	0.00101	
5032	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3065	Scatola	0.085	
4156	Etichetta	1.025	
4157	Etichetta	0.08542	
8044	Prodotto finito riempito	1	470,880
3040	Scatola	0.085	
4059	Etichetta	1.025	
6010	Flacone	1.01	
2042	Materia prima chimica	0.101	
2045	Materia prima chimica	3.03	
2048	Materia prima chimica	1.616	
2049	Materia prima chimica	4.848	
2143	Materia prima chimica	6.464	
2105	Materia prima chimica	1.4544	
4062	Etichetta	0.08542	
4149	Etichetta	1.025	
5022	Dispenser/tappo	1.01	
8045	Prodotto finito riempito	1	458,091
4058	Etichetta	1.025	
4150	Etichetta	1.025	

4066	Etichetta	0.11389	
5018	Dispenser/tappo	1.01	
4068	Etichetta	1.02	
6012	Flacone	1.01	
2040	Materia prima chimica	0.00505	
2041	Materia prima chimica	0.1515	
2053	Materia prima chimica	0.1515	
2057	Materia prima chimica	2.02	
2107	Materia prima chimica	7.07	
2058	Materia prima chimica	1.818	
2059	Materia prima chimica	0.0202	
2085	Materia prima chimica	0.1515	
2092	Materia prima chimica	6.363	
2099	Materia prima chimica	1.01	
2104	Materia prima chimica	0.202	
2150	Materia prima chimica	0.75075	
8046	Prodotto finito riempito	1	300,000
5026	Dispenser/tappo	1.01	
6023	Flacone	1.01	
3056	Scatola	0.085	
2082	Materia prima chimica	6.565	
2096	Materia prima chimica	4.545	
2068	Materia prima chimica	1.01	
2095	Materia prima chimica	0.505	
2097	Materia prima chimica	0.2828	
2162	Materia prima chimica	0.2002	
2118	Materia prima chimica	0.00778	
2134	Materia prima chimica	0.00019	
2130	Materia prima chimica	0.00018	
4093	Etichetta	1.025	
4094	Etichetta	1.025	
4095	Etichetta	0.08542	
8047	Prodotto finito riempito	1	248,400
4081	Etichetta	1.025	
4088	Etichetta	1.025	
5024	Dispenser/tappo	1.01	
2055	Materia prima chimica	7.35	
2106	Materia prima chimica	6.06	
2105	Materia prima chimica	0.6767	
2091	Materia prima chimica	0.202	

2052	Materia prima chimica	0.00202	
2151	Materia prima chimica	0.15015	
2037	Materia prima chimica	0.00152	
6017	Flacone	1.01	
3052	Scatola	0.085	
8048	Prodotto finito riempito	1	212,040
4096	Etichetta	1.025	
4097	Etichetta	1.025	
4070	Etichetta	0.08542	
5015	Dispenser/tappo	1.01	
3043	Scatola	0.085	
6025	Flacone	1.01	
2055	Materia prima chimica	23.1	
2105	Materia prima chimica	6.06	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2054	Materia prima chimica	0.707	
2093	Materia prima chimica	0.505	
2168	Materia prima chimica	0.2002	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
8049	Prodotto finito riempito	1	193,200
2054	Materia prima chimica	0.707	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
5017	Dispenser/tappo	1.01	
3049	Scatola	0.085	
4084	Etichetta	1.025	
4128	Etichetta	1.025	
6015	Flacone	1.01	
8050	Prodotto finito riempito	1	176,520
4056	Etichetta	1.025	
4130	Etichetta	1.025	
2054	Materia prima chimica	0.707	

2056	Materia prima chimica	0.7373	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
5017	Dispenser/tappo	1.01	
6015	Flacone	1.01	
8051	Prodotto finito riempito	1	166,440
6014	Flacone	1.01	
5020	Dispenser/tappo	1.025	
4148	Etichetta	1.025	
4082	Etichetta	1.025	
3048	Scatola	0.17	
2043	Materia prima chimica	1.616	
2067	Materia prima chimica	0.505	
2088	Materia prima chimica	4.04	
2142	Materia prima chimica	1.616	
2147	Materia prima chimica	0.2002	
8052	Prodotto finito riempito	1	165,360
4153	Etichetta	1.025	
4152	Etichetta	1.025	
5023	Dispenser/tappo	1.01	
6018	Flacone	1.01	
3059	Scatola	0.085	
2055	Materia prima chimica	4.515	
2111	Materia prima chimica	2.2422	
2105	Materia prima chimica	2.02	
2054	Materia prima chimica	1.3433	
2154	Materia prima chimica	0.12012	
2056	Materia prima chimica	0.101	
2052	Materia prima chimica	0.00202	
2037	Materia prima chimica	0.00202	
8053	Prodotto finito riempito	1	154,800
3051	Scatola	0.085	
4086	Etichetta	1.025	
5017	Dispenser/tappo	1.01	
2054	Materia prima chimica	0.707	

2056	Materia prima chimica	0.7373	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
6015	Flacone	1.01	
8054	Prodotto finito riempito	1	150,240
3061	Scatola	0.085	
4138	Etichetta	0.08542	
4160	Etichetta	1.025	
5028	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
2101	Materia prima chimica	2.525	
2128	Materia prima chimica	0.9595	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2036	Materia prima chimica	1.01	
2040	Materia prima chimica	0.9898	
2110	Materia prima chimica	0.9595	
2161	Materia prima chimica	0.4004	
2041	Materia prima chimica	0.202	
2065	Materia prima chimica	0.202	
2138	Materia prima chimica	0.00056	
2136	Materia prima chimica	0.00328	
8055	Prodotto finito riempito	1	150,000
3058	Scatola	0.085	
4099	Etichetta	1.025	
4147	Etichetta	1.025	
5017	Dispenser/tappo	1.01	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2054	Materia prima chimica	0.707	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
6015	Flacone	1.01	

8056	Prodotto finito riempito	1	141,381
5028	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3061	Scatola	0.085	
2101	Materia prima chimica	2.525	
2128	Materia prima chimica	0.9595	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2036	Materia prima chimica	1.01	
2040	Materia prima chimica	0.9898	
2110	Materia prima chimica	0.9595	
2160	Materia prima chimica	0.4004	
2041	Materia prima chimica	0.202	
2065	Materia prima chimica	0.202	
2138	Materia prima chimica	0.00303	
2137	Materia prima chimica	0.0003	
4139	Etichetta	1.025	
4138	Etichetta	0.08542	
8057	Prodotto finito riempito	1	134,928
2094	Materia prima chimica	1.01	
2105	Materia prima chimica	0.2424	
2101	Materia prima chimica	0.505	
2128	Materia prima chimica	2.02	
2072	Materia prima chimica	0.202	
2122	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2158	Materia prima chimica	0.58058	
2139	Materia prima chimica	0.00631	
2140	Materia prima chimica	0.00202	
5033	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3061	Scatola	0.085	
4140	Etichetta	1.025	
4133	Etichetta	0.08542	
8058	Prodotto finito riempito	1	121,992
3039	Scatola	0.085	
4115	Etichetta	1.025	
4116	Etichetta	1.025	
4117	Etichetta	0.08542	
5019	Dispenser/tappo	1.01	

6029	Flacone	1.01	
2101	Materia prima chimica	8.08	
2100	Materia prima chimica	0.505	
2131	Materia prima chimica	0.00035	
2129	Materia prima chimica	0.00066	
2128	Materia prima chimica	0.0505	
2077	Materia prima chimica	0.0404	
2157	Materia prima chimica	0.03003	
8059	Prodotto finito riempito	1	114,000
3047	Scatola	0.085	
4101	Etichetta	0.08542	
5016	Dispenser/tappo	1.01	
2143	Materia prima chimica	6.3125	
2094	Materia prima chimica	5.151	
2105	Materia prima chimica	3.0906	
2110	Materia prima chimica	4.141	
2076	Materia prima chimica	1.515	
2072	Materia prima chimica	0.6565	
2165	Materia prima chimica	0.59059	
2068	Materia prima chimica	0.303	
2102	Materia prima chimica	0.2525	
2113	Materia prima chimica	0.202	
2144	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2103	Materia prima chimica	0.0707	
2061	Materia prima chimica	0.00505	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
4106	Etichetta	1.025	
4107	Etichetta	1.025	
8060	Prodotto finito riempito	1	103,200
3047	Scatola	0.0867	
4100	Etichetta	0.08756	
5025	Dispenser/tappo	1.01	
6027	Flacone	1.01	
4103	Etichetta	1.025	
4104	Etichetta	1.025	
2110	Materia prima chimica	6.5325	
2143	Materia prima chimica	5.87925	
2105	Materia prima chimica	3.015	
2076	Materia prima chimica	0.7035	

2072	Materia prima chimica	0.5025	
2155	Materia prima chimica	0.43043	
2073	Materia prima chimica	0.15075	
2068	Materia prima chimica	0.3819	
2089	Materia prima chimica	0.1005	
2044	Materia prima chimica	0.09648	
2070	Materia prima chimica	0.00503	
2114	Materia prima chimica	0.00503	
8061	Prodotto finito riempito	1	101,520
3057	Scatola	0.085	
4098	Etichetta	1.025	
4154	Etichetta	1.025	
5017	Dispenser/tappo	1.01	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2054	Materia prima chimica	0.707	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
6015	Flacone	1.01	
8062	Prodotto finito riempito	1	90,000
3046	Scatola	0.085	
4071	Etichetta	1.025	
4072	Etichetta	1.025	
5021	Dispenser/tappo	1.01	
2051	Materia prima chimica	0.3939	
2060	Materia prima chimica	0.1717	
2062	Materia prima chimica	0.3939	
2074	Materia prima chimica	0.202	
2079	Materia prima chimica	1.616	
2080	Materia prima chimica	0.606	
2145	Materia prima chimica	0.3003	
2105	Materia prima chimica	0.03818	
2109	Materia prima chimica	4.949	
8063	Prodotto finito riempito	1	90,000
2094	Materia prima chimica	1.01	
2105	Materia prima chimica	0.2424	

2101	Materia prima chimica	0.505	
2039	Materia prima chimica	2.02	
2072	Materia prima chimica	0.202	
2122	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2164	Materia prima chimica	0.45045	
2137	Materia prima chimica	0.00202	
5034	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3061	Scatola	0.085	
4141	Etichetta	1.025	
4133	Etichetta	0.08542	
8064	Prodotto finito riempito	1	82,800
3040	Scatola	0.085	
4061	Etichetta	1.025	
4063	Etichetta	0.08542	
6009	Flacone	1.01	
2038	Materia prima chimica	1.717	
2040	Materia prima chimica	0.808	
2042	Materia prima chimica	5.555	
2045	Materia prima chimica	0.606	
2053	Materia prima chimica	0.1818	
2141	Materia prima chimica	1.616	
2100	Materia prima chimica	2.525	
5021	Dispenser/tappo	1.01	
8065	Prodotto finito riempito	1	82,800
3045	Scatola	0.16667	
4073	Etichetta	0.16667	
4074	Etichetta	1.025	
5012	Dispenser/tappo	1.01	
6020	Flacone	1.01	
2078	Materia prima chimica	3.6966	
2066	Materia prima chimica	2.929	
2128	Materia prima chimica	2.727	
2083	Materia prima chimica	2.02	
2094	Materia prima chimica	1.3029	
2063	Materia prima chimica	1.01	
2086	Materia prima chimica	0.909	
2084	Materia prima chimica	0.8484	
2071	Materia prima chimica	0.808	

2152	Materia prima chimica	0.22022	
2044	Materia prima chimica	0.0909	
2041	Materia prima chimica	0.0505	
2070	Materia prima chimica	0.00303	
2130	Materia prima chimica	0.00202	
2133	Materia prima chimica	0.202	
8066	Prodotto finito riempito	1	78,000
3045	Scatola	0.17	
4076	Etichetta	1.025	
4122	Etichetta	1.025	
4123	Etichetta	0.17083	
5011	Dispenser/tappo	1.01	
6020	Flacone	1.01	
2078	Materia prima chimica	4.545	
2066	Materia prima chimica	2.323	
2128	Materia prima chimica	1.818	
2086	Materia prima chimica	1.818	
2094	Materia prima chimica	1.2928	
2072	Materia prima chimica	0.505	
2148	Materia prima chimica	0.57057	
2083	Materia prima chimica	0.808	
2105	Materia prima chimica	0.1212	
2044	Materia prima chimica	0.0909	
2064	Materia prima chimica	0.0101	
2130	Materia prima chimica	0.00505	
2070	Materia prima chimica	0.00303	
2133	Materia prima chimica	0.202	
8067	Prodotto finito riempito	1	58,920
5031	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3060	Scatola	0.085	
4132	Etichetta	0.08542	
2143	Materia prima chimica	5.9085	
2072	Materia prima chimica	0.303	
2068	Materia prima chimica	0.202	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
2105	Materia prima chimica	3.0199	
2110	Materia prima chimica	6.565	
2144	Materia prima chimica	0.202	

2076	Materia prima chimica	1.01	
2064	Materia prima chimica	0.505	
2124	Materia prima chimica	0.0707	
2125	Materia prima chimica	0.0505	
2126	Materia prima chimica	1.313	
2159	Materia prima chimica	0.41041	
2103	Materia prima chimica	0.0707	
2140	Materia prima chimica	0.00061	
8068	Prodotto finito riempito	1	58,500
5030	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3060	Scatola	0.085	
4137	Etichetta	1.025	
4132	Etichetta	0.08542	
2143	Materia prima chimica	5.9085	
2072	Materia prima chimica	0.303	
2068	Materia prima chimica	0.3838	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
2105	Materia prima chimica	3.0199	
2110	Materia prima chimica	6.565	
2144	Materia prima chimica	0.202	
2076	Materia prima chimica	1.313	
2064	Materia prima chimica	1.2625	
2155	Materia prima chimica	0.43043	
2123	Materia prima chimica	0.2525	
2124	Materia prima chimica	0.202	
2125	Materia prima chimica	0.1515	
2089	Materia prima chimica	0.101	
8069	Prodotto finito riempito	1	57,600
5035	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
2143	Materia prima chimica	5.9085	
2072	Materia prima chimica	0.303	
2068	Materia prima chimica	0.3838	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
2105	Materia prima chimica	3.0199	
2110	Materia prima chimica	6.565	
2144	Materia prima chimica	0.202	

2076	Materia prima chimica	1.313	
2064	Materia prima chimica	1.515	
2155	Materia prima chimica	0.43043	
2123	Materia prima chimica	0.2525	
2124	Materia prima chimica	0.0707	
2125	Materia prima chimica	0.0505	
2089	Materia prima chimica	0.0505	
3060	Scatola	0.085	
4142	Etichetta	1.025	
4132	Etichetta	0.08542	
8070	Prodotto finito riempito	1	57,600
5029	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	
3060	Scatola	0.085	
4131	Etichetta	1.025	
4132	Etichetta	0.08542	
2143	Materia prima chimica	5.9085	
2072	Materia prima chimica	0.303	
2068	Materia prima chimica	0.3838	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2061	Materia prima chimica	0.03535	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
2105	Materia prima chimica	3.0199	
2110	Materia prima chimica	6.565	
2144	Materia prima chimica	0.202	
2076	Materia prima chimica	1.313	
2064	Materia prima chimica	1.515	
2155	Materia prima chimica	0.43043	
2123	Materia prima chimica	0.2525	
2124	Materia prima chimica	0.0707	
2125	Materia prima chimica	0.0505	
8071	Prodotto finito riempito	1	56,520
3045	Scatola	0.16999	
4078	Etichetta	1.025	
4119	Etichetta	1.025	
5014	Dispenser/tappo	1.01	
6019	Flacone	1.01	
2064	Materia prima chimica	0.202	
2070	Materia prima chimica	0.02525	
2134	Materia prima chimica	0.00192	

2098	Materia prima chimica	0.0001	
2046	Materia prima chimica	2.02	
2047	Materia prima chimica	0.1515	
2066	Materia prima chimica	4.3632	
2078	Materia prima chimica	8.585	
2083	Materia prima chimica	1.01	
2131	Materia prima chimica	0.00018	
2149	Materia prima chimica	0.08008	
2067	Materia prima chimica	1.01	
2072	Materia prima chimica	0.808	
2105	Materia prima chimica	0.1212	
2074	Materia prima chimica	0.101	
8072	Prodotto finito riempito	1	51,858
3045	Scatola	0.17	
6019	Flacone	1.01	
2078	Materia prima chimica	3.03	
2086	Materia prima chimica	2.424	
2146	Materia prima chimica	0.3003	
2066	Materia prima chimica	2.1715	
2094	Materia prima chimica	0.87365	
2072	Materia prima chimica	0.808	
2069	Materia prima chimica	0.404	
2068	Materia prima chimica	0.202	
2105	Materia prima chimica	0.1212	
2083	Materia prima chimica	0.101	
2047	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.0909	
2070	Materia prima chimica	0.00303	
5011	Dispenser/tappo	1.01	
4079	Etichetta	1.025	
4120	Etichetta	1.025	
4127	Etichetta	0.17084	
8073	Prodotto finito riempito	1	51,765
3045	Scatola	0.17	
6019	Flacone	1.01	
2153	Materia prima chimica	0.25526	
2070	Materia prima chimica	0.02525	
2078	Materia prima chimica	8.585	
2066	Materia prima chimica	4.3632	
2083	Materia prima chimica	0.909	

2046	Materia prima chimica	2.02	
2064	Materia prima chimica	0.202	
2047	Materia prima chimica	0.1515	
2134	Materia prima chimica	0.00192	
2131	Materia prima chimica	0.00018	
2098	Materia prima chimica	0.0001	
2067	Materia prima chimica	1.01	
2072	Materia prima chimica	0.808	
2105	Materia prima chimica	0.1212	
2074	Materia prima chimica	0.101	
5014	Dispenser/tappo	1.01	
4080	Etichetta	1.025	
4121	Etichetta	1.025	
4125	Etichetta	0.17083	
8074	Prodotto finito riempito	1	51,600
3045	Scatola	0.17	
6020	Flacone	1.01	
2078	Materia prima chimica	4.545	
2066	Materia prima chimica	2.323	
2128	Materia prima chimica	1.818	
2086	Materia prima chimica	1.818	
2094	Materia prima chimica	1.2928	
2072	Materia prima chimica	0.505	
2148	Materia prima chimica	0.57057	
2083	Materia prima chimica	0.808	
2105	Materia prima chimica	0.1212	
2044	Materia prima chimica	0.0909	
2064	Materia prima chimica	0.0101	
2130	Materia prima chimica	0.00505	
2070	Materia prima chimica	0.00303	
2133	Materia prima chimica	0.202	
5011	Dispenser/tappo	1.01	
4077	Etichetta	1.025	
4118	Etichetta	1.025	
4126	Etichetta	0.17084	
8075	Prodotto finito riempito	1	48,000
3042	Scatola	0.11333	
4067	Etichetta	0.11389	
4064	Etichetta	1.025	
4065	Etichetta	1.025	

5018	Dispenser/tappo	1.01	
4069	Etichetta	1.025	
6012	Flacone	1.01	
2040	Materia prima chimica	0.00505	
2041	Materia prima chimica	0.1515	
2053	Materia prima chimica	0.1515	
2057	Materia prima chimica	2.02	
2107	Materia prima chimica	7.07	
2058	Materia prima chimica	1.818	
2059	Materia prima chimica	0.0202	
2085	Materia prima chimica	0.1515	
2092	Materia prima chimica	6.363	
2099	Materia prima chimica	1.01	
2104	Materia prima chimica	0.202	
2150	Materia prima chimica	0.75075	
8076	Prodotto finito riempito	1	48,000
3055	Scatola	0.085	
4090	Etichetta	1.025	
4091	Etichetta	1.025	
5027	Dispenser/tappo	1.01	
6022	Flacone	1.01	
2121	Materia prima chimica	0.3535	
2120	Materia prima chimica	3.636	
2119	Materia prima chimica	37.875	
2100	Materia prima chimica	0.29492	
2074	Materia prima chimica	0.11363	
2118	Materia prima chimica	0.01313	
8077	Prodotto finito riempito	1	36,000
2094	Materia prima chimica	1.01	
2105	Materia prima chimica	0.2424	
2101	Materia prima chimica	0.505	
2128	Materia prima chimica	2.02	
2072	Materia prima chimica	0.202	
2122	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2158	Materia prima chimica	0.58058	
2139	Materia prima chimica	0.00631	
2140	Materia prima chimica	0.00202	
5033	Dispenser/tappo	1.01	
6026	Flacone	1.01	

3065	Scatola	0.085	
4158	Etichetta	1.025	
4159	Etichetta	0.08542	
8078	Prodotto finito riempito	1	34,770
3064	Scatola	0.17	
4057	Etichetta	1.025	
4145	Etichetta	1.025	
5013	Dispenser/tappo	1.01	
6031	Flacone	1.01	
2044	Materia prima chimica	0.09999	
2050	Materia prima chimica	4.04	
2061	Materia prima chimica	0.0202	
2068	Materia prima chimica	0.2525	
2141	Materia prima chimica	0.1313	
2087	Materia prima chimica	2.1715	
2166	Materia prima chimica	0.49049	
8079	Prodotto finito riempito	1	30,000
3047	Scatola	0.085	
4102	Etichetta	0.08542	
4108	Etichetta	1.025	
4146	Etichetta	1.025	
5016	Dispenser/tappo	1.01	
2143	Materia prima chimica	6.3125	
2094	Materia prima chimica	5.151	
2105	Materia prima chimica	3.0906	
2110	Materia prima chimica	4.141	
2076	Materia prima chimica	1.515	
2072	Materia prima chimica	0.6565	
2169	Materia prima chimica	0.56056	
2068	Materia prima chimica	0.202	
2102	Materia prima chimica	0.2525	
2113	Materia prima chimica	0.202	
2144	Materia prima chimica	0.101	
2044	Materia prima chimica	0.09696	
2103	Materia prima chimica	0.0707	
2061	Materia prima chimica	0.00505	
2070	Materia prima chimica	0.00505	
2132	Materia prima chimica	0.00075	
8080	Prodotto finito riempito	1	30,000

4055	Etichetta	1.025	
4144	Etichetta	1.025	
5013	Dispenser/tappo	1.01	
2167	Materia prima chimica	0.42042	
2061	Materia prima chimica	0.101	
2081	Materia prima chimica	11.716	
2097	Materia prima chimica	0.202	
2105	Materia prima chimica	0.01818	
6013	Flacone	1.01	
3063	Scatola	0.08333	
8081	Prodotto finito riempito	1	27,600
4083	Etichetta	1.025	
4089	Etichetta	1.025	
5023	Dispenser/tappo	1.01	
2055	Materia prima chimica	4.515	
2111	Materia prima chimica	2.2422	
2105	Materia prima chimica	2.02	
2054	Materia prima chimica	1.3433	
2154	Materia prima chimica	0.12012	
2056	Materia prima chimica	0.101	
2052	Materia prima chimica	0.00202	
2037	Materia prima chimica	0.00202	
6018	Flacone	1.01	
8082	Prodotto finito riempito	1	27,600
3053	Scatola	0.085	
4110	Etichetta	1.025	
4111	Etichetta	1.025	
4109	Etichetta	0.08542	
5025	Dispenser/tappo	1.01	
6021	Flacone	1.01	
2110	Materia prima chimica	6.5325	
2143	Materia prima chimica	5.87925	
2105	Materia prima chimica	3.015	
2076	Materia prima chimica	0.7035	
2072	Materia prima chimica	0.5025	
2155	Materia prima chimica	0.43043	
2073	Materia prima chimica	0.15075	
2068	Materia prima chimica	0.3819	
2089	Materia prima chimica	0.1005	
2044	Materia prima chimica	0.09648	

2070	Materia prima chimica	0.00503	
2114	Materia prima chimica	0.00503	
8083	Prodotto finito riempito	1	21,600
3053	Scatola	0.085	
4114	Etichetta	0.08542	
5016	Dispenser/tappo	1.01	
4112	Etichetta	1.025	
4113	Etichetta	1.025	
2110	Materia prima chimica	6.5325	
2143	Materia prima chimica	5.87925	
2105	Materia prima chimica	3.015	
2076	Materia prima chimica	0.7035	
2072	Materia prima chimica	0.5025	
2068	Materia prima chimica	0.45225	
2156	Materia prima chimica	0.3003	
2089	Materia prima chimica	0.1005	
2044	Materia prima chimica	0.09648	
2061	Materia prima chimica	0.00503	
2070	Materia prima chimica	0.00503	
6024	Flacone	1.01	
8084	Prodotto finito riempito	1	14,400
4085	Etichetta	1.025	
4129	Etichetta	1.025	
5015	Dispenser/tappo	1.01	
2054	Materia prima chimica	0.707	
2056	Materia prima chimica	0.7373	
2055	Materia prima chimica	44.1	
2075	Materia prima chimica	5.3227	
2090	Materia prima chimica	0.7575	
2093	Materia prima chimica	1.01	
2135	Materia prima chimica	0.00068	
2105	Materia prima chimica	5.16312	
6016	Flacone	1.01	
3044	Scatola	0.085	
4070	Etichetta	0.08542	
4070	Etichetta	0.08542	

Bibliografia

- Aelker J., Bauernhanslb T., Ehmc H., 2013, Managing complexity in supply chains: A discussion of current approaches on the example of the semiconductor industry, *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 79 - 84.
- Aitken J., Bozarth C., Garn W., 2016, To eliminate or absorb supply chain complexity: a conceptual model and case study, *Supply Chain Management: An International Journal* 21/6, pp. 759-774.
- Allesina S., Azzi A. Battini D., Regattieri A., 2010, Performance measurement in supply chains: new network analysis and entropic indexes, *International Journal of Production Research*, vol. 48, No. 8 , pp. 2297-2321.
- Arteta B. M., Giacchetti R. E., 2004, A measure of agility as the complexity of the enterprise system, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 20, pp. 495-503.
- Amaral L. A., Uzzi B., 2007, Complex systems-A new paradigm for the integrative study of management, physical and technological systems. *Management Science*, Vol. 53, pp. 1033-1035.
- Ateş M. A., Suurmond R., Luzzini D., Krause D., 2020, Order from chaos: A meta-analysis of supply chain complexity and firm performance, *Journal of supply chain management*.
- Ballew B., Schnorbus R., 1994, Realigning in auto supplier industry, *Economic Perspectives*, Vol. 18 No. 1, pp. 2-9.
- Bashir H. A., Thompson V., 1999, Estimating design complexity, *Journal of Engineering Design*, vol. 10, No. 3, pp. 247-257.
- Battini, D., Persona, A., Allesina, S., 2007, Towards a use of network analysis: quantifying the complexity of supply chain networks, *International Journal of Electronic Customer Relationship Management*, Vol. 1, No. 1, pp. 75-90.
- Beamon B. M, 1998, Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics*, vol. 55, No 3, pp. 281–294.
- Blecker T., Friedrich G., Kaluza B., Abdelkafi N., Kreutler G., 2005, *Information and Management Systems for Product Customization*, New York: Springer.

- Biazzo S., Filippini R., 2018, *Management dell'innovazione*, De Agostini Scuola SpA, Novara
- Bode C., Wagner S. M., 2015, Structural drivers of upstream supply chain complexity and the frequency of supply chain disruptions, *Journal of Operations Management*, vol. 36, pp. 215-228.
- Bozarth C., Warsing D., Flynn B., 2009, The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance, *Journal of Operations Management*, vol. 27 No. 1, pp. 78-93.
- Cagliano A. C., Carlin, A., Rafele C., 2009, Understanding Supply Chain Complexity with Performance Measurement, *Department of Production Systems and Business Economics*, Politecnico di Torino, Torino.
- Calinescu A., et. al., 1998, Applying and assessing two methods for measuring complexity in manufacturing, *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 49, No. 7 pp. 723-733.
- Campos P. F., Trucco P., Huatuco H. L., 2018, Managing structural and dynamic complexity in supply chains: insights from four case studies. *Production Planning & Control*, Vol. 30, No. 8, pp. 611-623.
- Caniato F., Größler A., 2015, The moderating effect of product complexity on new product development and supply chain management integration, *Production Planning & Control*, vol. 26, No. 16, pp. 1306–1317.
- Caridi M., Crippa L., Perego A., Sianesi A., Tumino A., 2010, Do virtuality and complexity affect supply chain visibility?, *Int. J. Production Economics*, vol. 127, pp. 372–383.
- Carter C. R., Rogers D. S., Choi T. Y., 2015, Toward the theory of the supply chain, *Arizona State University*, vol. 51, No 2.
- Cheng C-Y., Chen T-L., Chen Y-Y., 2014, An analysis of the structural complexity of supply chain networks. *Applied Mathematical Modelling* vol. 38, pp. 2328-2344.
- Childerhouse P., Towill D. R., 2004, Reducing uncertainty in European supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 15, No. 7, pp. 585–598.

- Cho J., Kang J., 2001, Benefits and challenges of global sourcing: perceptions of US apparel retail firms, *International Marketing Review*, vol. 18, No. 5, pp. 542-561.
- Choi T. Y., Hong Y., 2002, Unveiling the structure of supply networks : Case studies in Honda, Acura, and DaimlerChrysler, *Journal of Operations Management*, vol. 20, No 5, pp. 469-493.
- Choi T. Y., Dooley K. J., Rungtusanathamc M., 2001 Supply networks and complex adaptive systems: control versus emergence, *Journal of Operations Management*, vol. 19 , pp. 351-366.
- Cooke J. A., 2007, Weaving 2 supply chains together, *CSCMP's Supply Chain quarterly* .
- Cooper M. C., Lambert D. M., Pagh J. D., 1997, Supply chain management: More than a new name for logistics, *International Journal of Logistics Management*, vol. 8, No. 1, pp 1-14.
- Cox J., Blackstone J., Spencer M., 1995, APICS Dictionary (8th ed.), American Production and Inventory Control Society.
- De Toni A. F., Comello L., 2005, *Prede o ragni?*, Utet Libreria, Torino
- De toni A. F., Nonino F., Zanutto G., 2005, Misure di complessità nei sistemi produttivi, *Associazione Italiana di Ingegneria Gestionale*.
- de Leeuw S., Grotenhuis R. van Goor A. R., 2013, Assessing complexity of supply chains: evidence from wholesalers. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 33, no. 8, pp. 960-980.
- Deshmukh A., Talavage J., Barash M. M., 1998, Complexity in manufacturing systems, Part 1: Analysis of static complexity, *IIE Transactions*, Vol. 30, pp. 645-655.
- Ellram L. M., Cooper M., 2014, Supply Chain Management: It's About the Journey, Not the destination, *Journal of supply chain management*, Vol. 50 No.1.
- Filiz I., 2011, Complexity in Supply Chains: A New Approach to Quantitative Measurement of the Supply-Chain-Complexity. *Supply Chain Management*, InTech.
- Forrester J. W., 1961, Industrial Dynamics, *MIT Press*.

- Frizelle, G., Woodcock, E., 1995, Measuring complexity as an aid to developing operational strategy. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 15, No. 5, pp. 26-39
- Frizelle G., 2004, Complexity in the Supply Chain, *Institute for Manufacturing, University of Cambridge, UK*.
- Frankel R., Bolumole, Y. A., Eltantawy, R. A., Paulraj, A., & Gundlach, G. T., 2008, The domain and scope of SCM's foundational disciplines-Insights and issues to advance research, *Journal of Business Logistics*, vol. 29, No. 1, pp. 1-30.
- Fredendall L. D., Gabriel T. J., 2003, Manufacturing Complexity: A Quantitative Measure, *POMS Conference*, Savannah, GA.
- Fujimoto T., 2003, Assembly process design for managing manufacturing complexity because of Product Varieties, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, Vol. 15, pp. 283-307.
- Galbraith J. R., 1974, Organization Design: An Information Processing View, *Interfaces*, vol. 4, No. 3, pp. 28-36.
- Gerschberger M., Hohensinn S., 2013, Supply chain complexity - a view from different perspectives.
- Gimenez C, van der Vaart T., van Donk D. P., 2012, Supply chain integration and performance: the moderating effect of supply complexity, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 32, No. 5, pp. 583-610.
- Hashemi A., Butcher T., Chhetri P., 2013, A modeling framework for the analysis of supply chain complexity using product design and demand characteristics, *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, Vol. 5, pp. 150-164.
- Holland J. H., 1995, *Hidden Order: How adaptation builds complexity*, Helix Books/Addison-Wesley.
- Hoole R., 2005, Five ways to simplify your supply chain, *Supply Chain Management: An International Journal*, vol. 10, No. 1, pp. 3-6.
- Huatuco L. H., Burgess T. F., Shaw N. E., 2010, Entropic-related complexity for re-engineering a robust supply chain: a case study, *Production Planning & Control*, vol. 21, No. 8, pp. 724-735.

- Huatuco H. L., Efstathiou J., Sivadasan S., Calinescu A., 2001, The value of dynamic complexity in manufacturing systems, *Proceedings of IV SIMPOI/POMS*.
- Jacobs M. A., Swink M., 2011, Product portfolio architectural complexity and operational performance: Incorporating the roles of learning and fixed assets. *Journal of Operations Management*, vol. 29, pp 677-691.
- Kaluza B., Bliem H., Winkler H., 2006, Strategies and metrics for complexity management in supply chains In *Complexity Management in Supply Chains*. Erich Schmidt Verlag.
- Kavilal E. G., Venkatesan S. P., Kumar K. D. H., 2017, An integrated fuzzy approach for prioritizing supply chain complexity drivers of an Indian mining equipment manufacturer, *Resources Policy*, vol. 51, pp. 204-218.
- Keating M., 2000, Measuring design quality by measuring design complexity, *Proceedings of the IEEE 2000 First International Symposium on Quality Electronic Design*, pp. 103-108.
- Lambert D. M., Stock J. R., Elfram. L. M., 1998, *Fundamentals Of Logistics Management*. Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill
- LeMay S., et al., 2017, Supply chain management: the elusive concept and definition, *The International Journal of Logistics Management*, vol. 28, No. 4, pp.1425-1453.
- La Londe B. J., 1997, Supply Chain Management: Myth or Reality?, *Supply Chain Management Review*, vol. 1, pp. 6-7.
- La Londe B. J., Masters J. M. (1994), Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the next century, *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, pp. 35-47.
- Lu, R., 2015, A study examines the importance of forecast accuracy to supply chain performance, the contributing factors and the improvement enablers in practice, *Massey University*.
- Manuj I., Sahin F., 2011, A model of supply chain and supply chain decision-making complexity, *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manage*, vol. 41, No 5, pp. 511–549.
- Mentzer J., DeWitt W., Keebler J., Min S., Nix N., Smith C., Zacharia Z. 2001a, Defining supply chain management, *Journal of Business Logistics*, vol. 22, No. 2, pp. 1-25.

- Milgate M., 2001, Supply chain complexity and delivery performance: an international exploratory study, *Supply Chain Management: An International Journal Volume*, Vol. 6, No. 3, pp. 106-118.
- Oliver R., Webber M., 1982, Supply Chain Management: Logistics Catches Up With Strategy.
- Okwir S. N., Ginieis, M., J., A. 2018, Performance Measurement and Management Systems: A Perspective from Complexity Theory. *International Journal of Management Reviews*, Vol. 20 No. 3, pp 731-754.
- Pathak S. D., Day J. M., Nair A., Sawaya W. J., Kristal M. M., 2007, Complexity and adaptivity in supply networks: building supply network theory using a complex adaptive systems perspective, *Decision Sciences*, vol. 38, no. 4, pp. 547-580.
- Perona M., Miragliotta G., 2004, Complexity management and supply chain performance assessment. A field study and a conceptual framework, *Int. J. Production Economics*, Vol. 90, pp. 103–115.
- Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M., 2019, An approach for analysing supply chain complexity drivers through interpretive structural modelling, *International Journal of Logistics Research and Applications*
- Piya S., Shamsuzzoha A., Khadem M., Al-kindi M., 2017, Supply Chain Complexity Drivers and Solution Methods, *Int. J. Sup. Chain. Mgt*, vol. 6, No. 4.
- Rohita K. M., 2010, Strategic Framework For Supply Chain Management, *Global Journal of Management and Business Research*, vol. 10, pp. 42.
- Romano P., Danese P., 2014, *Supply chain management: la gestione dei processi di fornitura e distribuzione*, McGraw-Hill, Milano.
- Rosenzweig E., Easton G., 2010, Tradeoffs in manufacturing? A meta-analysis and critique of the literature, *Production and Operations Management*, vol. 19, No. 2, pp. 127-141.
- Roy R., Evans R., Low M. J., Williams D. K., 2011, Addressing the impact of high levels of product variety on complexity in design and manufacture, 225, *Journal of Engineering Manufacture*, pp. 1939-1950.
- Seifert D., 2003, *Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment: How to Create a Supply Chain Advantage*, AMACOM.

- Senge P., 1990, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the*, Random House Business, New York.
- Seth D., Seth N., Dhariwal P., 2017, Application of Value Stream Mapping (VSM) for Lean and Cycle Time Reduction in Complex Production Environments: A Case Study, *Production Planning and Control*, vol 28, No 5, pp. 398–419.
- Serdarasan S., 2013, A review of supply chain complexity drivers, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 66, pp. 533-540.
- Shannon, C. E., 1948, A mathematical theory of communication, *The bell system Technical Journal* Vol. 27, pp. 379-423 and pp. 623-656.
- Sivadasan S., Efstathiou J., Frizelle G., Shirazi R., Calinescu A., 2002, An Information-Theoretic Methodology for Measuring the Operational Complexity of Supplier-Customer Systems, *International Journal of Operations and Production Management*, vol. 22, No. 1, pp. 80-102.
- Sivadasan S., Smart J., Huaccho Huatuco L., Calinescu A., 2010, Operational complexity and supplier-customer integration: case study insights and complexity rebound, *Journal of the Operational Research Society*, vol. 61, pp. 1709-1718.
- Sterman J. D., 2000, *Business Dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*, McGraw Hill, Chicago
- Sterman, J. D., 1994, Learning in and about complex systems, *System Dynamics Review*, vol. 10, pp 291-330.
- Stock J. R., Boyer S. L, 2009, Developing a consensus definition of supply chain management: a qualitative study, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 39, No. 8, pp. 690-711.
- Suri R., 2010, *It's About Time: The Competitive Advantage of Quick Response*, Manufacturing Productivity Press, New York.
- Swink M., Robinson E. J., 1997, Complexity factors and intuition-based methods for facility network design, vol. 28, No. 3. *Decision Sciences*, pp. 583-614.
- Turner N., Aitken J., Bozarth C., 2018, A framework for understanding managerial responses to supply chain complexity. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 38, No. 6, pp. 1443-1466.

- Tyagi S. K., Sharma S. K., Shukla V. K., 2019, Interpretive Structural Modelling Using Fuzzy Linguistic Information, *4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*.
- Ulanowicz R. E., 2004, Quantitative methods for ecological network analysis. *Computational Biology and Chemistry*, vol. 28, pp. 321-339.
- Vachon S., Klassen R. D., 2002, An Exploratory Investigation of the Effects of Supply Chain Complexity on Delivery Performance, *IEEE Transactions on Engineering Management* Vol. 49, No 3, pp. 218-230.
- Vogel W., Lasch R, 2016, Complexity drivers in manufacturing companies: a literature review, *Logist. Res*, 9:25.
- Wilding, R., 1998, The supply chain complexity triangle: Uncertainty generation in the supply chain, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 28, No. 8, pp. 599.
- Zhao K., Zuo Z., Blackhurst J. V., 2019, Modelling supply chain adaptation for disruptions: An empirically grounded complex adaptive systems approach. *J Oper Manag.*, vol. 65, pp. 190–212.
- The Supply Chain Council. (1997, 11 20). <http://www.supply-chain.com/info/faq.html>.

Sitografia

<https://ilfattoalimentare.it/>

<https://beergame.masystem.se/>

<https://www.ncsu.edu/>