

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi di Modelli per la Valutazione dell'interazione tra i rischi nel Tempo nell'ambito della Supply Chain



Relatori:

Prof.ssa Sabrina Grimaldi

Prof.ssa Anna Corinna Cagliano

Candidato:

Erika Failla

A.A. 2017 - 2018

A mio nipote Matteo

INDICE

Introduzione.....	1
1. La gestione del rischio nella supply chain.....	2
1.1 Definizione di SCRM	3
1.1.1 Risk Planning.....	4
1.1.2 Risk Identification	5
1.1.3 Risk Analysis.....	11
1.1.4 Risk Response	12
1.1.5 Risk monitoring.....	15
2. La valutazione del rischio nella supply chain.....	17
2.1 Tecniche per la valutazione dei rischi	17
2.1.1 Coarse Risk Analysis (CRA).....	18
2.1.2 Structured What-if technique (SWIFT).....	19
2.1.3 Hazard and Operability Study (HAZOP)	19
2.1.4 Analytic Hierarchy Process (AHP).....	19
2.2 Limiti delle tecniche per la valutazione dei rischi.....	20
3. Interpretive Structural Modelling (ISM)	23
3.1 Campi di applicazione	24
3.2 Steps coinvolti nella metodologia ISM	25
3.2.1 Fuzzy ISM	32
3.2.2 Analisi MICMAC	34
3.3 Applicazione di ISM.....	35
3.3.1 Structural self-interaction matrix.....	38
3.3.2 Reachability matrix.....	39
3.3.3 Fuzzy ISM	41
3.3.4 Costruzione diagramma MICMAC	43
3.4 Vantaggi e limiti di ISM.....	45
4. Bayesian Belief Network (BBN).....	46
4.1 Caratteristiche e campi di applicazione.....	46
4.2 Applicazione della metodologia BBN alla supply chain.....	50
4.2.1 Identificazione dei rischi	50
4.2.2 Tecnica BBN per i rischi nella supply chain	56

4.2.3 Applicazione ad un caso studio	58
4.3 Vantaggi e limiti di BBN	63
5. Design Structure Matrix (DSM)	64
5.1 Caratteristiche e campi di applicazione	64
5.2 Risk Structure Matrix (RSM)	69
5.2.1 Costruzione della Risk Numerical Matrix (RNM)	70
5.3 Analisi di RSM per la gestione del rischio	72
5.3.1 Partitioning analysis	73
5.4 Vantaggi e limiti di DSM.....	75
6. Analisi dell'interazione tra i rischi nel tempo	76
6.1 Applicazione di DSM ai rischi di una supply chain	76
6.1.1 Partitioning analysis	78
6.2 Interazione nel tempo tra i rischi di una supply chain	86
6.2.1 Ipotesi di lavoro	87
6.3 Confronto tra i due approcci	97
6.3.1 Limiti dei due approcci.....	99
Conclusioni.....	102
BIBLIOGRAFIA	104

Introduzione

La gestione del rischio nelle *supply chain* è un'area di studio che ha acquisto e continua ad acquisire, con il passare del tempo, sempre più importanza, soprattutto a causa della crescente complessità delle *supply chain* di oggi, a cui prendono parte una moltitudine di attori. Inoltre, molti eventi rischiosi non agiscono in maniera indipendente ma sono tra loro correlati e questo complica la gestione del rischio. È dunque importante identificare i rischi e le loro correlazioni e capire se queste ultime, con il passare del tempo, possono in qualche misura modificarne l'importanza. Per queste ragioni l'obiettivo del seguente lavoro di tesi è quello di proporre l'applicazione di un metodo che aiuti a valutare le interrelazioni tra i rischi nel tempo.

Nel Capitolo 1 verranno descritte le diverse fasi di gestione del rischio e le tecniche comunemente utilizzate in ognuna di esse nell'ambito della *supply chain*.

Un capitolo a parte, Capitolo 2, è stato dedicato invece alle tecniche utilizzate nella fase di valutazione del rischio, per evidenziare i limiti degli approcci attualmente utilizzati nel cogliere l'importanza delle relazioni esistenti tra i rischi.

Nel Capitolo 3 verrà introdotto il metodo Interpretive Structural Modelling (ISM) che prende in considerazione le interdipendenze tra i rischi e verrà riportata un'applicazione nell'ambito della *supply chain*, già presente in letteratura.

Un ulteriore modello che prende in considerazione le interrelazioni tra i rischi, Bayesian Belief Network (BBN), verrà descritto nel Capitolo 4 e, anche in questo caso, verrà riportata un'applicazione ad una *supply chain*.

Nel Capitolo 5 verrà introdotta la tecnica Design Structure Matrix (DSM), che non è mai stata utilizzata nell'ambito della *supply chain* e che risulta essere uno strumento pratico per rappresentare e analizzare le relazioni tra i rischi nel tempo. Per questa ragione verrà riportata infine, nel Capitolo 6, l'applicazione di DSM ad una *supply chain* teorica. Successivamente, sempre nel Capitolo 6, per verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti con l'applicazione di tale metodo, l'interazione nel tempo tra i rischi della stessa *supply chain* verrà analizzata ipotizzando la probabilità di accadimento degli eventi rischiosi. I risultati ottenuti con l'applicazione dei due metodi verranno confrontati e verranno evidenziati i limiti dei due approcci e il valore aggiunto apportato da ognuno di essi.

1. La gestione del rischio nella supply chain

Le *supply chain* moderne sono strutture interconnesse, in quanto le aziende dipendono sempre più da una rete complessa di partner per poter essere in grado di consegnare i prodotti nei tempi stabiliti, nel posto giusto e nella giusta quantità, sotto pressioni persistenti sui costi (Datta and Christopher, 2011).

L'integrazione dei processi di business degli attori della *supply chain* può portare benefici economici, aiutando a mantenere il vantaggio competitivo delle aziende coinvolte. Tuttavia, tali vantaggi sono accompagnati da molti rischi potenziali risultanti dall'interconnessione tra i processi (Breuer *et al.*, 2013). Una definizione di rischio nella *supply chain* può essere la seguente: "la disconnessione del flusso di prodotti o di informazioni che proviene da incertezze interne o esterne che non sono facili da prevedere, controllare e gestire" (Morgan and Henrion, 1990). Per esempio, il terremoto in Giappone e lo tsunami del 2011 hanno causato non soltanto un'interruzione della domanda e dell'offerta locale, ma anche un rallentamento della produzione di paesi europei e del Nord America che avevano bisogno degli input da parte dei fornitori giapponesi (MacKenzie *et al.*, 2012).

Secondo l'Allianz Risk Barometer 2018, realizzato da Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS), uno dei principali provider di soluzioni assicurative per le aziende italiane, l'interruzione di attività e della *supply chain* rimane, per il sesto anno consecutivo, il rischio principale per le aziende a livello globale, con il 42% delle risposte che lo considerano come uno dei tre rischi più importanti che le aziende affrontano nel 2018, seguito dai rischi informatici (n°2 con il 40% delle risposte) e dal rischio di catastrofi naturali (n°3 con il 30% delle risposte) (Hubmann *et al.*, 2018).

La gestione del rischio nella *supply chain*, o Supply Chain Risk Management (SCRM), è diventata dunque un'importante area di studio e per questa ragione, nei paragrafi successivi, approfondiremo questo argomento distinguendo tra le diverse fasi di gestione del rischio e forniremo una descrizione delle tecniche più appropriate da utilizzare in ognuna di esse.

1.1 Definizione di SCRM

Il concetto di SCRM è stato definito dai ricercatori in modi differenti. Alcuni hanno sottolineato l'importanza del percorso di selezione e implementazione delle strategie adottate nel SCRM e i suoi obiettivi ma non hanno posto attenzione agli stadi coinvolti nel processo di gestione del rischio. Kouvelis *et al.* (2006) vedono il SCRM in termini di gestione dell'incertezza della domanda, dell'offerta e dei costi. Carter e Rogers (2008) definiscono il SCRM come “la capacità di un'azienda di comprendere e gestire i suoi rischi economici, ambientali e sociali nella catena di approvvigionamento” che potrebbe materializzarsi con l'adozione di piani di emergenza. Secondo il *Supply Chain Council* la gestione del rischio nella *supply chain* consiste nella sistematica identificazione, valutazione e quantificazione delle potenziali perturbazioni della filiera, con l'obiettivo di controllare l'esposizione al rischio e ridurre il suo impatto negativo sulle prestazioni (Supply Chain Council, 2008). Una definizione completa, che racchiude in sé gli obiettivi, le strategie e le fasi del SCRM e che riesce a fornirne una comprensione comune ai ricercatori di diversi settori, è la seguente:

“L'identificazione, la valutazione, il trattamento e il monitoraggio dei rischi della catena di approvvigionamento con l'aiuto dell'implementazione interna di strumenti, tecniche e strategie e del coordinamento esterno e la collaborazione con i membri della supply chain, in modo da ridurre la vulnerabilità e garantire la continuità e la redditività, portando ad un vantaggio competitivo” (Fan and Stevenson, 2018).

Il SCRM segue il tradizionale processo di gestione del rischio, utilizzato ad esempio nell'ambito dei progetti, il quale comprende i processi di pianificazione, identificazione, analisi, risposta, monitoraggio e controllo del rischio (Project Management Institute, 2013). Gli step di tale processo sono raffigurati in Figura 1.1 e verranno descritti nei paragrafi successivi. Tuttavia, prima di passare alla descrizione delle fasi di gestione del rischio e delle tecniche utilizzate in ciascuna di queste, bisogna precisare che non necessariamente un rischio deve avere un'accezione negativa, infatti esso è definito come un evento incerto che se si verifica può portare a conseguenze negative o positive. Un rischio può avere inoltre una o più cause che creano la possibilità di ottenere uno o più impatti positivi o negativi ed è per questa ragione che la fase di risposta al rischio ha l'obiettivo di sviluppare azioni non solo per ridurre il pericolo delle minacce, ma anche per aumentare le opportunità.

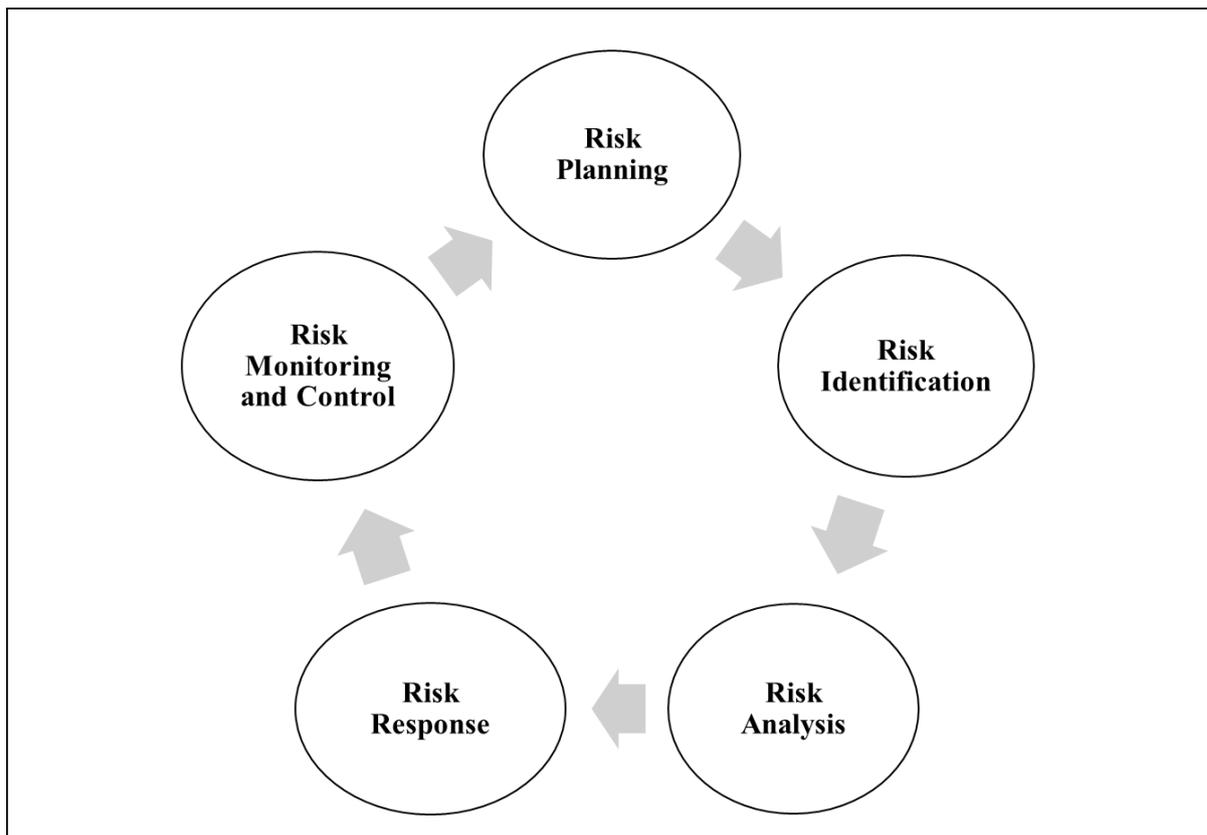


Figura 1.1 Fasi di SCRM [Adattato da: Fan and Stevenson, 2018]

1.1.1 Risk Planning

La prima fase del processo di gestione dei rischi è *Risk planning* o pianificazione del rischio. L'output di tale fase è un piano di gestione del rischio (*Risk Management Plan*) in cui viene descritto come verranno performati le attività di gestione degli eventi rischiosi. In particolare, tale piano conterrà informazioni circa l'approccio, gli strumenti e le fonti dei dati da utilizzare, la definizione dei membri del team con relativa assegnazione delle responsabilità, una stima dei fondi necessari per implementare tale processo e delle tempistiche con cui i processi di gestione del rischio saranno eseguiti (Project Management Institute, 2013).

Le tecniche principalmente utilizzate durante questa prima fase riguardano il giudizio degli esperti (*Expert Judgment*) e i *Meetings*. Al fine di garantire una completa definizione del piano di gestione dei rischi è necessario che gli esperti in questione siano individui con una formazione specializzata che si incontrano durante delle riunioni (*Meetings*) per discutere i punti che devono essere contenuti nel *Risk Management Plan* precedentemente elencati.

1.1.2 Risk Identification

L'identificazione del rischio mira a scoprire tutti i rischi rilevanti e a riconoscere le incertezze future per gestirle in modo proattivo (Kern *et al.*, 2012). Quanto prima questi rischi vengono identificati, tanto più sarà possibile intraprendere azioni migliori per mitigarli o gestirli.

In letteratura sono presenti diverse tecniche per identificare i rischi e l'approccio migliore dipende da diversi fattori quali le dimensioni dell'azienda, le sue risorse e il campo in cui opera. Di seguito vengono brevemente descritte alcune delle tecniche più comunemente utilizzate dalle aziende per questa seconda fase di gestione del rischio.

Incident Reporting (IR)

L'*Incident Reporting* (IR) è la segnalazione spontanea degli eventi, dove con evento si intende qualsiasi accadimento che ha causato o aveva la potenzialità di causare un danno. IR prevede una raccolta strutturata di tali segnalazioni, allo scopo di fornire una base dati da analizzare per poter predisporre strategie ed azioni correttive al fine di prevenire l'accadimento futuro degli eventi rischiosi (Cinotti, 2004).

Questo approccio per l'identificazione dei rischi è nato nel settore aeronautico per la segnalazione volontaria e confidenziale di eventi da parte di piloti e controllori di volo per migliorare la sicurezza aerea, è stato successivamente importato dai sistemi sanitari anglosassoni ed adattato alle organizzazioni sanitarie come strumento utile a migliorare la sicurezza del paziente ed infine diffuso nella gestione del rischio delle organizzazioni che necessitano di garantire alta affidabilità.

Generalmente questi sistemi di reporting sono di tipo volontario, gestiscono le informazioni in modo confidenziale e non comportano l'adozione di sanzioni e punizioni verso i segnalatori, rimuovendo così le resistenze alla comunicazione e permettendo di individuare eventi non usuali che vengono riferiti proprio perché percepiti come insoliti.

Interviews

L'incontro con soggetti in possesso di informazioni significative ha l'obiettivo di rilevare fatti e giudizi utili per l'identificazione dei rischi. Le *interviews* possono essere definite come conversazioni estese tra l'intervistato e il ricercatore, durante le quali quest'ultimo cerca di ottenere informazioni quanto più dettagliate e approfondite possibili sul tema della ricerca (Corbetta, 1999).

I soggetti a cui è rivolta l'intervista vengono selezionati secondo un piano di rilevazione, sulla base di determinate caratteristiche che attengono al loro vissuto personale o all'appartenenza ad un determinato gruppo sociale. L'intervistatore guida e controlla l'intervista sulla base di uno schema di interrogazione flessibile e non standardizzato, rispettando sempre la libertà dei soggetti di esprimere le proprie opinioni.

È possibile distinguere tra intervista qualitativa (chiamata semplicemente intervista) e intervista quantitativa, anche detta questionario. La prima viene utilizzata quando si conosce poco del fenomeno studiato e si cerca di capire quali sono le dimensioni che lo caratterizzano, come nel caso dell'identificazione dei rischi, mentre il questionario è più adatto a situazioni nelle quali si vogliono testare empiricamente ipotesi già ben strutturate.

Inoltre, essendo l'intervista qualitativa uno strumento adattabile a diversi contesti empirici e alle diverse personalità degli intervistati, è possibile distinguere, in base al grado di flessibilità della stessa, tra intervista strutturata, semi strutturata e non strutturata. La prima prevede un insieme fisso e ordinato di domande aperte che vengono poste a tutti gli intervistati nella stessa formulazione e sequenza rendendola così poco flessibile ed adatta ai casi in cui si vuol procedere in modo standardizzato ma allo stesso tempo la conoscenza limitata del fenomeno non consente l'uso di un questionario. L'intervista semi strutturata prevede una traccia che riporta gli argomenti che necessariamente devono essere affrontati, ma la conduzione può variare sulla base delle risposte date dall'intervistato e della singola situazione. Nell'ultimo tipo di intervista, infine, quello non strutturato, viene stabilito il tema generale ma non il contenuto delle domande che può variare da soggetto a soggetto.

Brainstorming

La tecnica del *brainstorming* si basa su una discussione di gruppo incrociata, guidata da un moderatore, allo scopo di far esprimere, in maniera del tutto non vincolata, il maggior numero possibile di idee su un determinato problema (Osborn, 1967). A tali incontri partecipano solitamente, oltre ai manager, anche un gruppo multidisciplinare di esperti esterni al team, al fine di individuare un elenco di rischi che sia più completo possibile.

Tale discussione di gruppo può durare anche per più giorni e, in generale, segue le seguenti fasi (Cocco, 1992):

1. Fase preliminare di analisi e preparazione effettuata all'esterno del gruppo, al fine di presentare la natura del problema e i limiti alla sua soluzione;
2. Fase di ricerca collettiva che mira alla comprensione del problema da parte del gruppo;
3. Fase di produzione di un numero elevato di idee utilizzabili per risolvere il problema;
4. Fase di selezione delle idee ritenute più valide delle altre;
5. Fase conclusiva in cui le idee selezionate vengono utilizzate per la risoluzione del problema.

Delphi method

Si tratta di una procedura iterativa in cui gli individui coinvolti iniziano con l'espone le proprie opinioni, poi osservano le reazioni del gruppo, rivedono le loro risposte e queste azioni vengono ripetute fino a quando il gruppo si accorda su una soluzione. Un facilitatore utilizza un questionario per sollecitare idee sui rischi, le risposte vengono quindi riassunte e fatte ricircolare tra gli esperti per ulteriori commenti. Questo metodo rappresenta un buon punto di partenza per identificare i rischi di una data *supply chain* (Huang *et al.*, 2004), tuttavia la sua adozione può richiedere molto tempo prima di arrivare ad un risultato soddisfacente.

Checklist

È un metodo di identificazione dei rischi in cui vengono esaminati i punti cruciali della potenziale situazione di rischio, predeterminati sulla base di informazioni e conoscenze storiche accumulate da esperienze precedenti (Association for Project Management, 2004).

Le *checklists* sono semplici da utilizzare e di solito vengono aggiornate grazie al contributo di vari esperti e alle esperienze collettive. La loro struttura è quella tipica di un questionario in cui, però, la lista delle voci di controllo fornisce una valutazione puramente descrittiva e per questa

ragione vengono spesso utilizzate in combinazione ad altre tecniche di identificazione del rischio. Un altro svantaggio della checklist è che essa è fortemente dipendente dall'esperienza acquisita dal suo o dai suoi autori, per cui non è in grado di identificare rischi non esplicitamente già previsti.

Risk Breakdown Structure (RBS)

Risk Breakdown Structure (RBS) è un approccio gerarchico che permette di identificare e classificare i rischi su diversi livelli che presentano un grado di dettaglio via via crescente. Il livello di partenza (livello 0) è identificabile come la sorgente di tutti i rischi, nel secondo (livello 1) si individuano le fonti principali di rischio che vengono ulteriormente dettagliate nel livello successivo (livello 2) fino ad arrivare all'ultimo (livello 3) in cui si individuano i rischi specifici.

Una RBS generica può sembrare uno strumento utile per l'identificazione dei rischi, tuttavia è improbabile che essa possa includere tutte le fonti di rischio del progetto o sistema in esame e per questa ragione è opportuno configurare una RBS con un grado di specificità maggiore e relativo al contesto aziendale (Hillson, 2004).

Una volta che la RBS è stata definita, essa può essere utilizzata in differenti modi tra i quali:

- *Risk identification aid*: i livelli più alti della RBS possono fungere da elenco dei rischi identificati, anche attraverso altri metodi, mentre i livelli inferiori da checklist;
- *Risk assessment*: i rischi identificati possono essere mappati nella RBS e classificati per fonte in maniera tale da poter individuare le aree di dipendenza o correlazione tra i rischi;
- *Comparison of alternatives*: se i rischi di aziende concorrenti vengono classificati utilizzando la stessa RBS, questa può essere utilizzata come strumento per fare un confronto diretto;
- *Risk reporting*: la RBS può essere utilizzata per riportare informazioni sui rischi ai livelli più alti della direzione, fungendo dunque da strumento di segnalazione.

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure mode and effect analysis (FMEA) è una tecnica che analizza potenziali modalità di guasto, effetti e potenziali cause di un generico sistema e determina un fattore di priorità di rischio (Bouti and Kadi, 1994).

Gli step per implementare FMEA sono i seguenti:

1. Determinare tutte le modalità di guasto in base ai requisiti funzionali e successivamente considerare l'effetto finale di ciascuna di queste. Ad ogni effetto bisogna assegnare poi un numero di gravità, *Severity* (S), da 1 (nessun pericolo) a 10 (critico), che aiuterà ad assegnare priorità ai modi di guasto;
2. Esaminare la causa di ogni singola modalità di guasto individuata e classificare la sua frequenza di accadimento, *Occurrence* (O), assegnando un numero da 1 a 10. Se tale frequenza è alta (> 4) è necessario determinare delle azioni correttive;
3. Ad ogni combinazione dei due passaggi precedenti viene assegnato un numero di "rilevamento", *Detection number* (D), in base al quale viene stabilita l'efficienza delle azioni determinate per rimuovere i modi di guasto;
4. Calcolare il *Risk priority number* (RPN) nel modo seguente:

$$RPN = S * O * D$$

RPN funge da valore soglia nella valutazione delle azioni contro i modi di guasto. Alle modalità di guasto con i valori più elevati di RPN dovrebbe essere assegnata massima priorità, e questo vuol dire che non sempre le modalità di guasto con numero di gravità più elevato devono essere trattate per prime, in quanto potrebbero esserci "fallimenti" meno gravi ma che si verificano più spesso e sono meno rilevabili.

Dopo che questi valori sono stati assegnati ai modi di guasto identificati, vengono indicate le azioni correttive con i relativi obiettivi, responsabilità e date di implementazione. A seguire delle azioni intraprese è utile controllare l'RPN al fine di poter o meno confermare gli avvenuti miglioramenti.

Un'estensione di FMEA è *Failure Modes and Effect and Criticality Analysis* (FMECA), anch'essa una tecnica qualitativa o semi-quantitativa, ed entrambe sono degli strumenti proattivi sia per l'identificazione che per la fase di valutazione dei rischi.

Fault trees analysis (FTA)

Fault trees analysis (FTA) è una tecnica visiva che serve a strutturare le relazioni di causa ed effetto degli errori di un sistema. L'FTA parte da un evento incidentale e procede, per metodo deduttivo, alla stesura di una sequenza logica di cause iniziali e intermedie che ne determinano, singolarmente o per interconnessione, la possibilità di accadimento. La frequenza dell'evento principale dipende da quella dei vari insiemi e, minore è il numero di eventi intermedi, maggiore sarà la probabilità di accadimento dell'evento finale (Eidesen, Sollid, and Aven, 2009). Il vantaggio di FTA è che risulta uno strumento semplice da utilizzare ed aiuta a riflettere sulle sequenze logiche che portano ad un fallimento, ma se applicato dettagliatamente può essere molto oneroso, perciò è consigliabile effettuarne l'applicazione agli eventi più rappresentativi.

Event tree analysis (ETA)

È una rappresentazione grafica ad albero delle potenziali conseguenze derivanti da un fallimento e consiste nella loro scomposizione a partire dall'evento che le ha generate. L'ETA può fornire descrizioni qualitative o, quando sono disponibili dati sufficienti, stime quantitative della frequenza degli eventi (Mullai, 2006).

Un albero degli eventi è costituito dai seguenti elementi:

- *Initiating event*: il verificarsi di un fallimento che provoca eventi con conseguenze indesiderate;
- *Line of assurance (LOA)*: un sistema di protezione, quali per esempio le azioni umane, per prevenire gli eventi iniziali e interrompere la loro "escalation" ;
- *Accident sequence or scenario*: i percorsi specifici attraverso i quali l'*initiating event* diventa un evento con conseguenze indesiderate.

La procedura per implementare ETA segue i seguenti step:

1. Definizione del sistema o attività di interesse;
2. Identificazione dell'*initiating event*;
3. Identificazione della LOA;
4. Definizione dell'*accident scenario*;
5. Analisi delle conseguenze dell'*initiating event*.

FTA e ETA seguono delle procedure simili. Il primo viene impiegato per analizzare le cause e mostra come un sistema può fallire, mentre ETA viene solitamente utilizzato per analizzare le conseguenze degli eventi.

Cause and effect analysis (CEA)

Cause and effect analysis (CEA), o diagramma di Ishikawa o a lisca di pesce, per la particolare forma che assume, è la rappresentazione grafica delle cause principali di un problema, che vengono raggruppate e scomposte nel dettaglio al fine di individuare i rischi che potrebbero causare tali eventi. Il problema di cui si vuole studiare la soluzione viene posto al termine di una linea, ai lati della quale si innescano altre linee che rappresentano le diramazioni principali, ovvero le cause primarie del problema, su queste si innestano a loro volta le cause secondarie e così via (Grimaldi and Rafele, 2007).

1.1.3 Risk Analysis

Un SCRM efficace richiede una valutazione rapida ma completa dei rischi (Zsidisin *et al.*, 2004). I rischi possono essere valutati utilizzando dati storici (se disponibili), relativi alla probabilità di accadimento e all'impatto causato dal verificarsi di eventi negativi, o tramite il giudizio degli esperti. Questo significa che la valutazione dei rischi può essere formale o informale e qualitativa o quantitativa. Gaudenzi e Borghesi (2006) hanno sostenuto che la valutazione del rischio è intrinsecamente soggettiva in quanto ogni analista ha il proprio concetto di ciò che costituisce un rischio e della natura delle relazioni a monte e a valle. Secondo Tsai *et al.* (2008), la combinazione di dati oggettivi e della percezione soggettiva potrebbe portare ad una costruzione più robusta dei rischi, che a sua volta migliorerebbe l'efficacia della previsione e della valutazione del rischio.

Nella valutazione del rischio può essere utile, per un'azienda, assegnare un grado di priorità ai rischi, assegnando ad esempio alta priorità ai rischi che si pensa abbiano un elevato impatto o a quelli che possono essere mitigati immediatamente (Sinha *et al.*, 2004), o ancora ai rischi ai quali viene attribuita una probabilità di accadimento maggiore rispetto ad altri. Infatti, lo sviluppo e l'implementazione di azioni correttive implica investimenti considerevoli ed è improbabile che un'azienda sia in grado di affrontare tutti i possibili rischi. La prioritizzazione

aiuta quindi a decidere contro quali tipi di rischi sviluppare delle azioni, permettendo all'azienda di gestire le sue risorse limitate (Zsidisin *et al.*, 2004).

Un altro aspetto da tenere in considerazione nella fase di valutazione è che un rischio raramente è un evento isolato; ci sono spesso delle interrelazioni tra i rischi e l'impatto può essere avvertito lungo tutta la *supply chain* (Kayis and Karningsih, 2012). Comprendere gli effetti a catena e le interrelazioni aiuta ad assegnare priorità di gestione ai rischi, a valutarne la criticità e a creare delle azioni correttive efficaci. L'idea centrale è quella di individuare il rischio più critico che può comportare rischi multipli, con conseguente effetto domino (Venkatesh *et al.*, 2015).

Sebbene molti studi abbiano discusso le strategie di valutazione dei rischi, ancora pochi ricercatori hanno applicato strumenti per identificare le loro interrelazioni. Poiché l'obiettivo principale dell'elaborato di tesi è quello di proporre ed applicare un metodo per la fase di valutazione dei rischi della *supply chain* che riesca, da una parte, a cogliere l'importanza di tali interrelazioni, e dall'altra a mostrare come tali relazioni nel tempo possano modificare l'importanza degli stessi, è stato ritenuto opportuno approfondire, nel Capitolo 2, le tecniche tipicamente utilizzate in questa fase di gestione del rischio e dedicare dei capitoli a parte (Capitoli 3, 4, 5) alle metodologie che prendono in considerazione le interrelazioni.

1.1.4 Risk Response

Dopo aver identificato i rischi e aver valutato il grado di attenzione da attribuire ad ognuno di essi, l'azienda deve stabilire il modo più appropriato per trattarli (Vilko, 2012). L'obiettivo di gestire il rischio può essere raggiunto implementando diverse strategie, che a loro volta utilizzano vari modi e mezzi in base al tipo di situazione. Di seguito vengono indicati quattro modalità di trattamento degli eventi rischiosi che consistono nell'accettare, evitare, trasferire o condividere e mitigare i rischi.

Risk acceptance

Non ci sono linee guida standard per determinare quanti rischi un'azienda può accettare. Il livello di accettabilità dipende dal contesto e può essere collegato, ad esempio, alla propensione al rischio, cioè alla volontà di una persona o di un'azienda di impegnarsi in comportamenti rischiosi e accettare esiti incerti (Park *et al.*, 2016).

Tale strategia viene adottata laddove non è possibile, o economicamente efficace, affrontare un rischio ed è possibile distinguere tra accettazione passiva e attiva. Nel primo caso non viene

intrapresa nessuna azione contro il rischio, ma esso viene tenuto sotto controllo per assicurarsi che il suo impatto non cambi significativamente e viene affrontato nel momento in cui si verifica. L'accettazione attiva del rischio prevede, invece, che venga stabilita una riserva di emergenza che includa risorse, tempo e denaro per gestire i rischi quando si verificano.

Risk avoidance

Risk avoidance viene utilizzata quando operare in determinati mercati o lavorare con determinati fornitori o consumatori, è ritenuto inaccettabile. Infatti, questa strategia di risposta al rischio cerca di rimuovere la fonte che potrebbe innescare gli eventi rischiosi (Ritchie and Brindley, 2007). Ad esempio, un'azienda potrebbe decidere di interrompere la produzione di determinati prodotti, o troncare i rapporti con i fornitori non affidabili o, ancora, smettere di operare in alcune aree geografiche (Hajmohammad and Vachon, 2016). Dunque, evitare un rischio può voler dire non intraprendere un'attività o interrompere un'operazione che potrebbe causarlo, e può comportare la modifica del piano di gestione delle attività. Per esempio, nell'ambito di un progetto si potrebbe pensare di cambiare strategia, di ridefinire ed estendere le fasi di pianificazione e programmazione, oppure di rimuovere la fonte di rischio chiarendo i requisiti, ottenendo maggiori informazioni, migliorando la comunicazione ed acquisendo esperienza.

Risk Transfer o Risk Sharing

Trasferire il rischio implica affidarne la responsabilità ad un'altra azienda (Diabat *et al.*, 2012), ma non lo elimina completamente. Un modo tradizionale di trasferire i rischi è tramite mezzi finanziari, quali per esempio l'assicurazione, e questo può risultare utile in quegli scenari in cui la probabilità di accadimento di un evento rischioso è molto bassa ma gli impatti non possono essere ignorati, così l'azienda preferisce affrontare l'incertezza con un costo aggiuntivo. Tuttavia, in molti casi non è possibile trasferire interamente il rischio ad una terza parte ed è quindi necessario un approccio di condivisione (*risk sharing*) che bilanci le conseguenze derivanti dal rischio tra le parti coinvolte. Tale equilibrio può essere raggiunto tramite mezzi contrattuali quali il ricorso a *joint venture o partnership* oppure stipulando un contratto di tipo *fixed-price* o tramite l'aggiunta di apposite clausole nei contratti. Analogamente al trasferimento, la condivisione del rischio sembra appropriata per affrontare i rischi con bassa

probabilità ed impatto elevato al fine di ridurre i costi associati ed aumentare i livelli di servizio (Scheller-Wolf and Tayur, 2009).

Risk mitigation

Risk mitigation è una strategia di risposta al rischio che mira a ridurre la probabilità di accadimento o l'impatto dello stesso, con l'obiettivo di portarlo ad un livello accettabile. Le strategie di mitigazione sono in genere adatte per i rischi operativi con elevata probabilità di accadimento e basso impatto (Aqlan and Lam, 2015). La selezione di questa strategia dipende anche dal tipo di rischio e dal budget dell'azienda (Tummala and Schoenherr, 2011). Agire preventivamente riducendo probabilità di accadimento o l'impatto del rischio è spesso più efficace di intervenire dopo che l'evento rischioso si è verificato. Esempi di azioni di mitigazione possono essere la scelta di fornitori più affidabili, l'intensificazione del numero di test da condurre, o l'adozione di processi meno complessi. Poiché, come detto, i rischi sono spesso interconnessi, mitigare un tipo di rischio potrebbe aggravare e/o mitigarne un altro; quindi le strategie di mitigazione dovrebbero essere impiegate con particolare attenzione a quei rischi che impattano negativamente su un numero elevato di altri eventi rischiosi (Sarker *et al.*, 2016).

Differenti tipologie di rischio possono avere bisogno di diverse strategie di trattamento, come mostrato in Figura 1.2. Poiché un'azienda ha risorse limitate, è importante capire come queste risorse possono essere impiegate al meglio e quando è necessario cambiare strategia di trattamento del rischio.

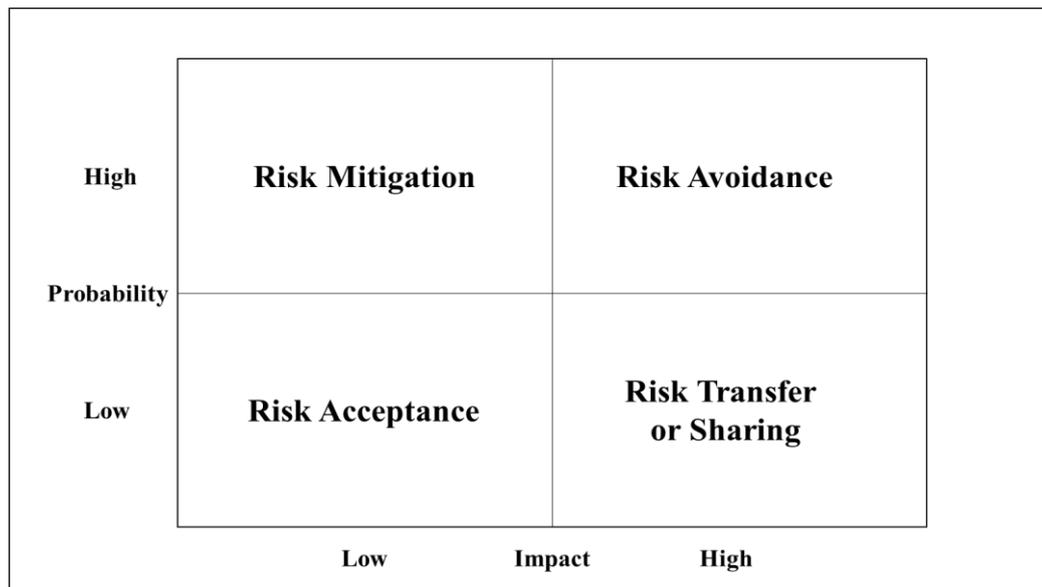


Figura 1.2 Matrice delle strategie di trattamento del rischio [Adattato da: Fan and Stevenson, 2018]

Investire in strategie di *Risk Avoidance* sembra necessario nel caso di rischi con elevata probabilità di accadimento ed elevato impatto, al contrario strategie di *Risk Acceptance* sono preferibili per trattare rischi con bassa probabilità e basso impatto. La mitigazione del rischio (*Risk Mitigation*) appare più adatta per rischi con elevata probabilità e basso impatto, mentre per eventi rischiosi quali disastri naturali e attacchi terroristici, con bassa probabilità ed elevato impatto, sono preferibili strategie di *Risk Transfer* o *Risk Sharing*.

Lo stato dei rischi e le loro interconnessioni devono comunque essere sempre monitorati per assicurarsi che le strategie adottate siano allineate alle minacce (Fan and Stevenson, 2018).

1.1.5 Risk monitoring

Il rischio non è un fenomeno statico, ma è necessario che le fonti di rischio vengano continuamente monitorate per valutare come si stanno sviluppando e se devono essere applicate eventuali modifiche alle strategie di trattamento adottate.

È importante garantire che il monitoraggio si basi non soltanto sulle valutazioni di giudizio ma anche sui processi formali, quindi ad esempio, il progresso di SCRM viene continuamente aggiornato e rivisto in modo da poter gestire i cambiamenti e ottenere nuove informazioni (Zsidisin, 2003). Infatti, spesso il monitoraggio dei rischi si traduce nell'identificazione di nuovi

eventi rischiosi, nella rivalutazione di quelli già identificati e nella chiusura di rischi ormai obsoleti.

Sebbene il monitoraggio del rischio sia una parte importante dell'SCRM, esso ha ricevuto un'attenzione limitata (Hoffmann, 2013). C'è dunque bisogno di ulteriori ricerche in questo campo, soprattutto a causa delle differenti opinioni in merito da parte di ricercatori e professionisti. I primi hanno suggerito di istituire sistemi specifici di gestione dei dati per il monitoraggio dei rischi (Tummala and Schoenherr, 2011), mentre i manager tendono a incorporare il monitoraggio dei rischi nelle routine di gestione esistenti, ad esempio combinando il monitoraggio con la valutazione del rischio (Blackhurst *et al.*, 2008) o attraverso il monitoraggio di indicatori chiave di performance (Lavastre *et al.*, 2012).

2. La valutazione del rischio nella supply chain

Dopo la fase di identificazione dei rischi, è necessario valutare le loro caratteristiche e capire se le informazioni sugli eventi rischiosi possono essere acquisite tramite tecniche quantitative o qualitative (Amornsawadwatana *et al.*, 2003).

Il rischio viene analizzato attraverso l'uso di due parametri: la probabilità di accadimento dell'evento rischioso e le conseguenze (impatto) a cui può portare nel momento in cui si verifica. Tali parametri possono essere determinati tramite approcci quantitativi o qualitativi. L'approccio quantitativo per determinare i parametri del rischio richiede il reperimento di dati storici, ad esempio attraverso analisi statistiche. Poiché i dati quantitativi spesso non sono disponibili quando servono o non si trovano nella forma richiesta, sembra più appropriato utilizzare un approccio qualitativo che usa tecniche di valutazione soggettive. L'approccio qualitativo si basa principalmente su giudizi, sensazioni e opinioni degli esperti in confronto a situazioni ideali e sull'applicazione di scale di livelli per determinare i valori di probabilità (es. molto alta, alta, media, bassa, molto bassa) e impatto (es. catastrofico, critico, medio, marginale, trascurabile) dei rischi. Anche se la valutazione basata su scale nominali di questo tipo non rappresenta una misura esatta dei rischi, le aziende preferiscono impiegare tecniche qualitative in quanto le opinioni degli esperti sono maggiormente reperibili rispetto ai dati quantitativi o, in alternativa, in alcuni casi, viene utilizzata una combinazione dei due approcci (Kayis *et al.*, 2006).

Nei successivi paragrafi verranno descritte alcune delle tecniche di valutazione dei rischi maggiormente impiegate nell'ambito del SCRM.

2.1 Tecniche per la valutazione dei rischi

Come anticipato, le tecniche di valutazione del rischio sono generalmente suddivise in qualitative e quantitative anche se la linea di distinzione fra le due è a volte indefinita. Infatti, entrambe le tecniche utilizzano le due proprietà di un evento rischioso, ovvero la probabilità e l'impatto, anche se ottenute in maniera differente ma, sempre più di frequente, le tecniche qualitative prevedono l'introduzione di elementi quantitativi rientrando così nell'ambito degli approcci semi-quantitativi.

Nel corso degli anni sono stati proposti molti modelli e metodologie per l'analisi del rischio e dell'incertezza e quelle maggiormente utilizzate nell'ambito della *supply chain* (Myles *et al.*,

2015) verranno descritte di seguito, distinguendo, quando possibile, tra tecniche qualitative e quantitative.

2.1.1 Coarse Risk Analysis (CRA)

Coarse Risk Analysis (CRA) è un metodo semi-quantitativo piuttosto semplice da utilizzare. L'obiettivo principale di CRA è quello di individuare gli eventi rischiosi, le loro cause e fare una valutazione grossolana della probabilità di accadimento e dell'impatto di tali eventi. CRA viene eseguita dividendo l'oggetto di analisi in sotto elementi e realizzando l'analisi dei rischi per ognuno di essi a turno. Per identificare rischi e minacce di ogni sotto elemento vengono spesso utilizzate delle *checklists*, ogni evento rischioso viene poi analizzato e i risultati vengono visualizzati in una lista di eventi pericolosi (*worksheet*). In CRA la stima del rischio viene fatta utilizzando delle categorie della probabilità (per esempio da P1 a P4) e delle conseguenze (per esempio da C1 a C4). Di seguito viene riportato un esempio (Hokstad *et al.*, 2009) di *worksheet* utilizzato per documentare i risultati dell'analisi del rischio delle attività di un'utenza idrica, relativamente all'impianto di trattamento delle acque:

Rischio	Evento rischioso	Cause	Probabilità	Conseguenza	Azioni preventive
Agente patogeno nella fonte d'acqua	Dose UV troppo bassa	Sedimenti colorati su tubo di quarzo	P2	C2	Misurazione Online dell'intensità UV per verificare la corretta intensità

Figura 2.0 Esempio di un CRA-worksheet [Adattato da: Hokstad *et al.*, 2009]

Nonostante CRA sia molto semplice da utilizzare e non richiede molto tempo, è necessario avere informazioni e buona conoscenza del sistema del quale si vogliono analizzare i rischi. CRA viene spesso utilizzato in combinazione con altri metodi di analisi per identificare le relazioni causali tra i rischi in maniera più dettagliata.

2.1.2 Structured What-if technique (SWIFT)

Structured What-If Technique (SWIFT) è una tecnica qualitativa strutturata di brainstorming che può essere utilizzata per la valutazione dei rischi. Essa utilizza la domanda “What if?” al fine di identificare deviazioni dalle condizioni normali, utilizzando una *checklist* predefinita in cui vengono riportate in maniera sistematica gli elementi e le operazioni del sistema in esame (Aven, 2008). Vengono inoltre poste le domande “*How could this happen?*” o “*Is it possible?*” e la procedura e i risultati dell’analisi vengono riportati in un foglio di lavoro (SWIFT *worksheet*). Solitamente viene eseguita da uno o più team di esperti con background ed esperienze differenti e la qualità dell’analisi dipende da quella dei dati a disposizione.

SWIFT può essere impiegata da sola o come parte di un approccio graduale e, in quest’ultimo caso, viene utilizzata come strumento di screening, consentendo di individuare rapidamente i rischi legati al sistema in esame.

2.1.3 Hazard and Operability Study (HAZOP)

Hazard and Operability Study (HAZOP) è una tecnica qualitativa che utilizza parole guida al fine di mettere in discussione come le condizioni desiderate per un processo, una procedura o un sistema potrebbero non essere raggiunte. HAZOP viene solitamente condotta da un team multidisciplinare durante una serie di riunioni e aiuta ad individuare rischi e punti deboli valutando le deviazioni dalle specifiche di origine (Rossing *et al.*, 2010). HAZOP è simile a FMEA, descritta nel Capitolo 1 ma utilizzata anche per la fase di valutazione, in quanto identifica le modalità di fallimento di un processo, sistema o procedura, le loro cause e conseguenze. Differisce da FMEA in quanto in HAZOP il team considera gli esiti indesiderati e le deviazioni dai risultati e risale alle possibili cause, mentre FMEA inizia identificando le modalità di errore.

2.1.4 Analytic Hierarchy Process (AHP)

Analytic Hierarchy Process (AHP) è una tecnica di analisi multivariata che aiuta a ridurre la casualità delle valutazioni soggettive. Utilizzando tale tecnica è possibile assegnare delle priorità ad una serie di alternative decisionali, mettendo in relazione valutazioni di tipo qualitativo e quantitativo, altrimenti non direttamente confrontabili. Si può dunque definire un

problema decisionale e lo si può scomporre in una sequenza multilivello di elementi, confrontarli tra loro e assegnare un peso ad ognuno di essi al fine di definire a quali assegnare priorità. Nell'ambito della *supply chain* AHP è stato per esempio utilizzato per assegnare priorità agli obiettivi di una SC, identificare gli indicatori di rischio e valutare il potenziale impatto degli eventi negativi lungo la catena (Millet and Ewdley, 2002). In particolare, il modello basato sull'uso di AHP, è stato testato, da Millet e Ewdley, considerando come oggetto di studio un'azienda che vende attrezzature mediche per i dottori. La priorità di gestione dei rischi di tale azienda dipende dall'importanza dei suoi obiettivi. Per definire tale importanza sono state prese in considerazione le valutazioni individuali dei manager appartenenti a diverse aree e sono stati implementati i seguenti step di AHP:

1. Valutazione delle criticità nel raggiungimento degli obiettivi;
2. Valutazione quantitativa dell'importanza di ciascun obiettivo rispetto ad ogni altro, rispondendo alla domanda "Quale dei due obiettivi è più importante e quanto forte, usando una scala numerica?";
3. Valutazione dei pesi degli obiettivi e check finale.

La definizione di un gruppo di pesi da assegnare agli obiettivi ha aiutato nel definire quali rischi erano più gravi e costruire le priorità nella gestione dei rischi.

2.2 Limiti delle tecniche per la valutazione dei rischi

L'applicazione alla *supply chain* dei metodi descritti può fornire spunti interessanti sui rischi (Lin and Zhou, 2011). Tuttavia, l'impiego di tali tecniche richiede tempo e risorse e la loro utilità nella valutazione quantitativa dei rischi della *supply chain* è limitata ai casi in cui sono disponibili dati storici.

Come anticipato, i rischi spesso si influenzano a vicenda e raramente agiscono in modo indipendente ed inoltre le *supply chain* a livello globale sono cresciute in complessità aumentando l'entità dei rischi a cui le aziende sono esposte. I metodi usualmente utilizzati per la gestione del rischio non riescono a catturare appieno questa influenza interdipendente dei rischi. Per esempio, Chen *et al.* (2012) hanno condotto uno studio per la mitigazione del rischio operativo in una *supply chain*. Hanno utilizzato un metodo basato su interviste per valutare qualitativamente se il rischio operativo, suddiviso in rischio di offerta e di domanda, influenza le prestazioni della *supply chain*. Mentre tale studio ha fornito evidenze sul fatto che il rischio operativo compromette le prestazioni della *supply chain*, esso non tiene conto delle

interdipendenze tra esso e gli altri rischi della SC. In un altro studio, Samvedi *et al.* (2012) hanno utilizzato un approccio integrato tra il metodo AHP e Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPIS) per quantificare i rischi di una *supply chain*. L'uso combinato delle due tecniche ha il vantaggio di permettere di considerare non solo la probabilità di accadimento degli eventi rischiosi ma anche il loro impatto, ma fallisce nel tenere in considerazione l'interazione tra i rischi.

In letteratura sono stati proposti diversi modelli per catturare l'interdipendenza tra i rischi di una *supply chain*. Per esempio, CEA, diagramma a lisca di pesce, è stato utilizzato per identificare le relazioni causa-effetto tra i rischi (Lin and Zhou, 2011), ma il limite di questa tecnica è quello di non riuscire a catturare la forza delle interdipendenze, ovvero l'entità dell'impatto di un rischio su tutti gli altri. L'applicazione della tecnica AHP varia dalla valutazione del rischio del fornitore (Ganguly, 2014) alla prioritizzazione delle misure di performance della *supply chain* (Gaudenzi and Borghersi, 2006) e, come detto, viene comunemente utilizzato per assegnare priorità di gestione ai rischi. FMEA è ampiamente utilizzato nel SCRM per identificare i rischi critici (Nepal and Yavad, 2015;). Allo stesso modo, Aqlan e Lam (2015) hanno proposto un processo basato sulla "*bow-tie analysis*", un diagramma che fornisce un'interpretazione visiva dei rischi facile da comprendere, al fine di catturare l'interdipendenza dei rischi della *supply chain*, mentre Oehmen *et al.* (2009) e Sherwin *et al.* (2016) hanno introdotto framework basati sull'applicazione di FTA per valutare i rischi. Il problema principale di tutte le tecniche fin qui citate è che la loro attenzione è limitata alle cause che possono determinare i singoli rischi, non prendendo in considerazione le relazioni che possono esistere tra essi.

Nei Capitoli 3, 4 e 5 verranno introdotte tre metodologie che possono essere utilizzate per superare questo limite, le loro applicazioni al caso specifico della gestione dei rischi di una *supply chain*, i loro vantaggi e svantaggi. Dalla letteratura si evince che le tecniche che verranno descritte nei Capitoli 3 e 4 sono state utilizzate in passato per analizzare l'importanza che l'interazione tra i rischi in una *supply chain* può avere nell'assegnare priorità di gestione ad un rischio piuttosto che ad un altro. Tuttavia, entrambe le tecniche non forniscono un'analisi dell'interazione tra i rischi nel tempo, ma restituiscono un'immagine statica di tali relazioni. Per questa ragione, nel Capitolo 5, verrà introdotta una tecnica già utilizzata in passato per l'analisi dinamica dell'interazione tra gli elementi di un generico sistema e anche tra i rischi che possono verificarsi in un progetto, ma fino a questo momento non è stata applicata per lo studio dell'interazione nel tempo tra i rischi di una *supply chain*. Dunque, nel Capitolo 6, tale metodologia verrà applicata ad una SC teorica e, per testare la verosimiglianza dei risultati

ottenuti, questi ultimi verranno confrontati con l'output derivante dall'applicazione di un approccio che considera la probabilità di accadimento dei rischi e il loro impatto.

3. Interpretive Structural Modelling (ISM)

È generalmente provato che gli individui e i gruppi incontrano difficoltà nel trattare problemi o sistemi complessi. La presenza di elementi correlati direttamente o indirettamente complica la struttura di un sistema che può essere o meno articolato in modo chiaro (Rajesh *et al.*, 2013).

Le *supply chain* di oggi sono strutture affidabili molto complesse, a causa della moltitudine dei fornitori partecipanti, dei fornitori di servizi e dei clienti. La comprensione e la gestione del rischio che si sposta lungo la *supply chain* è un importante problema da affrontare. Spesso i rischi possono ragionevolmente essere considerati indipendenti, ma sembra esserci un crescente riconoscimento del fatto che molti eventi rischiosi siano in realtà correlati. È dunque importante identificare le correlazioni causa-effetto tra i rischi individuali, poiché le “influenze nascoste” di un certo rischio connesso con altri possono causare danni sostanziali (Chopra e Shodhi, 2004).

Nonostante ci sia una ricca letteratura empirica che tratta i rischi della *supply chain* e la loro gestione (Svensson, 2000; Jüttner *et al.*, 2003; Zsidisin *et al.*, 2004; Pfohl *et al.*, 2008) e una letteratura concettuale sulla supply chain risk management (SCRM) (Hauser, 2003; Norrman e Lindroth, 2004; Jüttner, 2005; Faisal *et al.*, 2007; Franck, 2007, Pfohl *et al.*, 2008), la ricerca circa l’interconnessione tra i rischi della *supply chain* risulta invece limitata.

Per identificare e comprendere tali interdipendenze, in questo capitolo verrà introdotto un approccio modellistico conosciuto come Interpretive Structural Modelling (ISM).

Tale approccio è stato proposto da J. Warfield nel 1973 per analizzare i sistemi socioeconomici. ISM è un processo di apprendimento che consente a individui o gruppi di sviluppare una mappa delle relazioni tra gli elementi coinvolti in una situazione complessa. Esso può essere applicato ad un sistema, così come ad una rete o ad un’azienda (Rick and Ningwei, 2006).

Considerando il contesto oggetto di studio, in una *supply chain* i rischi possono influenzarsi a vicenda e questo può influire negativamente sulle misure di performance della stessa. Le relazioni dirette e indirette tra i rischi descrivono la situazione più accuratamente rispetto ai rischi individuali presi in isolamento. ISM fornisce un mezzo tramite il quale un gruppo può imporre un ordine alla complessità dei problemi e per questa ragione risulta essere una metodologia appropriata che può aiutare a sviluppare intuizioni sulla comprensione collettiva di queste relazioni (Mandal and Deshmukh, 1994).

Nei successivi paragrafi vengono riportati i campi di applicazione di ISM, i vari steps della metodologia, l’applicazione ad una *supply chain* virtuale, i vantaggi e i principali limiti.

3.1 Campi di applicazione

Una rassegna della letteratura dall' India dal 1990 rivela ampie applicazioni di ISM ai problemi di miglioramento della produttività. In molti casi l'approccio ISM è stato utilizzato per determinare l'influenza di abilitanti e inibitori su un sistema, così come per esaminare le loro relazioni intrecciate (Silpa e Surendra, 2009).

La Tabella 3.1 riporta una raccolta dei vari campi di applicazione di ISM e ne mostra la versatilità come strumento capace di contrastare una vasta gamma di problemi complessi.

ANNO	AUTORE/I	TITOLO DELL'OPERA	CONTENUTO
Focus sulla teoria			
1975	Malone	An introduction to the application of interpretative structural modeling	Theory: mathematical explanation and application areas of interpretative structural modeling
1976	Warfield	Implication structures for system interconnection matrices	Theory: mathematical explanation and matrices formation
1977	Sage	Interpretative structural modeling: methodology for large-scale systems	Theory & application: deploying interpretative structural modeling on complex situations presented by large systems
1988	Janes	Interpretative structural modeling: a methodology for structuring complex issues	Theory: components of interpretative structural modeling and their interactions in complexities
1988	Flood	Six scenarios for the future of systems "problem solving"	Theory: reference to interpretative structural modeling as a systems thinking tool
1992	Saxena <i>et al.</i>	Hierarchy and classification of program plan elements using interpretive structural modelling: a case study of energy conservation in the Indian cement industry	Application: identification of elements and determining hierarchy and class of elements in cement industry and their influences
Focus sui processi nella supply chain			
1993	Mandal and Deshmukh	Vendor selection using interpretative structural modeling	Application: interpretative structural modeling to finalize vendors for purchase department of an organization
2004	Ravi and Shankar	Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics	Application: analyze interaction between barriers hindering reverse logistics
2005	Jharkaria and Shankar	IT enablement of supply chains: modeling the enablers	Application: understand mutual influences of enablers and also to identify those enablers which support other enablers in IT implementation in supply chains
2005	Ravi <i>et al.</i>	Productivity improvement of a computer hardware supply chain	Application: identifying key reverse logistic variables, the top management should focus, for computer supply chain
2006	Faisal <i>et al.</i>	Supply chain risk mitigation: modeling the enablers	Application: approach to effective supply chain risk mitigation by understanding the dynamics between various enablers
Focus su altro			
1975	Hawthorne and Sage	On applications of interpretative structural modeling to higher education program planning	Application: participatory exercises and implementation processes with interpretative structural modeling
1999	Kanungo <i>et al.</i>	A structured model to evaluate information system effectiveness	Application: to develop an information system effectiveness framework
2004	Hsiao and Liu	A structural component-based approach for designing product family	Application: tool used along with quality function deployment tool to create variant product solution depending on market demands
2005	Bolanos <i>et al.</i>	Using interpretative structural modeling in strategic decision-making groups	Application: to clarify individual perceptions in strategic decision-making group
1980	Jedlicka and Meyer	Interpretative structural modeling cross-cultural uses	Application: exploring factors involved in a cross-cultural context
2006	Thakkar <i>et al.</i>	Development of a balanced scorecard	Application: an integrated approach with ISM and ANP to develop a balanced scorecard for performance

Tabella 3.1 Campi di applicazione di ISM [Adattato da: Silpa e Surendra, 2009]

Più di recente, ISM è stato utilizzato dai seguenti ricercatori, con riferimento a diversi campi di applicazione:

- 2012: Attri R. *et al.*, “*Analysis of barriers of Total Productive Maintenance (TPM)*”, per l’analisi delle barriere chiave nell’adozione della strategia TPM nelle organizzazioni manifatturiere;
- 2012: Raj T. *et al.*, “*Modelling the factor affecting flexibility in FMS*”, per analizzare le relazioni reciproche tra i fattori che influenzano la flessibilità di un sistema di produzione in un’organizzazione manifatturiera;
- 2013: Chander M. *et al.*, “*Modelling of information security management parameters in Indian organizations using ISM and MICMAC approach*”, per classificare i fattori chiave per la gestione della sicurezza delle informazioni sulla base della loro relazione diretta e indiretta;
- 2014: Mittal V.K e Sangwan K.S, “*Modelling drivers for successful adoption of environmentally conscious manufacturing*”, per identificare e capire le interdipendenze tra i fattori che caratterizzano una produzione che rispetti l’ambiente;
- 2015: Digalwar A.K *et al.*, “*Modelling the performance measures of world class manufacturing using interpreting structural modeling*”, per stabilire la relazione tra le misure di performance del World Class Manufacturing (WCM);
- 2016: Atanu C. *et al.*, “*Risk propagation and its impact on performance in food processing supply chain*”, per identificare i rischi che influenzano una catena di approvvigionamento alimentare.

3.2 Steps coinvolti nella metodologia ISM

Warfield (1974) ha sviluppato un’applicazione sistematica di alcune nozioni elementari della teoria dei grafi che sfrutta la leva teorica, concettuale e computazionale per costruire un grafo diretto di schemi complessi di relazione contestuale tra un insieme di elementi (Silpa and Surendra, 2009).

Di seguito verranno esplicitati i vari steps coinvolti nella metodologia ISM (Figura 3.1). Tuttavia, nell’applicazione del metodo riportata nei paragrafi successivi, l’attenzione verrà

posta soltanto sulle prime quattro fasi di ISM in quanto sono quelle che ci permettono di analizzare le relazioni esistenti tra i rischi.

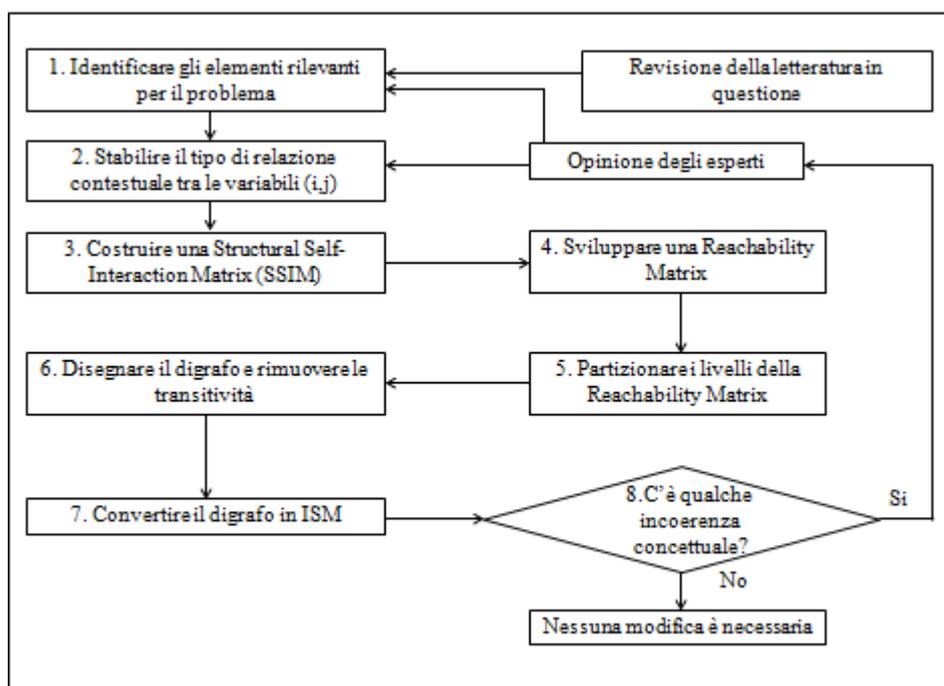


Figura 3.1 Diagramma di flusso del modello ISM [Adattato da: Rajesh *et al.*,2013]

Gli steps di ISM sono i seguenti:

1. **Identificare gli elementi rilevanti per il problema.** In questa prima fase vengono utilizzate tecniche di ricerca primaria o secondaria per stabilire le variabili che influenzano il sistema considerato. Solitamente gli input provengono dalla letteratura e dalle opinioni degli esperti;
2. **Stabilire il tipo di relazione contestuale.** Tra le variabili identificate al primo step, viene stabilita una relazione contestuale a coppie basandosi sulle opinioni degli esperti;
3. **Costruire una Structural Self-Interaction Matrix (SSIM) degli elementi.** La SSIM indica le relazioni a coppie tra gli elementi (i, j) del sistema. Vengono usati quattro simboli per denotare la direzione della relazione tra gli elementi i e j :

$V-$ per la relazione da i a j ma non in entrambe le direzioni;

$A-$ per la relazione da j ad i ma non in entrambe le direzioni;

$X-$ per relazioni in entrambe le direzioni da i a j e da j ad i ;

$O-$ se gli elementi i e j non sono correlati;

4. **Sviluppare una Reachability Matrix dalla SSIM e controllare la transitività.** La *reachability matrix* è una matrice binaria nella quale i simboli “V”, “A”, “X” ed “O” della SSIM vengono convertiti in 1 e 0 secondo le seguenti regole:

- se l’ingresso (i, j) nella SSIM è “V”, l’ingresso (i, j) nella *reachability matrix* diventa 1 e l’ingresso (j, i) diventa 0;
- se l’ingresso (i, j) nella SSIM è “A”, l’ingresso nella *reachability matrix* diventa 0 e l’ingresso (j, i) diventa 1;
- se l’ingresso (i, j) nella SSIM è “X”, entrambi gli ingressi (i, j) e (j, i) nella *reachability matrix* diventano 1;
- se l’ingresso (i, j) nella SSIM è “O”, entrambi gli ingressi (i, j) e (j, i) nella *reachability matrix* diventano 0.

Gli elementi della *reachability matrix* così ottenuta (*reachability matrix* iniziale) potrebbero non godere della proprietà di transitività. La transitività è un’assunzione di base nel metodo ISM secondo cui, se l’elemento A è correlato all’elemento B e B è correlato a C, si può concludere che A è correlato a C. Dunque, se l’elemento (i, j) della *reachability matrix* è zero, non dovranno esserci relazioni dirette e indirette tra l’elemento i e l’elemento j . Tuttavia, la *reachability matrix* iniziale potrebbe non avere questa caratteristica poiché, quando non c’è una relazione diretta tra gli elementi i e j , ma bensì una relazione indiretta, l’ingresso (i, j) è anche zero (Malone, 1975).

Al fine di ottenere la *reachability matrix* finale, ovvero la matrice che evidenzia l’esistenza di una relazione indiretta tra gli elementi, viene effettuato il prodotto riga per colonna della *reachability matrix* iniziale per sé stessa.

Dalla *reachability matrix* è inoltre possibile ottenere **driving power** e **dependence power** di ogni elemento. Il *driving power* di un elemento, nel nostro caso di un rischio, è il numero totale di rischi (incluso sé stesso) su cui esso impatta ed è dato dalla somma delle interazioni lungo le righe della matrice. Al contrario, il *dependence power* di ogni rischio è il numero totale di rischi (incluso sé stesso) dai quali esso viene influenzato ed è dato dalla somma delle interazioni lungo le colonne. Tali valori possono essere calcolati sia tramite la *reachability matrix* iniziale che finale anche se è preferibile considerare i valori di *driving* e *dependence power* ottenuti dalla *reachability matrix* finale, in quanto quest’ultima, come detto, tiene conto anche delle relazioni indirette tra i rischi fornendo dunque maggiori informazioni rispetto alla matrice iniziale. Tuttavia,

sembra opportuno precisare sin da adesso che il significato concettuale di *driving* e *dependence power* cambia a seconda che tali valori vengano calcolati dalla *reachability matrix* iniziale o tramite le matrici di ordine superiore al primo. Infatti, il *driving power* di un rischio, calcolato tramite la *reachability matrix* finale (matrice di secondo ordine), indica il numero totale di percorsi attraverso cui tale rischio può influenzare uno o più rischi e il suo *dependence power* indica il numero totale di percorsi tramite i quali esso può essere raggiunto dagli altri rischi. In entrambi i casi, *driving* e *dependence power* possono essere considerati misure dell'importanza dei rischi.

Un'ulteriore precisazione è necessaria riguardo alla presenza di valori non nulli nella diagonale principale. Questa scelta altera infatti i valori di *driving* e *dependence power* degli elementi già a partire dalla *reachability matrix* iniziale (matrice di primo ordine), in quanto vengono considerati nel calcolo anche i valori relativi alla relazione di ogni rischio con sé stesso. Come conseguenza risulteranno falsati anche i valori di *driving* e *dependence power* ottenuti dalle matrici di ordine superiore al primo.

Esempio

Consideriamo un semplice esempio per illustrare questa fase della metodologia (Gorvett and Liu, 2006). Supponiamo una situazione in cui la rischiosità di un contraente di una polizza assicurativa (rischio generale S) dipenda dal contributo di quattro fattori di rischio:

S₁= anno patente;

S₂= genere;

S₃= luogo di residenza;

S₄= età.

Assumiamo che i primi 3 steps di ISM siano stati completati e che, in base alle opinioni degli esperti, la SSIM risultante dallo step 3 sia la seguente:

i/j	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
S	-	A	A	A	O
S ₁	V	-	O	O	A
S ₂	V	O	-	O	O
S ₃	V	O	O	-	O
S ₄	O	V	O	V	-

La SSIM mostra il tipo di relazione esistente tra i rischi considerati. Per esempio, il simbolo “O” tra il rischio generale S e il fattore di rischio S₄ indica che i due elementi non sono correlati, il simbolo “A” tra S e S₁ indica che esiste una relazione diretta tra il fattore di rischio S₁ ed il rischio generale S ma non viceversa, ed infine il simbolo “V” tra il fattore S₂ ed il rischio generale S indica l’esistenza di una relazione diretta tra S₂ e S ma non viceversa. Applicando le regole di conversione dei simboli dello step 4, si ottiene la *reachability matrix* iniziale riportata di seguito in cui nella cella (1, 2) troviamo, per esempio, il valore 0 e nella cella (2, 1) il valore 1 poiché la relazione tra il rischio generale S e il fattore di rischio S₁ nella SSIM era di tipo “A”, mentre le celle (1, 5) e (5, 1) contengono entrambe il valore 0 in quanto la relazione tra S e S₁ nella SSIM era di tipo “O”.

	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
S	1	0	0	0	0
S ₁	1	1	0	0	0
S ₂	1	0	1	0	0
S ₃	1	0	0	1	0
S ₄	0	1	0	0	1

La *reachability matrix* iniziale, così come la SSIM, non evidenzia l’esistenza di una relazione indiretta tra il fattore di rischio S₄ legato all’età e il rischio generale S.

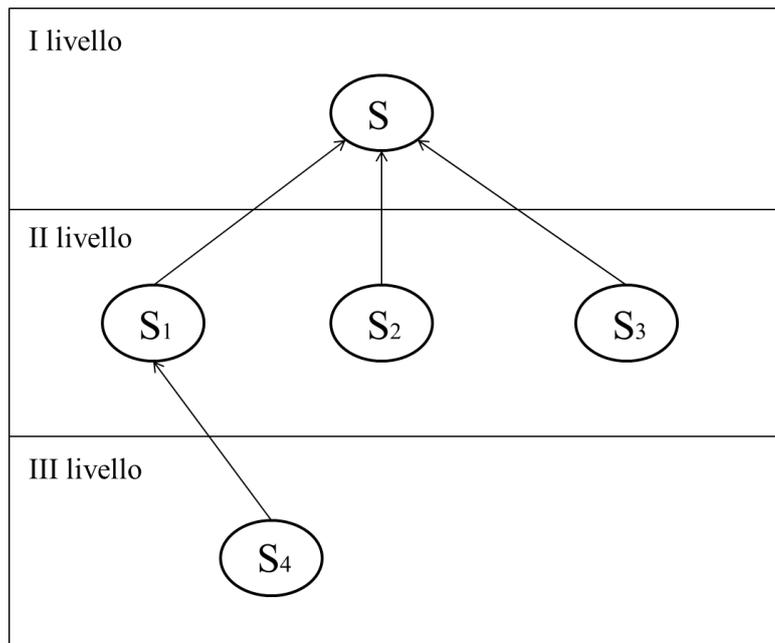
Le relazioni indirette tra i rischi vengono ottenute elevando al quadrato la *reachability matrix* iniziale, ottenendo la matrice riportata di seguito in cui nell’ultima colonna e nell’ultima riga sono riportati i valori di *driving* e *dependence power* dei rischi:

	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Driving power
S	1	0	0	0	0	1
S ₁	2	1	0	0	0	3
S ₂	2	0	1	0	0	3
S ₃	2	0	0	1	0	3
S ₄	1	2	0	0	1	4
Dependence power	8	3	1	1	1	

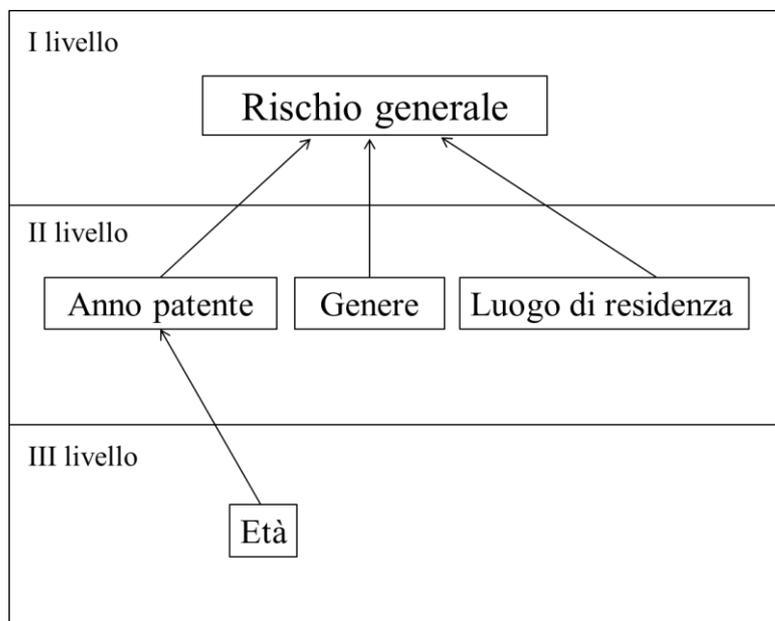
5. Partizionare i livelli della reachability matrix. Questa fase riguarda l'estrazione di un ordine gerarchico dalla *reachability matrix* finale al fine di ottenere la gerarchia ISM (Warfield, 1977), in modo che gli elementi che si collocano ai livelli inferiori di tale gerarchia vengano considerati come meno rilevanti rispetto a quelli che si collocano ai livelli superiori. L'ordine degli elementi può essere estratto in differenti modi, uno di questi consiste nel considerare il numero di zeri associati ad ogni elemento lungo ogni riga (Atanu *et al.*, 2016). Gli elementi con lo stesso numero di zeri apparterranno allo stesso livello e più alto è il numero di zeri, più alto sarà il livello occupato dall'elemento nella gerarchia ISM. Di seguito è riportata la partizione dei livelli relativa all'esempio precedente:

	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Numero di zeri	Livello
S	1	0	0	0	0	4	I
S ₁	2	1	0	0	0	3	II
S ₂	2	0	1	0	0	3	II
S ₃	2	0	0	1	0	3	II
S ₄	1	2	0	0	1	2	III

6. Disegnare il digrafo e rimuovere le transitività. La partizione dei livelli, ottenuta nello step precedente, serve per disegnare un digrafo (o grafo diretto) degli elementi che include i collegamenti di transitività. Quando gli elementi considerati sono un numero considerevole, per semplicità, tali collegamenti vengono rimossi e viene ottenuto il digrafo finale. Se c'è una relazione tra l'elemento *i* e l'elemento *j*, questo viene mostrato da una freccia che punta da *i* a *j*. Di seguito viene riportato il digrafo dell'esempio considerato:



7. **Convertire il digrafo in ISM.** Il digrafo risultante dallo step 6 viene convertito in un modello ISM semplicemente sostituendo i nodi con le descrizioni degli elementi, come di seguito:



8. **Verificare la coerenza del modello.** Il modello ISM sviluppato nello step 7 viene rivisto per verificarne la coerenza concettuale e, eventualmente, apportare le necessarie modifiche. Data la semplicità dell'esempio qui considerato, è immediato verificare che

il modello risulta coerente confrontando le relazioni tra gli elementi, evidenziate dalle frecce nel digrafo, con i valori contenuti nella *reachability matrix* iniziale, per le relazioni dirette, e con quelli contenuti nella *reachability matrix* finale per le relazioni indirette. Per esempio, nel digrafo non c'è una freccia che punta dal fattore di rischio S₄ legato all'età al rischio generale S ed infatti il valore contenuto nella cella (5, 1) della *reachability matrix* iniziale è pari a 0, mentre il valore contenuto nella cella (5, 1) della *reachability matrix* finale è pari ad 1, a conferma del fatto che tra i due elementi esiste invece una relazione indiretta.

3.2.1 Fuzzy ISM

Sebbene ISM fornisca informazioni relativamente all'esistenza di un'influenza reciproca tra gli elementi di un sistema, essa non aiuta tuttavia a capire l'entità di tale influenza. L'analisi può essere migliorata considerando la forza delle relazioni. Per forza delle relazioni noi intendiamo la forza dell'impatto del rischio *i* (dato che si è verificato) sulla probabilità di accadimento del rischio *j*.

Fuzzy ISM permette tale quantificazione e fornisce informazioni sia sull'esistenza che sull'entità dell'impatto che un rischio può avere su ogni altro e sulle misure di performance del sistema considerato.

La forza dell'impatto può essere definita in base a considerazioni di carattere qualitativo su una scala 0-1, come mostrato in Tabella 3.2.

Strength of impact	No	Weak	Medium	Strong	Very strong
Numerical value	0	0.25	0.5	0.75	1

Tabella 3.2 Scale Fuzzy dell'impatto [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

Tali valori vengono sostituiti ai valori 0-1 della *reachability matrix* iniziale in base alle opinioni degli esperti e indicano la forza della relazione diretta tra i rischi. Al fine di determinare la forza delle relazioni indirette viene applicata la composizione fuzzy max-min. Questo significa che la minima forza deve essere la massima di tutti gli impatti minimi possibili da *i* a *j*.

Considerando l'esempio visto nel paragrafo relativo agli steps della metodologia ISM, la matrice fuzzy delle relazioni dirette tra i rischi S, S₁, S₂, S₃ e S₄ è la seguente:

	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
S	1	0	0	0	0
S ₁	0,75	1	0	0	0
S ₂	0,25	0	1	0	0
S ₃	0,5	0	0	1	0
S ₄	0	0,75	0	0	1

Per ottenere le relazioni indirette tra gli elementi viene applicata la composizione max-min, ovvero viene effettuato il prodotto riga per colonna della matrice fuzzy delle relazioni dirette per sé stessa, dove però al posto del prodotto viene usata l'operazione di minimo e al posto della somma viene usata l'operazione di massimo. La matrice fuzzy delle relazioni indirette per l'esempio considerato è la seguente:

	S	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Driving power
S	1	0	0	0	0	1
S ₁	0,75	1	0	0	0	1,75
S ₂	0,25	0	1	0	0	1,25
S ₃	0,5	0	0	1	0	1,5
S ₄	0,75	0,75	0	0	1	2,5
Dependence power	3,25	1,75	1	1	1	

Tale matrice mostra la relazione indiretta esistente tra il rischio S e S₄ e *driving* e *dependence power* di ogni rischio, ricavati effettuando rispettivamente la somma per riga e per colonna di ogni elemento.

Al fine di valutare *driving power* e *dependence power* degli elementi, ricavati dalla matrice fuzzy delle relazioni dirette e indirette, viene applicata l'analisi MICMAC, le cui caratteristiche sono riportate nel paragrafo successivo.

3.2.2 Analisi MICMAC

Sviluppata tra il 1972 e il 1974 da J.C. Duperrin e M.Godet, analisi MICMAC sta per “*Cross impact matrix multiplication applied to classification*”. MICMAC esplora l’influenza e la dipendenza tra gli elementi in esame e li classifica in quattro gruppi (Godet *et al.*, 2003):

- **autonomi;**
- **dipendenti;**
- **collegati;**
- **indipendenti.**

Tali elementi vengono poi riportati in un diagramma, noto come diagramma MICMAC (Figura 3.2).

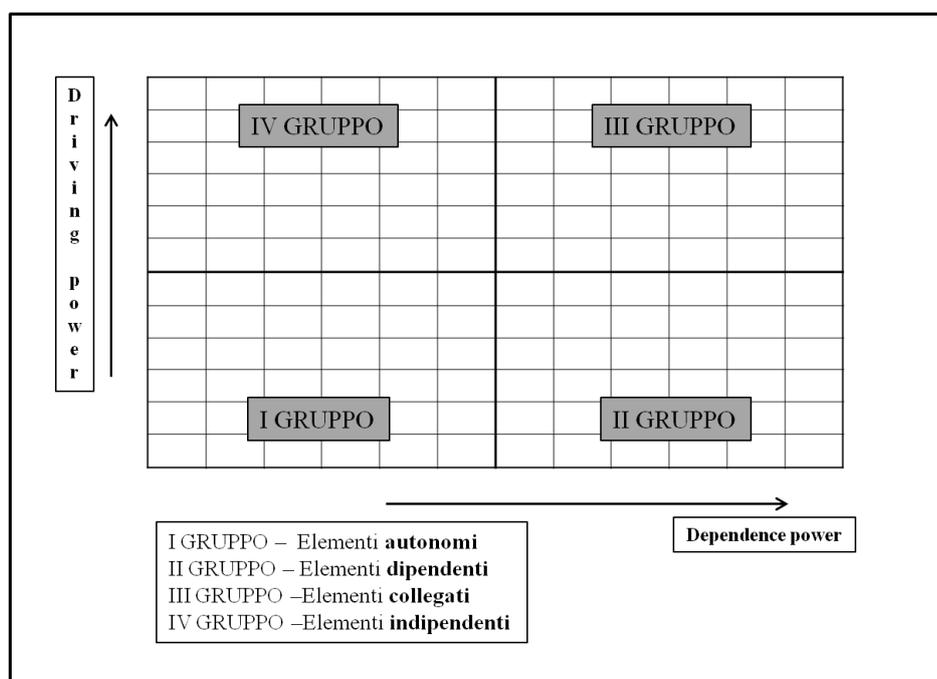


Figura 3.2 Diagramma MICMAC [Adattato da: Silpa and Surendra, 2009]

Guardando la Figura 3.2 si vede come un movimento a destra della scala indica un aumento del *dependence power* di un elemento, mentre muovendosi dal basso verso l’alto si ha un aumento del *driving power*. Il quadrante in basso a sinistra, vicino l’origine, con i valori più bassi su entrambe le scale indica gli elementi **autonomi** (I GRUPPO). Tali elementi sono relativamente disconnessi dal sistema, con il quale hanno soltanto pochi collegamenti, dunque non rappresentano un problema. Il quadrante in basso a destra è costituito dagli elementi **dipendenti** (II GRUPPO) che hanno debole *driving power* ma forte *dependence power*, agire su essi non

avrebbe un forte impatto sul sistema ma vanno comunque monitorati per capire la loro dipendenza dagli altri rischi. Il quadrante in alto a destra indica gli elementi **collegati** (III GRUPPO) che hanno alti valori di *driving e dependence power*, ogni azione su questi elementi avrà un effetto sugli altri. L'ultimo quadrante include gli elementi **indipendenti** (IV GRUPPO) che presentano forte *driving power* ma debole *dependence power*. Il management dovrebbe principalmente concentrarsi su questi ultimi elementi che hanno un impatto su tutti gli altri.

3.3 Applicazione di ISM

Al fine di mostrare l'utilità della metodologia ISM nello strutturare i rischi ed evidenziare le loro interdipendenze, viene riportata l'applicazione di ISM ad una *supply chain* virtuale prendendo spunto da una ricerca del 2011 condotta da Pfohl et al. Come anticipato, sono stati sviluppati soltanto i primi quattro steps della metodologia, ovvero quelli che portano alla definizione della *reachability matrix* finale che mostra le relazioni dirette e indirette tra i rischi e *driving e dependence power* di ogni rischio. Successivamente, per migliorare l'analisi delle interrelazioni tra gli eventi rischiosi, è stata applicata la logica fuzzy ed è stata condotta l'analisi MICMAC per classificare i rischi e capire quali è necessario gestire per primi e su quali invece è possibile porre meno attenzione.

La *supply chain* considerata è costituita da una società industriale (azienda focale), dal suo *first-tier supplier* (fornitore di primo livello) e dal *third party logistic service provide* (3PL) del fornitore di primo livello che è responsabile del trasporto sul lato dell'offerta.

Come visto precedentemente, il primo step della metodologia ISM consiste nell'identificare gli elementi rilevanti per il problema, ovvero i potenziali rischi che possono verificarsi in una *supply chain*.

La letteratura fornisce differenti classificazioni dei rischi e una di queste è quella orientata alla causa. In base a tale classificazione i rischi possono essere divisi in tre aree (Figura 3.3) relative al loro punto di origine (Götze e Mikus, 2007; Jüttner *et al.*, 2003):

- rischi interni all'azienda;
- rischi esterni all'azienda ma interni alla *supply chain*;
- rischi esterni alla *supply chain*.

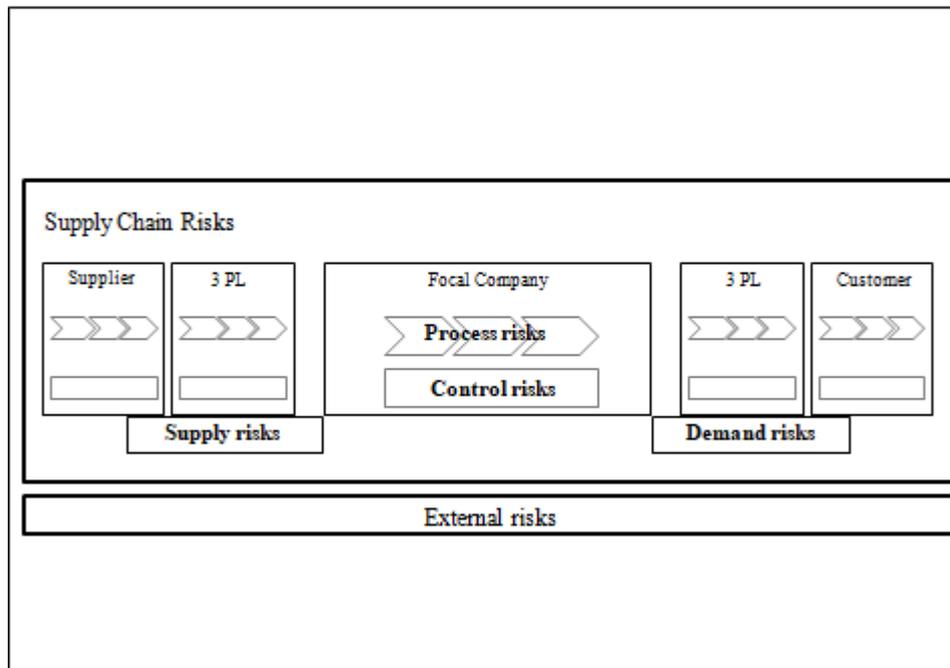


Figura 3.3 Classificazione dei rischi nella *supply chain* [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

I rischi che hanno origine all'interno dell'azienda possono essere distinti in **rischi di processo** e **rischi di controllo**. I rischi di processo descrivono rotture nelle attività che aumentano il valore dell'azienda, come ritardo nella produzione o perdita di risorse operative. I rischi di controllo includono rotture dei sistemi di gestione come linee guida decisionali imprecise o sbagliate, con le quali l'azienda coordina i propri processi, quelli dei fornitori e dei clienti.

I rischi radicati all'interno della *supply chain* e che hanno un impatto sull'azienda, nonostante siano esterni a questa, vengono distinti in **rischi di fornitura** e **rischi di domanda** (Jüttner, 2005). I primi sono basati sui disturbi dei fornitori chiave, mentre i secondi sono relativi ai clienti ed esposti alla fluttuazione della domanda. I rischi che si generano sia all'esterno dell'azienda che della *supply chain* sono chiamati **rischi esterni** o **rischi ambientali** e sono rappresentati da disastri naturali, attacchi terroristici e/o cambiamenti nelle linee guida federali (Kersten *et al.*, 2006).

Lo studio condotto da Pfohl *et al.* è stato incentrato soltanto sui rischi a valle della *supply chain*. Tali eventi rischiosi sono stati qui classificati tramite una *Risk Breakdown Structure* (RBS) riportata in Tabella 3.3.

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi interni all'azienda	Processo e controllo	1. Arresto della produzione a lungo termine 2. Guasto del sistema IT 3. Arresto della produzione a breve termine
		Fornitura	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia sul lato dell'offerta 5. Dipendenza dal fornitore 6. Ritardo nella consegna
	Rischi del fornitore di primo livello	Processo e controllo	7. Arresto della produzione a lungo termine 8. Guasto del sistema IT 9. Arresto della produzione a breve termine
		Fornitura	10. Furto 11. Scarsa qualità della consegna 12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto
	Rischi del 3PL	Processo e controllo	13. Reclami 14. Scarsa qualità del personale 15. Guasto del sistema IT
		Fornitura	16. Scarse performance dei subfornitori 17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto 18. Carenza di personale
	Rischi esterni	Sicurezza	19. Attacchi terroristici
		Naturali	20. Disastri naturali
		Risorse	21. Sciopero dei dipendenti

Tabella 3.3 RBS di una supply chain virtuale

I rischi rilevanti sono principalmente rischi di processo e di controllo così come i rischi di fornitura e i rischi esterni. All'interno dell'azienda i rischi critici sono ad esempio quelli relativi all'arresto della produzione a breve e lungo termine e ai guasti del sistema IT, mentre per quanto riguarda i rischi di fornitura l'azienda affronta principalmente variazioni della capacità, dipendenza dai fornitori e ritardi nella consegna. Il fornitore di primo livello è esposto agli stessi rischi di processo e di controllo dell'azienda, mentre sul lato della fornitura i rischi rilevanti sono quelli logistici. Per quanto riguarda la sfera del 3PL i rischi di processo e di controllo possono essere legati ai reclami o alla scarsa qualità del personale. Sul lato della fornitura i rischi possono riguardare le performance dei subfornitori, la scarsa capacità di trasporto e la carenza del personale. Infine, i rischi esterni hanno un impatto diretto sugli *stakeholders* della *supply chain* e possono essere legati alla sicurezza, ai disastri naturali o alle risorse.

3.3.1 Structural self-interaction matrix

Dopo aver individuato gli elementi rilevanti per il problema (step 1), ovvero i vari rischi che possono interessare la *supply chain*, bisogna stabilire una relazione a coppie tra i rischi (step 2) e successivamente costruire la SSIM (step 3).

Le interrelazioni tra i rischi sono state analizzate sulla base di gruppi di discussione tra gli autori e i ricercatori. La Tabella 3.4 rappresenta la SSIM, la quale descrive le relazioni a coppie esistenti tra due elementi, utilizzando i simboli “V”, “A”, “X” ed “O” visti precedentemente.

	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	A	O	O	A	
2	O	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	V	O	O	V		
3	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	A	A			
4	A	A	A	O	O	O	O	O	O	A	O	O	A	A	A	A	O				
5	O	A	O	O	A	O	A	O	O	A	A	A	A	A	A	O					
6	A	A	A	O	O	O	O	O	O	A	A	A	A	A	A						
7	A	A	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	A						
8	O	A	A	O	O	O	X	O	O	A	O	O	V								
9	A	A	A	O	O	O	O	A	A	A	A	A									
10	A	A	O	O	O	O	A	O	O	A	V										
11	O	O	O	A	A	A	A	A	O	A											
12	A	A	A	A	A	A	A	O	O												
13	O	A	O	O	O	A	A	A													
14	O	O	O	O	O	O	V														
15	O	A	A	O	O	O															
16	A	A	O	A	A																
17	A	A	A	A																	
18	X	O	O																		
19	O	O																			
20	O																				
21																					

Tabella 3.4 *Structural self-interaction matrix* [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

Per esempio, il rischio di arresto della produzione a breve termine (3) può essere causato dallo sciopero dei dipendenti (21) mentre si ipotizza che non avvenga il contrario, dunque la cella (3, 21) della SSIM conterrà il simbolo “A”. Il rischio di carenza del personale (18) può essere causato dallo sciopero dei dipendenti (21) e viceversa, dunque la cella (18, 21) della SSIM conterrà il simbolo “X”.

3.3.2 Reachability matrix

Lo step successivo (step 4) consiste nella conversione della SSIM nella *reachability matrix* iniziale (Tabella 3.5). In tale matrice binaria i simboli “V”, “A”, “X” ed “O” della SSIM vengono sostituiti con i valori 1 e 0 a seconda del tipo di relazione tra i rischi.

Riprendendo l’esempio precedente, il rischio di arresto della produzione a breve termine (3) ha una relazione di tipo “A” con il rischio di sciopero dei dipendenti (21), dunque, in base alle regole di conversione dello step 4, il valore della cella (3, 21) della *reachability matrix* sarà 0, mentre il valore della cella (21,3) sarà 1. Per quanto riguarda invece il rischio di carenza del personale (18), che nella SSIM ha una relazione di tipo “X” con il rischio relativo allo sciopero dei dipendenti (21), nella *reachability matrix* i valori delle celle (18, 21) e (21, 18) saranno entrambi 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1
19	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
21	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1

Tabella 3.5 *Reachability matrix* iniziale [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

Tale matrice mostra l’esistenza o meno di una relazione diretta tra i rischi, ma non incorpora le transitività. Per ottenere le relazioni indirette è necessario effettuare il prodotto riga per colonna della *reachability matrix* iniziale per sé stessa. Tale procedimento porta alla *reachability matrix* finale (Tabella 3.6) in cui le celle evidenziate denotano le transitività tra i rischi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Driving power	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	2	2	2	2	1	3	1	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
6	0	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
7	1	0	2	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
8	2	2	3	5	5	5	2	3	2	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	35
9	1	0	2	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
10	1	0	1	2	4	4	0	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
11	1	0	1	2	3	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
12	1	0	2	4	5	5	0	0	4	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
13	0	0	0	1	1	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
14	0	0	0	1	3	2	0	1	4	1	3	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	22
15	1	1	1	2	6	4	1	2	5	3	4	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	36
16	0	0	0	1	2	2	0	0	3	1	3	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	17
17	1	0	1	1	4	2	0	0	2	1	4	3	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	23
18	1	0	1	2	3	3	1	0	3	2	5	5	1	0	0	4	3	2	0	0	2	38	
19	3	3	4	7	6	7	3	4	4	2	3	4	1	0	3	1	2	0	1	0	0	58	
20	4	3	5	7	9	8	3	4	6	4	5	5	4	0	3	3	2	0	0	1	0	76	
21	2	0	3	6	5	6	2	0	4	3	5	5	1	0	0	4	3	2	0	0	2	53	
Dependence power	24	11	34	52	62	60	14	16	46	21	39	29	17	1	13	15	11	4	1	1	4		

Tabella 3.6 *Reachability matrix* finale [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

La *reachability matrix* finale mostra inoltre *driving* e *dependence power* di ogni rischio, rispettivamente il numero totale di rischi su cui un rischio impatta e il numero totale di rischi da cui esso viene influenzato. Guardando l'ultima colonna della matrice si può notare che il più elevato *driving power* è quello relativo al rischio di disastri naturali (20), agli attacchi terroristici (19) e allo sciopero dei dipendenti (21). Valori medio - alti di *driving power* sono quelli associati al rischio di carenza del personale (18) e al guasto del sistema IT (15) relativi alla sfera del 3PL, alla mancanza di attrezzature (12) e al guasto del sistema IT (8) per quanto riguarda il fornitore di primo livello. I restanti rischi presentano invece valori medio - bassi e bassi di *driving power*. Per quanto riguarda la *dependence power* dei rischi, riportato nell'ultima riga della matrice, i valori più alti sono quelli associati al rischio di dipendenza dal fornitore (5), al ritardo nella consegna (6) e alla variazione della capacità (4) relativi all'azienda focale e al rischio di arresto della produzione a breve termine (9) del fornitore di primo livello. I rischi legati all'arresto della produzione a breve termine (3) dell'azienda focale e alla scarsa qualità della consegna (11) del fornitore di primo livello possiedono valori medi di *dependence power* mentre tutti gli altri rischi hanno valori medio - bassi o bassi.

3.3.3 Fuzzy ISM

Come visto precedentemente, il modello ISM mostra soltanto se esiste o meno una connessione tra due rischi ma non fornisce alcuna informazione circa il fatto che tale relazione possa essere significativa o trascurabile. Per ottenere informazioni più dettagliate sull'entità della connessione tra i rischi, è stata applicata la metodologia fuzzy sostituendo, in base alle opinioni degli esperti, le relazioni binarie 0-1 della *reachability matrix* iniziale con i valori riportati in Tabella 3.2. In questo modo si ottiene la matrice fuzzy delle relazioni dirette (Tabella 3.7).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,75	1	1	0	0	0,5	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,5	0	0,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0,25	0	0,25	1	1	0,75	1	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,25	1	0,75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0,75	0,5	0	0	0,5	1	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	0	0	0,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0,5	1	0,75	0	0	0,75	0,25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0,5	0	0,75	1	0,5	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,75	0	0	0,25	0	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,25	0,5	0	0	1	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0,5	1	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	1	0	0	0	1	1	1	0	0,25
19	0,75	0,25	0,75	0,5	0	0,5	0,75	0,25	0,75	0	0	0,25	0	0	0,25	0	0,25	0	1	0
20	0,75	0,75	1	0,75	0,25	1	0,75	0,75	1	0,25	0	0,5	0,25	0	0,75	0,25	0,25	0	0	1
21	0,75	0	1	0,25	0	0,5	0,75	0	1	0,25	0	0,25	0	0	0	0,25	1	1	0	1

Tabella 3.7 Matrice fuzzy delle relazioni dirette [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

Successivamente, al fine di ottenere le relazioni indirette tra i rischi, la matrice fuzzy delle relazioni dirette è stata modificata applicando la composizione max-min che consiste nell'effettuare il prodotto riga per colonna della matrice fuzzy di partenza per sé stessa, sostituendo l'operazione prodotto con quella di minimo e l'operazione somma con quella di massimo. La matrice fuzzy delle relazioni dirette e indirette, risultante dall'applicazione della composizione, è riportata in Tabella 3.8 in cui le celle evidenziate rappresentano le relazioni indirette tra i rischi.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Driving power	
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0,75	1	1	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	5
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,75
5	0,5	0	0,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,25
6	0	0	0,5	0,5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
7	0,5	0	0,75	0,5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,75
8	0,5	0,25	0,75	0,5	1	1	0,75	1	1	0,25	0,5	0,25	0,25	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	8,5
9	0,5	0	0,75	0,5	1	0,75	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5
10	0,5	0	0,75	0,5	0,75	0,5	0	0	0,5	1	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,75
11	0,5	0	0,75	0,5	1	1	0	0	0,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5
12	0,5	0	0,75	0,5	1	1	0	0	0,75	0,25	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,75
13	0	0	0	0,25	0,75	0,75	0	0	0,75	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5
14	0	0	0	0,25	0,5	0,5	0	0,25	0,75	0,25	0,5	0,25	0,75	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0	5,5
15	0,5	0,25	0,75	0,25	0,75	0,5	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	6,25
16	0	0	0	0,25	0,25	0,25	0	0	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3,5
17	0,5	0	0,75	0,5	1	1	0	0	0,75	0,25	1	1	0,5	0	0	0,5	1	0	0	0	0	0	8,75
18	0,25	0	0,25	0,5	1	0,75	0,25	0	0,75	0,25	1	1	0,5	0	0	1	1	1	0	0	0,25	0	9,75
19	0,75	0,25	0,75	0,5	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75	0,25	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0	1	0	0	0	8,25
20	0,75	0,75	1	0,75	1	1	0,75	0,75	1	0,25	0,25	0,5	0,25	0	0,75	0,25	0,25	0	0	1	0	0	11,25
21	0,75	0	1	0,5	1	0,75	0,75	0	1	0,25	1	1	0,25	0	0	1	1	1	0	0	1	1	12,25
Dependence power	8,75	2,5	13	8,75	14	13	4,75	2,75	11	3,5	7,5	5,75	4,5	1	3,25	4	3,5	2	1	1	1,25		

Tabella 3.8 Matrice fuzzy delle relazioni dirette e indirette [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

L'ultima colonna e l'ultima riga della matrice contengono rispettivamente i valori di *driving* e *dependence power* dei rischi, ricavati, come nel caso precedente, effettuando la somma lungo le righe e lungo le colonne. Avendo considerato la forza delle relazioni, i rischi con più elevati valori di *driving* e *dependence power* cambiano rispetto al caso precedente. In particolare, i valori più elevati di *driving power* sono quelli relativi al rischio di sciopero dei dipendenti (21), di disastri naturali (20) e al rischio di carenza del personale (18). Valori medio- alti sono quelli relativi al rischio di attacchi terroristici (19), di mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17) e di guasto del sistema IT del fornitore di primo livello (8). Gli altri rischi presentano valori medi e bassi di *driving power*. Per quanto riguarda il *dependence power*, i rischi con valori più alti sono quelli relativi alla dipendenza dal fornitore (5), all'arresto della produzione a breve termine dell'azienda focale e del fornitore di primo livello (3) (9) e al ritardo nella consegna (6). Il rischio di arresto della produzione a lungo termine dell'azienda focale (1), di variazioni della capacità (4) e di scarsa qualità della consegna (11) presentano valori medi, mentre gli altri rischi hanno valori bassi di *dependence power*.

3.3.4 Costruzione diagramma MICMAC

Come anticipato nei precedenti paragrafi, l'obiettivo dell'analisi MICMAC è quello di valutare *driving* e *dependence power* degli elementi in esame e, sulla base di tali valori, classificarli in quattro gruppi differenti (autonomi, dipendenti, collegati e indipendenti).

Per la rappresentazione del diagramma MICMAC, relativo ai rischi della *supply chain* virtuale oggetto di studio, sono stati considerati i dati riportati nella matrice fuzzy delle relazioni dirette e indirette (Tabella 3.8). La scelta di considerare, per la rappresentazione, i dati della matrice fuzzy e non quelli della *reachability matrix*, è stata dettata dal fatto che quest'ultima, essendo una matrice binaria, risulta essere meno di dettaglio rispetto alla prima che fornisce, invece, informazioni riguardo alla forza delle relazioni esistenti tra i rischi. Da tale matrice è possibile notare che i valori più elevati di *driving* e *dependence power* sono rispettivamente pari a 12,25 e 14. Come valore medio per la rappresentazione sul diagramma MICMAC avremmo potuto considerare 7. Tuttavia, in questo modo, avremmo rischiato di trascurare molti rischi, considerandoli rischi autonomi anziché indipendenti. Per questa ragione la scelta del valore che delimita i quattro gruppi è ricaduta sul valore 4,5.

La Figura 3.4 mostra il diagramma risultante dall'analisi MICMAC per la *supply chain* virtuale presa come esempio.

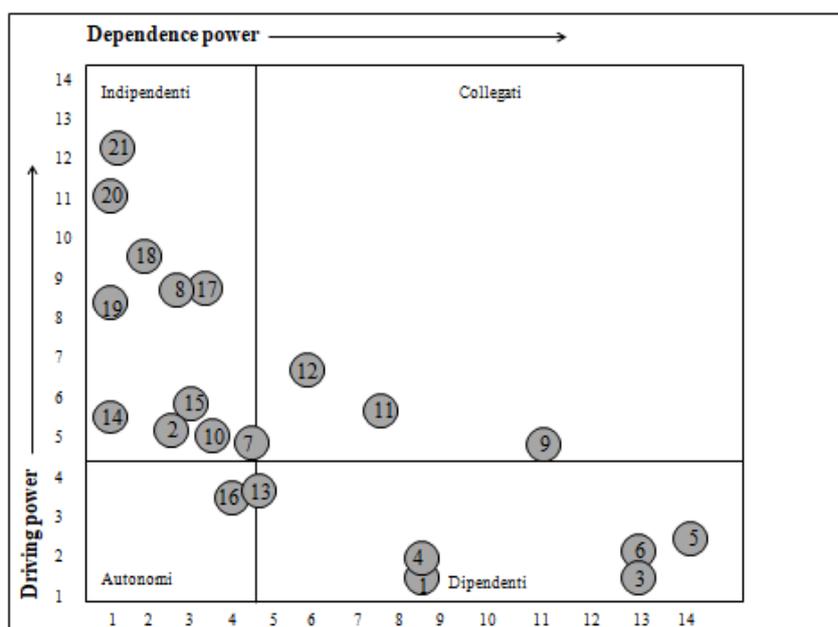


Figura 3.4 Diagramma MICMAC [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

Guardando il diagramma possiamo classificare i rischi della *supply chain* virtuale nel modo seguente:

- **rischi autonomi:** a tale gruppo appartengono i rischi legati alle scarse performance dei subfornitori (16) e ai reclami (13) relativi alla sfera del 3PL. I rischi autonomi presentano bassi valori di *driving* e *dependence power*, quindi in generale non rappresentano un grosso problema per la *supply chain*. Tuttavia, in questo caso particolare, il fatto che i rischi del 3PL legati alle scarse performance dei subfornitori e ai reclami appartengano a tale gruppo è una conseguenza della scelta della natura dei rischi con cui essi sono in relazione e del valore a cui fissare la linea di separazione tra i quattro gruppi. Infatti, normalmente si ritiene che tali rischi siano da tenere sotto controllo e che abbiano un impatto rilevante sulla *supply chain*, tuttavia da tale analisi essi risultano autonomi anche se si trovano molto vicini all'area dei rischi indipendenti;
- **rischi dipendenti:** i rischi con il più alto *dependence power* sono quelli relativi alla dipendenza dal fornitore (5), all'arresto della produzione dell'azienda focale (3) e ai ritardi nella consegna (6) seguiti subito dopo dai rischi legati alle variazioni della capacità/colli di bottiglia (4) e all'arresto della produzione a lungo termine dell'azienda focale (1). Bisogna monitorare tali rischi al fine di individuarne le cause;
- **rischi collegati:** valori medi di *driving power* e elevati di *dependence power* sono quelli legati al rischio di arresto della produzione a breve termine (9), di scarsa qualità della consegna (11) e di mancanza di attrezzature (12) del fornitore di primo livello. Tali rischi impattano e vengono impattati dagli altri quindi possono rappresentare una causa e/o una conseguenza, per tale ragione vanno tenuti sotto controllo;
- **rischi indipendenti:** il più alto *driving power* è quello legato ai rischi esterni relativi ai disastri naturali (20) e allo sciopero dei dipendenti (21), nonché agli attacchi terroristici (19). La gestione del rischio non può influenzare il verificarsi di tali rischi e, per questa ragione, risulta maggiormente importante valutarne la relazione con gli altri rischi della *supply chain*. Dall'analisi risultano indipendenti anche i rischi relativi alla carenza di personale (18), alla mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17), alla scarsa qualità del personale (14), ai furti (10), all'arresto della produzione a lungo termine del fornitore di primo livello (7) e al guasto del sistema IT sia dell'azienda focale che dei fornitori (2) (8) (15). È necessario provare a minimizzare l'impatto che questi rischi hanno su tutti gli altri sviluppando appropriate strategie di mitigazione del rischio.

3.4 Vantaggi e limiti di ISM

La metodologia ISM aiuta i manager ad ottenere una migliore comprensione delle mutue influenze tra i diversi rischi in una *supply chain* e questo impatta positivamente sulle strategie di risposta al rischio. ISM è inoltre uno strumento comprensibile, facile da usare e da comunicare e per queste caratteristiche ha portato ad un'ampia gamma di applicazioni in differenti campi. Grazie al supporto dell'analisi MICMAC è possibile inoltre visualizzare quali sono i rischi a cui assegnare elevata priorità e a quali è possibile invece riservare minore attenzione.

Tuttavia, al crescere del numero di elementi da analizzare aumenta la complessità della metodologia e quindi si possono considerare solo un numero limitato di variabili (Rajesh *et al.*, 2013).

Un altro svantaggio di ISM, che non lo rende adatto all'obiettivo di questo lavoro di tesi, è che esso fallisce nel catturare la variazione nel tempo dell'importanza dei rischi, in quanto si limita ad analizzare le interrelazioni esistenti tra essi in un istante di tempo. Inoltre, nell'identificare i rischi con elevati *driving* e *dependence power*, rispettivamente i rischi che hanno un impatto su un elevato numero di altri rischi e che vengono maggiormente influenzati dagli altri, sarebbe importante considerare la probabilità di accadimento degli eventi rischiosi e testare la validità statistica di questa metodologia (Faisal *et al.*, 2006). Tuttavia, ipotizzare la probabilità di accadimento dei rischi risulta dispendioso in termini di tempo e richiede la conoscenza di maggiori informazioni e dati storici rispetto a quelli che invece servono per fare una mera valutazione sull'esistenza o meno di una relazione tra gli eventi rischiosi.

Nonostante considerare la probabilità di accadimento dei rischi non sia di nostro interesse per le ragioni appena citate, per completezza sui metodi esistenti in letteratura che analizzano le relazioni esistenti tra i rischi, sembra opportuno riportare, nel prossimo capitolo, anche il metodo *Bayesian Belief Network* (BBN) che tiene appunto conto della probabilità con cui un singolo rischio si verifichi indipendentemente dagli altri e delle probabilità condizionate.

4. Bayesian Belief Network (BBN)

Come anticipato, un ulteriore modello comunemente utilizzato per l'analisi del rischio, che prende in considerazione le interrelazioni tra gli elementi in esame, è Bayesian Belief Network (BBN) o semplicemente Bayesian Network (BN). BN esiste da oltre due decenni ed è stato utilizzato in molti campi, principalmente per modellare i rischi e le incertezze. Pochi autori hanno tentato, tuttavia, di adattare BN per la valutazione dei rischi che possono verificarsi in una *supply chain* (Myles *et al.*, 2014) tra cui Pai *et al.* (2003).

Nei successivi paragrafi viene fornita una descrizione della metodologia BN, i suoi campi di applicazione, l'utilizzo del metodo per la valutazione del rischio in una *supply chain*, i suoi vantaggi e i principali limiti.

4.1 Caratteristiche e campi di applicazione

La creazione di BN risale al matematico, teologo Rev. Thomas Bayes il quale ha lavorato con la teoria della probabilità condizionale, alla fine del 1700, per scoprire e rivelare una legge fondamentale conosciuta come teorema di Bayes (Satyendra and Srikanta, 2016).

BN è un modello probabilistico che rappresenta un set di variabili random e le loro dipendenze condizionali attraverso un grafo aciclico diretto (DAG). DAG è un particolare tipo di grafo diretto (digrafo) che non presenta cicli diretti, ovvero comunque scegliamo un vertice (nodo) non possiamo tornare ad esso percorrendo gli archi del grafo.

Le variabili random sono rappresentate come nodi e le relazioni tra esse sono rappresentate come archi. Se c'è un arco da X_i a X_j il nodo (variabile) X_i è chiamato "nodo genitore" di X_j e X_j è chiamato "nodo figlio" di X_i . Se un nodo non ha alcun nodo genitore viene chiamato "nodo radice", mentre un nodo senza alcun nodo figlio è chiamato "nodo foglia". È importante notare che non c'è distinzione tra un nodo e una variabile in un BN e che le variabili possono essere discrete o continue.

Supponiamo di avere un set di variabili random $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ e una funzione di distribuzione della probabilità congiunta $P(X_1, \dots, X_n)$ non nota. Sia $N = \{N_1, \dots, N_n\}$ un set di nodi, dove ogni nodo rappresenta una variabile random. Sia $E = \{E_1, \dots, E_n\}$ un set di archi diretti da un nodo N_i ad un altro nodo N_j . Il risultante DAG, $G = N \cup E$, rappresenta il modello di dipendenza di probabilità del set di variabili X ed è mostrato in Figura 5.1 (Heckerman *et al.*, 1995).

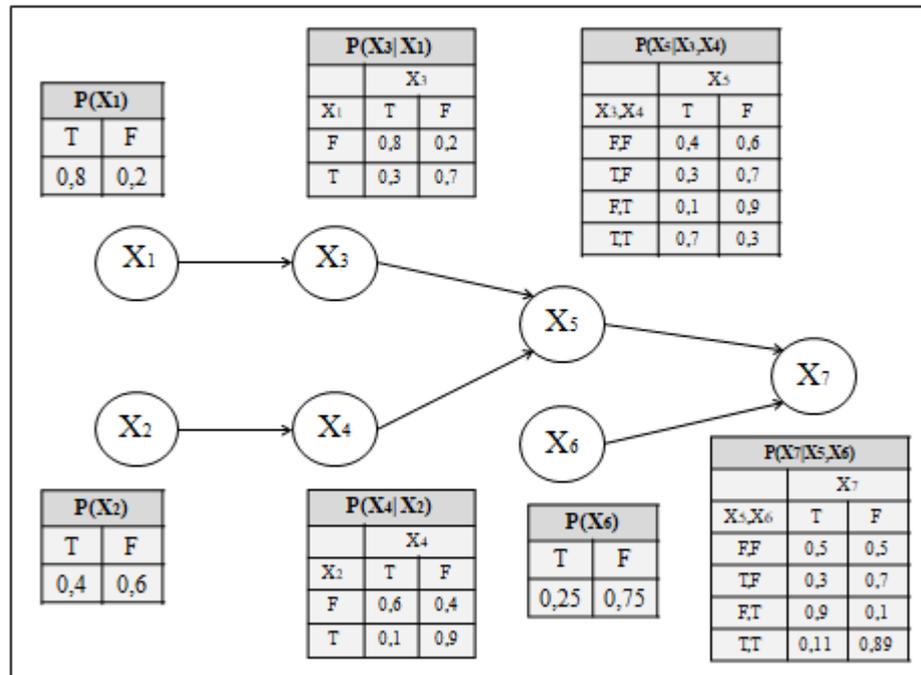


Figura 4.1 Esempio di BN [Adattato da: Myles et al., 2014]

Molte volte la funzione di distribuzione della probabilità congiunta di BN non è nota. Poiché abbiamo una struttura causale rappresentata dal grafo diretto, dobbiamo avere anche una distribuzione di probabilità condizionata per ogni nodo. Quest'ultima è una tabella di probabilità condizionate (CPT) per un set di variabili discrete, la cui complessità aumenta con il numero di stati di un nodo genitore.

L'utilità di BN risiede nel fatto che, utilizzando il teorema di Bayes, si possono stimare non soltanto le distribuzioni di probabilità dei nodi figli, dati i valori dei nodi genitori, ma anche le distribuzioni dei nodi genitori dati i valori dei loro nodi figli.

Secondo il teorema di Bayes:

$$P(H|E, c) = \frac{P(H|c) * P(E|H, c)}{P(E|c)}$$

La probabilità a posteriori è data dal termine a sinistra dell'equazione, $P(H|E, c)$. Esso rappresenta la probabilità dell'ipotesi H dopo aver considerato l'effetto dell'evidenza E sull'esperienza passata c . Il termine $P(H|c)$ è la probabilità a priori di H dato c che può essere vista come la credenza soggettiva, basata sull'esperienza passata, del verificarsi dell'ipotesi H . La probabilità rappresentata dal termine $P(E|H, c)$ è la probabilità dell'evidenza E assumendo vere l'ipotesi H e l'informazione c . Il termine $P(E|c)$ è indipendente da H ed è un fattore di

normalizzazione (Niedermayer, 2003). Dunque, BN fornisce una metodologia per combinare le credenze soggettive con l'evidenza disponibile.

BN può essere utilizzato in due modi: *top to bottom*, come modello predittivo per calcolare la probabilità a posteriori conseguentemente a delle osservazioni e *bottom to top*, come strumento diagnostico per identificare le probabilità di differenti cause date le conseguenze.

La metodologia BN è stata utilizzata per l'analisi di dati in campi caratterizzati da forte incertezza, quando l'informazione circa il passato e/o le situazioni correnti risulta vaga, incompleta, conflittuale e incerta (Maleki *et al.*, 2013). Una raccolta dei diversi campi di applicazione è riportata in Tabella 4.1.

ANNO	AUTORE/I	TITOLO DELL'OPERA e RIVISTA/ EDITORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
2000	Friedman <i>et al.</i>	Using Bayesian Networks to Analyze Expression Data". <i>Journal of Computational Biology</i> .	Biologia computazionale e Bioinformatica
2004	J. Uebersax	Genetic Counseling and Cancer Risk Modeling: An Application of Bayes Nets. Marbella, Spain: <i>Ravenpack International</i> .	Medicina
2010	Jiang X and Cooper GF	A Bayesian spatio-temporal method for disease outbreak detection. <i>J Am Med Inform Assoc</i> .	Biomonitoraggio
2004	Luis M. <i>et al.</i>	Bayesian networks and information retrieval: an introduction to the special issue". <i>Information Processing & Management</i> . Elsevier.	Classificazione di documenti e recupero di informazioni
2012	Koumenides and Shadbolt	Combining link and content-based information in a Bayesian inference model for entity search. <i>In Proceedings of the 1st Joint International Workshop on Entity-Oriented and Semantic Search</i> .	Ricerca semantica
1997	F.J. Díez <i>et al.</i>	DIAVAL, a Bayesian expert system for echocardiography. <i>Artificial Intelligence in Medicine</i> .	Elaborazione di immagini, fusione dati, sistemi di supporto decisionale
2012	Constantinou <i>et al.</i>	pi-football: A Bayesian network model for forecasting Association Football match outcomes. <i>Knowledge-Based Systems</i> .	Ingegneria, scommesse sportive e giochi
2017	F. Cannavo <i>et al.</i>	A multivariate probabilistic graphical model for real-time volcano monitoring on Mount Etna. <i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i> .	Geofisica e monitoraggio dei vulcani
2003	G. A. Davis	Bayesian reconstruction of traffic accidents. <i>Law, Probability and Risk</i> .	
1996	J. B. Kadane and D. A. Schum	A Probabilistic Analysis of the Sacco and Vanzetti Evidence. <i>New York: Wiley</i> .	Legge
2008	O. Pourret <i>et al.</i>	Bayesian networks: A Practical Guide to Applications. <i>Chichester, UK: Wiley</i> .	
2014	Karvanen, Juha	Study design in causal models. <i>Scandinavian Journal of Statistics</i> .	Design
2006	Kayis <i>et al.</i>	Risk quantification for new product design and development in a concurrent engineering environment. <i>Journal of Manufacturing Technology Management</i> .	
2008	Trucco, P. <i>et al.</i>	A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. <i>Reliability Engineering & System Safety</i> .	Analisi del rischio
2010	Yen and Zeng	A hierarchical assessment method using Bayesian network for risk detection on green supply chain. Industrial engineering and engineering management. <i>The IEEE International Conferenc, Macao</i> .	
2011	Lockamy	Benchmarking supplier risks using Bayesian networks. <i>Benchmarking: An International Journal</i> .	

Tabella 4.1 Campi di applicazione di BN

4.2 Applicazione della metodologia BBN alla supply chain

L'obiettivo del seguente paragrafo è quello di dimostrare l'efficacia del metodo BBN come strumento per la valutazione dell'interazione tra i rischi in una *supply chain*. La prima sezione dettaglia la fase concettuale della gestione del rischio, in cui vengono identificati i rischi più importanti e le loro interconnessioni, nonché il metodo quantitativo utilizzato per calcolarne le probabilità. Nella seconda sezione viene riportata l'applicazione del metodo ad un caso studio relativo alla *supply chain* della Boeing Company, la più grande azienda aerospaziale del mondo.

4.2.1 Identificazione dei rischi

Le performance di una *supply chain* possono essere influenzate da una serie di rischi che possono essere interni alla compagnia stessa, a monte nella *supply chain* (relativi ai fornitori), e/o a valle (relativi ai consumatori o ai mercati). Tutti i rischi rilevanti devono essere identificati per poi essere analizzati, valutati e opportunamente mitigati e monitorati.

Dopo una revisione approfondita della letteratura, supportata da discussioni e interviste con *supply chain manager*, Fazleena *et al.* (2014) hanno creato una tassonomia di 105 potenziali rischi, espandendo la tassonomia già presentata da Rao e Goldsby nel 2009, al fine di facilitare il processo di identificazione del rischio. Rao e Goldsby (2009) hanno classificato i rischi che possono verificarsi in una *supply chain* in tre macro categorie: **rischi ambientali**, **rischi industriali** e **rischi organizzativi**.

I rischi ambientali, riportati nella RBS in Tabella 4.2, sono quelli che interessano il contesto aziendale generale in tutti i settori e possono essere relativi a instabilità politiche, cambiamenti nella politica governativa (policy), rischi macroeconomici, sociali e naturali. Le ragioni della distinzione tra rischi politici e rischi legati alla policy risiedono nel fatto che i cambiamenti nel governo potrebbero non interessare le politiche governative che influenzano le imprese.

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Ambientali	Policy	Controllo del prezzo
			Salario minimo
			Tasse/ tariffe
			Nazionalizzazione/ Privatizzazione
			Restrizione sull'importazione
			Restrizione dell'esportazione
			Dazi doganali
			Riforme fiscali obbligatorie
			Problemi tecnologici e di sicurezza
			Tempi richiesti per la progettazione e le approvazioni delle normative
			Regolamenti ambientali e sulla sostenibilità-perdita della quota di mercato dovuta alla non conformità
			Nuovi sistemi di tariffazione stradale per i veicoli che trasportano merci
		Rischi Politici	Guerra
			Rivoluzione
			Disordini politici
			Interessi politici di Paesi che lavorano ad un progetto
			Disordini politici internazionali
		Rischi Macroeconomici	Inflazione
			Tassi di cambio
			Tassi di interesse
			Prezzo del lavoro
			Prezzo delle materie prime
			Variazione dei prezzi dell'energia
			Economia povera del Paese
			Infrastrutture e condizioni stradali
		Rischi Sociali	Terrorismo, Sabotaggio, Dirottamento
			Reputazione del brand
			Dipendenza dal fornitore
			Atteggiamenti generali, valori e credenze
			Obiezione ambientalista
		Rischi Naturali	Terremoti
			Inondazioni
			Vulcani
			Incendi
			Blackouts
Cambiamenti metereologici			
Epidemie/ Malattie			
Contaminazioni delle acque, aria, terreni			

Tabella 4.2 RBS: Rischi ambientali [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

I rischi industriali (Tabella 4.3) sono quelli che possono non riguardare tutti i settori dell'economia, ma soltanto segmenti specifici, e sono legati alle incertezze del mercato degli input e dei prodotti, ai rischi competitivi e alle interrelazioni tra azienda e fornitore.

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Industriali	Mercato degli input	Disponibilità di lavoro
			Fluttuazioni della domanda
			Limiti di capacità- abilità a soddisfare le fluttuazioni della domanda con breve preavviso
			Diminuzione della capacità produttiva
			Qualità e quantità dei sottocomponenti dovuti a cambiamenti nei processi di produzione, fluttuazioni della domanda
			Tempi di produzione/ incertezze del lead time causate dalla disponibilità del lavoro
			Abbandono del business da parte del fornitore principale, fallimento, liquidazione
			Outsourcing (diminuzione del controllo)
			Outsourcing (rischio di proprietà intellettuale)
			Prodotti contraffatti (bassa qualità, problemi di sicurezza)
			Mercato di fornitura monopolistico
		Posizioni geografiche disparate- lunghi percorsi di trasporto	
		Mercato dei prodotti	Gusti
			Sostituti
			Design difettoso- la tecnologia non funziona come anticipato
			Mancanza di ricambi
		Rischi competitivi	Aziende esistenti
			Potenziali entranti
			Nuove tecnologie usate dai competitors rendendo obsolete le vecchie tecnologie
			Prodotti contraffatti
		Interrelazioni	Disallineamento degli interessi
			Relazioni con il fornitore di primo livello e sotto livelli a monte e valle
			Dimensione del conto da pagare al fornitore
			Controversie contrattuali
			Disponibilità a condividere informazioni - effetto frusta
			Comportamenti opportunistici del fornitore/consumatore
			Giochi strategici

Tabella 4.3 RBS: Rischi Industriali [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

I rischi organizzativi (Tabella 4.4) rappresentano la terza categoria di rischi che può interessare una *supply chain* e comprendono le incertezze a livello aziendale legate alle responsabilità, al credito e alla cultura organizzativa, oltre ai rischi operativi e strategici.

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi Organizzativi	Rischi Operativi	Carenza di materie prime
			Variabilità della qualità
			Produttività dei dipendenti a causa di disordini lavorativi/guasti della macchina/mancanza dei pezzi di ricambio
			Ore di lavoro non bilanciate
			Tecnologia- hardware datati(inabilità ad adattarsi alle nuove tecnologie)
			Problemi di gestione del magazzino
			Aumento dei costi di smaltimento in discarica
			Natura dei regolamenti - materiali pericolosi usati nell'industria
			Scarsa tracciabilità
			Comunicazione/Sistema IT (hardware, software, hackers, virus)
			Cambiamenti del processo, delle macchine/Aggiornamenti
			Cultura Organizzativa
		Elevato turnover del personale	
		Turnover dell'alta direzione	
		Restrizioni sul lavoro	
		Previsioni	
		Relazioni tra il personale	
		Conoscenza, competenze ed esperienza	
		Razionalità limitata	
		Responsabilità	Regolamenti (materiali pericolosi)
			Ritiro di prodotti
			Brevetti
			Diritto del lavoro
			Cause legali
		Credito	Impatto ambientale di lungo termine a causa di estrazione di materiale non sostenibile e procedure di smaltimento rifiuti
			Default/ Ritardi
		Rischi Strategici	Capacità finanziaria di accedere al capitale
Fusione/ Acquisizione			
Diversificazione nelle attività di business			
			Regole istituzionali e procedure

Tabella 4.4 RBS: Rischi Organizzativi [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

I rischi raramente agiscono in modo indipendente e le aziende e le loro rispettive *supply chain* sono influenzate dagli effetti di tali relazioni. Per modellare l'influenza dei rischi su una *supply chain* può essere utile catturare tali interdipendenze attraverso una *supply chain risk network map* (Figura 4.2). Quest'ultimo è uno strumento qualitativo in cui ogni evento rischioso è rappresentato da un nodo e le relazioni tra i rischi sono rappresentate tramite frecce e aiuta le aziende a identificare e stabilire le priorità di gestione dei rischi.

un impatto sul tempo di approvvigionamento, il tempo di produzione, i tempi di consegna del prodotto e sulla quota di mercato. Tuttavia, tale strumento, se pur utile, all'aumentare del numero di elementi da considerare diventa di non facile ed immediata lettura.

4.2.2 Tecnica BBN per i rischi nella supply chain

Lo step successivo nel modellare i rischi di una *supply chain* consiste nell'identificare una tecnica quantitativa per analizzare l'influenza degli eventi rischiosi considerando gli effetti delle loro interazioni.

Data la complessa interazione tra i diversi rischi di una *supply chain* e tra tali rischi e le misure di performance della stessa, BBN risulta adatto per modellare tali interdipendenze.

In un modello BBN, ogni rischio e misura di performance rappresentano un evento; basata sulla relazione causa ed effetto tra i differenti rischi e le misure di performance, la *risk network* può essere considerata una semplice rappresentazione della propagazione della probabilità di una data catena di eventi. Queste relazioni sono catturate attraverso probabilità condizionali degli eventi verificatosi dato che si è verificata la loro causa diretta o nodo genitore.

La Figura 4.3 mostra un semplice BBN, dove i nodi "A", "B" e "C" rappresentano tre eventi rischiosi relativi alla *supply chain* della Boeing Company (caso studio condotto da Fazleena *et al.*, (2014) e presentato nel prossimo paragrafo) e le tabelle vicino ad ogni nodo contengono le probabilità associate a tali eventi (il simbolo " \sim " indica il complemento a 1 della probabilità di accadimento di un evento). Per esempio, poiché l'evento C ("ritardi causati da disastri naturali/ condizioni meteorologiche") dipende dagli stati degli eventi A ("rischio del fornitore - ritardi imprevisti") e B ("rischio geografico causato da disastri naturali/condizioni meteorologiche"), esso avrà una separata probabilità associata al caso in cui entrambi gli eventi sono veri (T, T), uno è vero e l'altro è falso (T, F e F, T), o entrambi sono falsi (F, F).

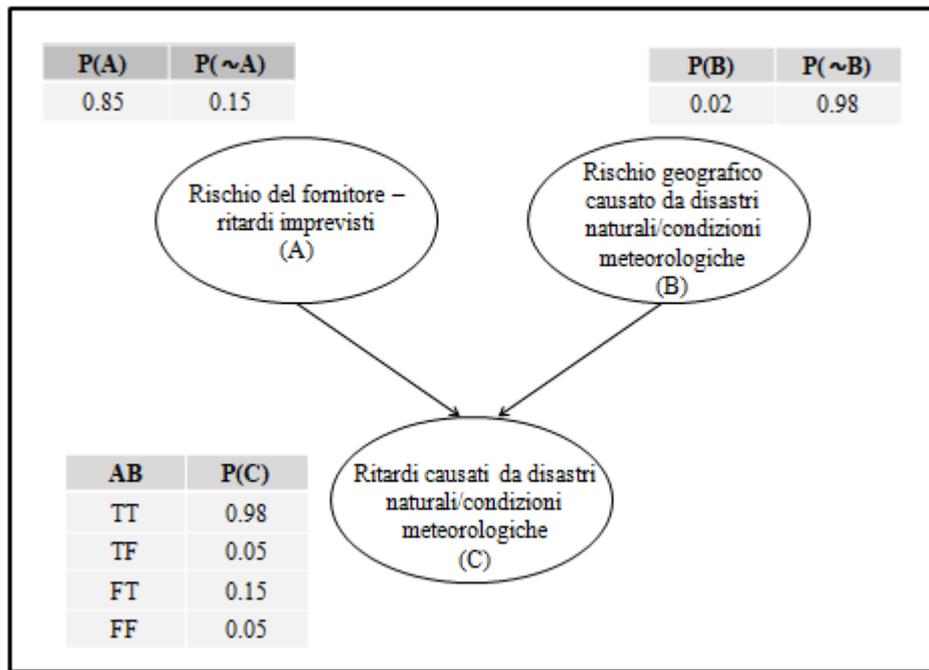


Figura 4.3 Simple Bayesian Belief Network [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

La probabilità del verificarsi di un ritardo a causa delle condizioni meteorologiche o a causa di un disastro naturale viene ottenuta applicando il teorema di Bayes. La probabilità marginale di C è uguale alla somma delle probabilità di C date tutte le possibili condizioni di A e B:

$$P(C) = P(C|A, B)P(A)P(B) + P(C|A, \sim B)P(A)P(\sim B) + P(C|\sim A, B)P(\sim A)P(B) + P(C|\sim A, \sim B)P(\sim A)P(\sim B)$$

$$P(C) = (0.98)(0.85)(0.02) + (0.05)(0.85)(0.98) + (0.15)(0.15)(0.02) + (0.05)(0.98)(0.15) = 0.06611$$

4.2.3 Applicazione ad un caso studio

Al fine di validare l'applicazione di BBN, Fazleena *et al.* (2014) hanno sviluppato uno strumento ("Tool for Risk Assessment (TRA)") basato su Microsoft Excel per la valutazione dei rischi. La serie di steps da seguire per analizzare i rischi di una data *supply chain* usando TRA è riportata nel diagramma di flusso in Figura 4.4.

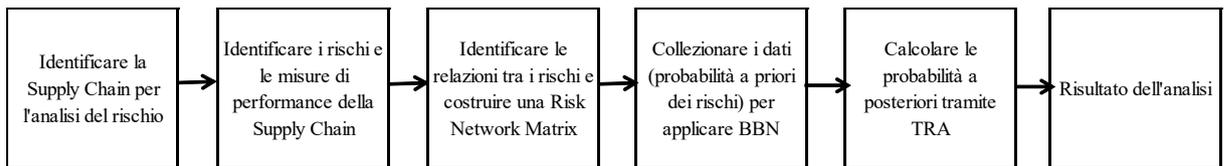


Figura 4.4 Steps seguiti nell'analisi del rischio di una supply chain [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

Il primo step riguarda la scelta della *supply chain* di cui analizzare i rischi. In questo caso, lo scenario oggetto di studio è relativo alla *supply chain* della Boeing Company (Figura 4.5). Tale *supply chain* include 11 fornitori (sparsi in nove stati negli Stati Uniti), l'esercito americano e altri 19 clienti internazionali. L'analisi del rischio è stata focalizzata principalmente a monte della *supply chain*, quindi relativamente ai fornitori.

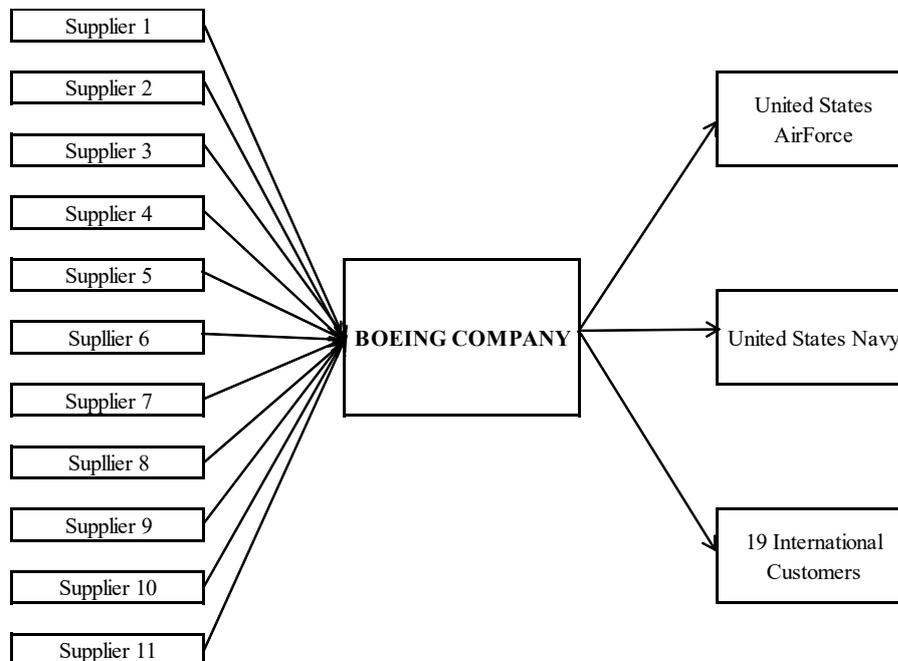


Figura 4.5 Supply chain della Boeing Company [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

Il secondo step prevede l'identificazione dei rischi che possono verificarsi nella *supply chain* e delle misure di performance della stessa. Prendendo come riferimento la tassonomia dei rischi elencata precedentemente nelle Tabelle 4.2, 4.3 e 4.4, e interagendo con i manager della Boeing, il team di ricerca ha selezionato i rischi rilevanti per la *supply chain* (Tabella 4.5).

Rischi della supply chain	1	Mitigazione del rischio del fornitore per ritardi imprevisti
	2	Disastri naturali/cambiamento delle condizioni meteorologiche
	3	Approvvigionamento secondario
	4	Outsourcing
	5	Condizione finanziaria
	6	Reattività del fornitore
	7	Skill della forza lavoro/esperienza
	8	Problemi di equipaggiamento
	9	Ritardi causati dai cambiamenti climatici/disastri naturali
	10	Tipo di approvvigionamento
	11	Disponibilità del lavoro
	12	Leva strategica
	13	Problemi del fornitore secondario
	14	Problemi di produzione
	15	Capacità
Misure di performance	16	Consegna
	17	Qualità
	18	Crescita

Tabella 4.5 Rischi e misure di performance della Boeing Company [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

La mitigazione del rischio del fornitore per ritardi imprevisti (1), il rischio legato ai disastri naturali (2), all'approvvigionamento secondario (3), alla condizione finanziaria (5), alla reattività del fornitore (6), ai problemi di equipaggiamento (8), al tipo di approvvigionamento (10) e alla disponibilità del lavoro (11) risultano, in questo caso, nodi genitori (o meglio nodi radice) in quanto non subiscono l'impatto degli altri rischi considerati, mentre non sono presenti nodi foglia perché tutti i rischi impattano su almeno un altro rischio o sulle misure di performance della *supply chain*.

Le misure di performance scelte sono invece quelle relative alla consegna (16), alla qualità (17) e alla crescita (18). Relativamente alla consegna si potrebbe considerare, per esempio, un indice

di puntualità di servizio definito come rapporto tra il numero di ordini consegnati in tempo al cliente e il totale del numero di ordini promessi:

$$\text{Indice di puntualità di servizio} = \frac{\text{num. ordini consegnati in tempo}}{\text{num. ordini totali promessi}}$$

Tali dati andrebbero considerati in un arco di tempo mensile o meglio ancora settimanale, in quanto, in generale, i controlli devono avvenire il più frequentemente possibile per poter diventare un vero strumento di miglioramento.

Per quanto riguarda la qualità della *supply chain* si potrebbe invece legare questo aspetto ad un indice di completezza dato dal rapporto tra il numero di ordini consegnati completi e il totale del numero di ordini consegnati, sempre relativamente ad un arco di tempo:

$$\text{Indice di completezza} = \frac{\text{num. ordini consegnati completi}}{\text{totale numero di ordini consegnati}}$$

Considerando entrambi gli aspetti relativi alla consegna e alla qualità, un indicatore di crescita della *supply chain* potrebbe essere dato dalla differenza tra il numero di ordini consegnati in tempo e completi all'anno t_i e il numero di ordini consegnati in tempo e completi all'anno precedente t_{i-1} :

$$\text{Indice di crescita} = \text{num. ordini consegnati in tempo e completi } (t) - \text{num. ordini consegnati in tempo e completi } (t - 1)$$

Successivamente, nel terzo step, sono state discusse le interdipendenze tra i rischi e l'impatto che questi possono avere sulle misure di performance della *supply chain* ed è stata sviluppata una *Risk Network Matrix* (Tabella 4.6) che identifica e cattura tali interdipendenze per ogni partner della *supply chain*. In tale matrice vengono riportate nelle righe i rischi della *supply chain*, mentre in colonna troviamo, oltre ai rischi, anche le misure di performance, con la conseguenza che la matrice risultante non è una matrice quadrata. Il valore 1 in una cella indica

che il rischio nella riga impatta sul rischio o misura di performance riportato nella colonna. Per esempio, il rischio legato alla condizione finanziaria (5) ha una relazione con il rischio di outsourcing (4), con il rischio di problemi di produzione (14) e con la crescita (18). La carenza di valori nella parte sinistra della tabella è dovuta al fatto che alcuni dei rischi elencati, come detto, sono nodi genitori e quindi non hanno alcuna interrelazione, ovvero non subiscono l'impatto degli altri rischi considerati.

↻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1									1									
2									1									
3													1					
4													1					
5				1										1				1
6												1						
7														1				
8														1				
9																1		
10												1						
11							1											1
12																1		
13															1			
14																1	1	
15																	1	1

Tabella 4.6 Risk Network Matrix [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

Dopo aver realizzato la *Risk Network Matrix* si passa all'analisi quantitativa dei rischi. Tale analisi prevede, in un primo momento, la collezione dei dati per applicare BBN, ovvero le probabilità a priori e le probabilità condizionate di ogni rischio, ottenute dalle opinioni degli esperti. Le probabilità a posteriori dei rischi, ovvero la probabilità di accadimento di un rischio dato che si è verificato il rischio genitore, sono state ricavate attraverso l'applicazione di BBN e sono riportate in Tabella 4.7. Le probabilità di accadimento dei rischi sono presentate separatamente per la Boeing Company (OEM) e per ogni fornitore ed è usata una codifica a colori per permettere di visualizzarne la variazione, dalla probabilità più elevata (mostrata in rosso), a quella più bassa (mostrata in verde).

	OEM	SUP1	SUP2	SUP3	SUP4	SUP5	SUP6	SUP7	SUP8	SUP9	SUP10	SUP11
1	0.85	0.50	0.50	0.10	0.90	0.10	0.10	0.90	0.10	0.10	0.50	0.50
2	0.02	0.01	0.06	0.03	0.05	0.01	0.08	0.06	0.02	0.01	0.07	0.04
3	0.15	0.20	0.80	0.20	0.80	0.60	0.40	0.20	0.95	0.40	0.60	0.60
4	0.25	0.05	0.25	0.05	0.50	0.25	0.75	0.05	0.75	0.25	0.75	0.05
5	0.20	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20	0.60	0.20	0.40
6	0.10	0.50	0.50	0.10	0.90	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.50
7	0.10	0.30	0.30	0.30	0.50	0.10	0.30	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30
8	0.10	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.50
9	0.07	0.05	0.08	0.06	0.09	0.05	0.06	0.10	0.05	0.05	0.09	0.07
10	0.95	0.80	0.95	0.60	0.80	1.00	0.80	0.10	0.80	0.80	0.95	0.60
11	0.10	0.05	0.05	0.05	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.05	0.45	0.05
12	0.34	0.51	0.54	0.30	0.69	0.35	0.33	0.24	0.33	0.33	0.34	0.47
13	0.39	0.34	0.48	0.34	0.57	0.45	0.60	0.34	0.69	0.43	0.63	0.38
14	0.28	0.46	0.40	0.37	0.46	0.35	0.37	0.32	0.39	0.44	0.43	0.46
15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.45	0.45	0.05	0.45	0.05	0.05	0.45	0.05
16	0.32	0.41	0.39	0.37	0.42	0.35	0.37	0.35	0.38	0.41	0.41	0.42
17	0.29	0.39	0.36	0.34	0.54	0.49	0.34	0.47	0.35	0.38	0.52	0.40
18	0.18	0.21	0.21	0.21	0.46	0.46	0.24	0.43	0.24	0.25	0.43	0.21

Tabella 4.7 Probabilità dei rischi per la supply chain della Boeing Company [Adattato da: Fazleena *et al.*, 2014]

Esaminando i dati riportati in tabella si nota l'esposizione dell'azienda al rischio legato al tipo di approvvigionamento (10) con elevata probabilità. Spostando l'attenzione sui singoli fornitori, si nota che il fornitore 4, per esempio, presenta alti valori di probabilità per molti rischi (1, 3, 6, 10) rispetto agli altri fornitori. Tali informazioni possono essere utilizzate dall'azienda per scegliere come allocare tempo e risorse al fine di migliorare l'affidabilità dei fornitori maggiormente esposti ai rischi; una migliore collaborazione con tali fornitori potrebbe aiutare ad identificare gli eventi di rischio in anticipo e a sviluppare strategie di mitigazione del rischio.

4.3 Vantaggi e limiti di BBN

L'applicazione di BBN permette di valutare quantitativamente i rischi di una *supply chain*, catturando l'influenza delle loro interrelazioni. BBN ha il vantaggio di essere in grado di eseguire analisi *What-if* su una rete di rischi per studiare la sensibilità delle performance di una *supply chain* rispetto a vari eventi (Fenton *et al.*, 2007). Questa funzionalità può essere particolarmente utile per la gestione del rischio in una *supply chain* in quanto essa può essere utilizzata per ricercare quali eventi hanno la probabilità di influenzare le misure chiave di performance.

Una limitazione relativa all'uso della metodologia BBN è la necessità di dover accedere ai dati per poterla implementare. In base alla relazione stabilita, alcune aziende potrebbero essere riluttanti a condividere i dati del loro profilo di rischio (Satyendra and Srikanta, 2016).

Infatti, le opinioni e i giudizi degli esperti sono al centro del modello. Ci deve essere dunque la volontà di aggiornare periodicamente queste informazioni al fine di costruire un profilo di rischio che sia valido ed affidabile. Tuttavia, i manager esitano ad aggiornare continuamente tali informazioni a causa di una deliberata inattenzione ai vari fattori di rischio. Le situazioni decisionali migliori si verificano quando tutti gli attori della *supply chain* sono disposti a condividere ed aggiornare periodicamente i dati relativi al loro profilo di rischio.

Un ulteriore limite di BBN nel catturare le interrelazioni tra i rischi è che esso richiede collegamenti orientati ed è aciclico, risultando dunque non adatto a modellare la presenza di eventuali cicli tra i rischi (Fang *et al.*, 2010). A tal proposito, nel Capitolo 5 verrà descritto il metodo *Design Structure Matrix* (DSM) il quale cerca di superare questo limite del metodo BBN e, inoltre, appare, tra i metodi finora descritti, lo strumento più adatto ad analizzare l'interazione tra i rischi per le ragioni che verranno approfondite di seguito.

5. Design Structure Matrix (DSM)

Negli ultimi decenni, soprattutto nell'ambito dei progetti, la complessità della rete degli eventi rischiosi è aumentata a seguito del crescente numero di rischi e del loro impatto globale. Potrebbe verificarsi, per esempio, che un rischio a monte si propaghi verso numerosi rischi a valle; allo stesso modo, un rischio a valle potrebbe risultare dal verificarsi di parecchi rischi a monte. La situazione estrema si ha quando si verifica il cosiddetto "effetto domino", o reazione a catena, o quando si riscontra l'esistenza di cicli tra i rischi.

Come anticipato nei capitoli precedenti, le attuali metodologie di gestione del rischio si focalizzano soltanto su alcuni aspetti della complessità della rete dei rischi, come la semplice identificazione delle relazioni causa-effetto, trascurando la possibile esistenza di cicli, reazioni a catena o collegamenti non lineari tra gli eventi rischiosi (Marle and Vidal, 2008).

Design Structure Matrix (DSM) risulta essere uno strumento pratico per rappresentare e analizzare le relazioni e le dipendenze tra i componenti di un sistema (Browning, 2001).

Di seguito verranno descritte le caratteristiche di DSM, i suoi campi di applicazione, i vantaggi e i principali limiti, mentre nel capitolo successivo verrà applicato l'approccio DSM alla *supply chain* virtuale introdotta precedentemente per la valutazione delle interazioni tra i rischi.

5.1 Caratteristiche e campi di applicazione

Il metodo Design Structure Matrix (DSM), detto anche Dependence Structure Matrix, è stato introdotto da Steward nel 1981 per la modellazione di un sistema basato su attività ed è stato inizialmente usato per problemi di pianificazione (Eppinger *et al.*, 1994). Tuttavia, questo metodo non ha ricevuto attenzione da parte di molti ricercatori e professionisti come strumento per rappresentare e analizzare il flusso di interazioni tra le attività fino al 1990. Da allora, DSM è stato ampiamente utilizzato per modellare la relazione tra diverse tipologie di elementi, ad esempio componenti di un prodotto, progetti, persone e attività.

DSM è una matrice quadrata il cui numero di righe e di colonne corrisponde al numero finito di elementi del sistema considerato e la presenza di un segno (X) in una cella, fuori dalla diagonale principale, rappresenta l'esistenza di una dipendenza diretta tra essi. Una lettura lungo le righe della matrice rivela quali elementi influenza l'elemento di quella riga, mentre leggendo lungo le colonne è possibile capire da quali elementi dipende l'elemento di quella colonna. In alternativa, a volte viene utilizzata una versione trasposta di DSM.

La Figura 5.1 mostra un esempio di DSM in cui l'elemento B influenza gli elementi A, C, D, F, H ed I, e dipende a sua volta dagli elementi C, D, F ed H.

 A	B	C	D	E	F	G	H	I
A								
B	X		X	X		X		X
C	X	X			X	X		X
D	X	X			X		X	X
E	X		X	X			X	X
F		X	X					
G				X	X			
H		X	X	X	X			
I	X		X		X			

Figura 5.1 Esempio di DSM [Adattato da: Browning, 2001]

Browning (2001) ha fornito una tassonomia degli approcci DSM (Figura 5.2) discriminando tra due principali tipologie: DSM statico (Static DSM) e DSM basato sul tempo (Time-based DSM). Static DSM rappresenta gli elementi di un sistema che esistono simultaneamente, come i componenti dell'architettura di un prodotto o di un gruppo in un'organizzazione. In time-based DSM, invece, l'ordine delle righe e delle colonne indica un flusso nel tempo: in un processo le attività a monte precedono quelle a valle.

La tassonomia di Browning (2001) identifica inoltre quattro tipi di applicazioni di DSM:

1. **Component-Based or Architecture DSM:** utilizzato per modellare le architetture di un sistema basato su componenti e/o su sottosistemi e le loro relazioni;
2. **Team-Based or Organization DSM:** utilizzato per modellare strutture organizzative basate su persone e/o gruppi e le loro interazioni;
3. **Activity-Based or Schedule DSM:** utilizzato per modellare reti di processi e attività e il loro flusso di informazioni;
4. **Parameter-Based (or Low-Level Schedule DSM):** utilizzato per modellare relazioni tra decisioni di progettazione e parametri, sistemi di equazioni, ecc.

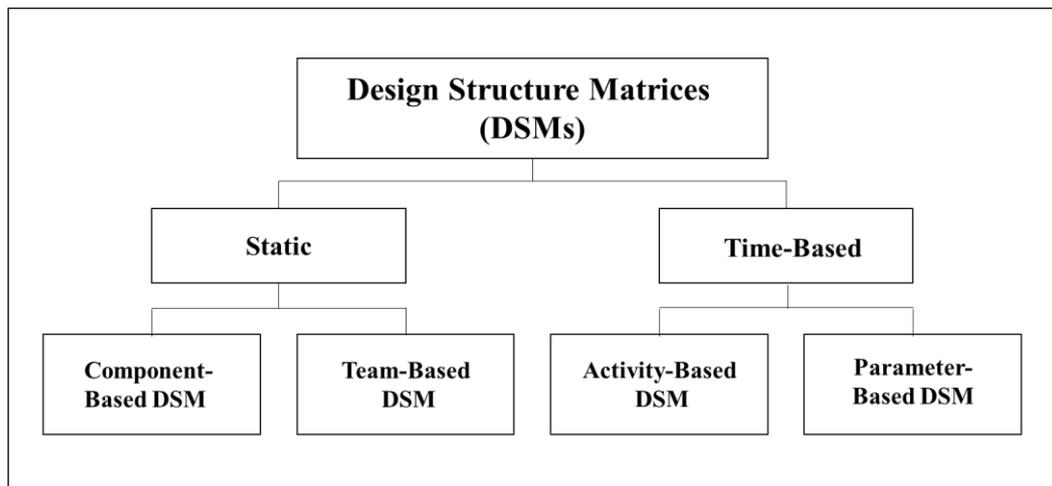


Figura 5.2 Tassonomia di DSM [Adattato da: Browning, 2001]

Per quanto riguarda Static DSM, Pimmler e Eppinger (1994) hanno utilizzato Component-Based or Architecture DSM, presso Ford Motor Company, per “migliorare la qualità della progettazione del prodotto risultante e per facilitare le richieste di coordinamento sostanziale che sono necessarie quando i sottosistemi interagiscono” (Browning, 2001). La Figura 5.3 mostra la DSM per un sistema di controllo climatico di un’automobile.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Radiator	X															
Engine Fan		X			X											
Heater Core																X
Heater Hoses																
Condenser		X				X	X									
Compressor					X		X	X								
Evaporator Case																X
Evaporator Core					X	X		X								X
Accumulator						X	X									
Refrigeration Controls																
Air Controls																
Sensors																
Command Distribution																
Actuators																
Blower Controller																X
Blower Motor			X			X	X								X	

Figura 5.3 Componed- Based DSM [Adattato da: Pimmler e Eppinger, 1994]

Non tutti gli elementi del sistema di controllo del clima interagiscono con ogni altro elemento, ma tutte le interazioni tra i materiali esistenti sono essenziali per ottenere la funzionalità desiderata.

Un altro esempio di Static DSM è fornito da McCord (1993) e Eppinger (1991) i quali hanno utilizzato Team-Based DSM per analizzare un'organizzazione che si occupa di sviluppo di motori per automobili, catturando la frequenza e il flusso di informazioni tra i team di sviluppo prodotto di un progetto, al fine di migliorare l'integrazione tra i diversi team.

Per quanto riguarda invece Time-Based DSM, Kusiak e Wang (1993) hanno dimostrato l'uso di Activity-Based DSM per fornire una descrizione di alto livello di un semplice processo di progettazione automobilistica mentre Rask e Sunnersjo (1998) hanno utilizzato Parameter-Based DSM per descrivere le relazioni tra le variabili di progetto di un braccio robotico e del suo alloggiamento.

Come dimostrano gli esempi qui riportati, DSM è stato utilizzato in diversi campi, per esempio da ingegneri chimici (Himmelblau, 1966), da matematici per risolvere equazioni (Warfield, 1973) e da ingegneri per modellare le interdipendenze tra i parametri di un sistema al fine di determinare l'ordinamento più efficiente delle decisioni di progettazione (Steward, 1981).

La Tabella 5.1 riporta una raccolta dei campi di applicazione di DSM.

ANNO	AUTORE/I	TITOLO DELL'OPERA e RIVISTA/EDITORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
1998	S. Austin <i>et al.</i>	"Development of the ADePT methodology: An interim report on the link IDAC 100 project" <i>Loughborough University, Dept. Of Civil and Building Engineering, U.K.</i>	Costruzione di edifici
1996	S. Austin <i>et al.</i>	"A data flow model to plan and manage the building design process" <i>J. Eng. Des.</i>	
1995	P. Huovila <i>et al.</i>	"Use of the design structure matrix in construction" <i>in 3rd Int. Workshop on Lean Construction, Albuquerque, NM.</i>	
1997	K. Kahkonen <i>et al.</i>	"Design process analysis, optimization and management- A practical tool for the construction and engineering projects" <i>VTT Building Technology, Finland.</i>	
1997	L. Koskela <i>et al.</i>	"Toward lean design management" <i>in 5th Annu. Conf. Of the International Group for Lean Construction.</i>	
2001	Eppinger	"Innovation at the speed of information" <i>in Harvard Bus. Rev.</i>	Semiconduttori
1993	S.M. Osborne	"Product development cycle time characterization through modeling of process iteration" <i>M.S thesis, MIT, Cambridge, MA.</i>	
1999	J.Malmstrom <i>et al.</i>	"The complementary roles of IDEFO and DSM for the modeling of information management processes" <i>Concurrent Eng.:Res. Applicat.</i>	Settore automobilistico
2000	G.J.Rushton and A.Zakarian	"Modular vehicle architectures: A systems approach" <i>in 10th Annu. Int. Symp. ofINCOSE, Minneapolis, MN.</i>	
1991	M.W. Sequeira	"Use of the design structure matrix in the improvement of an automobile development process" <i>M.S. thesis, MIT, Cambridge, MA.</i>	
1997	R. P. Smith and S. D. Eppinger	"Identifying controlling features of engineering design iteration" <i>Manage. Sci.</i>	
1997	Smith	"A predictive model of sequential iteration in engineering design" <i>Manage. Sci.</i>	Settore fotografico
2000	K. T. Ulrich and S. D. Eppinger	"Product Design and Development", <i>Second ed. New York: McGraw-Hill.</i>	
2001	R. H. Ahmadi <i>et al.</i>	"Structuring product development processes" <i>Eur. J. Oper. Res.</i>	
1994	R. H. Ahmadi and H.Wang	"Rationalizing product design development processes" <i>UCLA Anderson Graduate School of Management, Los Angeles, CA.</i>	Settore aerospaziale
1999	J. Andersson	"On engineering systems design: A simulation and optimization approach" <i>M. E. thesis, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden.</i>	
1996	T. R. Browning	"Systematic IPT integration in lean development programs" <i>M.S. thesis, MIT, Cambridge, MA.</i>	
1998	T. R. Browning	"Modeling and analyzing cost, schedule, and performance in complex system product development" <i>Ph.D. dissertation, MIT, Cambridge, MA.</i>	
2000	P. J. Clarkson and J. R. Hamilton	"Signposting": A parameter-driven task-based model of the design process" <i>Res. Eng. Des.</i>	
1999	M. L. Danilovic	"Leadership and organization of integration in product development," <i>Ph.D. dissertation, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden.</i>	
1994	D. L. Grose	"Reengineering the aircraft design process" <i>in 5th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symp. on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Panama City Beach, FL.</i>	
2000	B. J. Makins and D.W. Miller	"Web-based aerospace system evaluation software: The development and assessment of conceptual space missions" <i>in Proc. 10th Annu. Int. Symp. ofINCOSE, Minneapolis, MN.</i>	
2000	M. Nour and J. Scanlan	"Modeling and simulating product development process" <i>in Proc. 6th Int. Conf. on Concurrent Enterprising, Toulouse, France.</i>	
1998	R. D. Pinkett	"Product development process modeling and analysis digital wireless telephones" <i>S.M. thesis, MIT, Cambridge, MA.</i>	Settore delle telecomunicazioni
1998	M. Carrascosa <i>et al.</i>	"Using the design structure matrix to estimate product development time" <i>in Proc. ASME Des. Eng. Tech. Conf.</i>	Industrie elettroniche

Tabella 5.1 Campi di applicazione di DSM [Adattato da: Browning, 2001]

DSM è stato anche ampiamente utilizzato nell'ambito della gestione del rischio, in particolare per analizzare le interdipendenze tra i rischi di progetto (Fang *et al.*, 2010).

Per il nostro studio adotteremo l'approccio DSM relativamente alla Supply Chain Risk Management (SCRM), considerando una matrice che, nel caso specifico dei rischi, viene chiamata Risk Structure Matrix (RSM) e che, volendola ricondurre ad uno degli approcci DSM precedentemente elencati, può essere vista come Time-Based DSM in quanto i rischi di una *supply chain* potrebbero non esistere simultaneamente.

5.2 Risk Structure Matrix (RSM)

L'interazione tra i rischi è considerata come l'esistenza di una possibile relazione di precedenza tra due rischi. La costruzione della Risk Structure Matrix (RSM) è molto simile a quella di DSM in quanto vengono usati gli stessi concetti teorici, considerando, tuttavia, come elementi della matrice non le attività di un processo, i componenti di un prodotto o le risorse di un'organizzazione, ma i rischi che, nel nostro caso, possono verificarsi in una *supply chain*.

RSM è una matrice quadrata e binaria in cui l'elemento RSM_{ij} è uguale a 1 quando c'è una relazione tra il rischio R_i e il rischio R_j . Tale approccio non considera la probabilità di accadimento o l'impatto dell'interazione tra i rischi, ma viene semplicemente evidenziata l'esistenza di una relazione tra gli elementi considerati. La Figura 6.4 mostra un esempio dell'uso di RSM per rappresentare una generica rete di rischi.

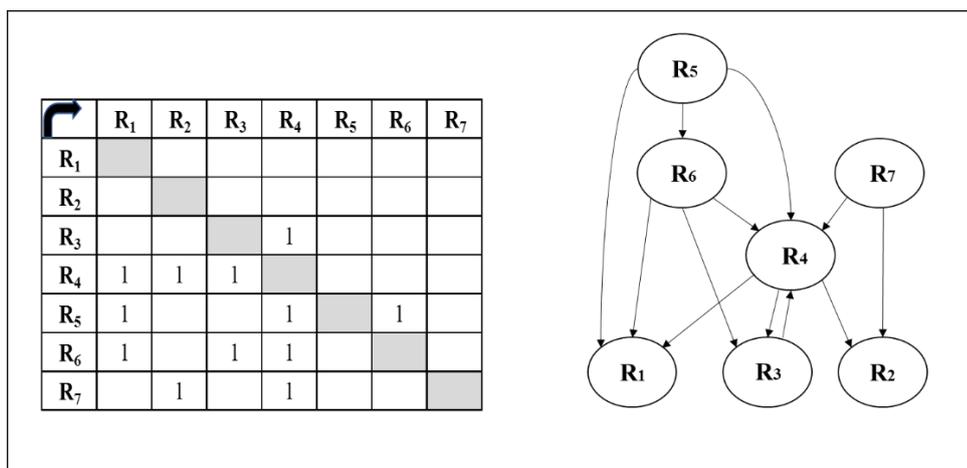


Figura 5.4 Risk Structure Matrix (RSM) [Adattato da: Fang and Marle, 2012]

Per ottenere informazioni più dettagliate sulle interazioni tra i rischi, rispetto a quelle che può fornire una matrice binaria, è possibile convertire la RSM in una matrice numerica che possa in qualche modo catturare la forza delle suddette interazioni (Marle and Vidal, 2010). Tale matrice è chiamata Risk Numerical Matrix (RNM) e di seguito viene descritto un metodo per convertire la RSM in una RNM. Tuttavia, l'obiettivo del nostro lavoro è quello di fornire uno strumento pratico e semplice per la valutazione dell'interazione tra i rischi, quindi nella successiva applicazione del metodo DSM alla *supply chain* verrà utilizzata soltanto la matrice binaria e non la RNM.

5.2.1 Costruzione della Risk Numerical Matrix (RNM)

Per trasformare la RSM in una matrice numerica, la forza delle interazioni tra i rischi potrebbe essere ottenuta tramite una valutazione diretta da parte degli esperti su una scala Likert a diversi livelli (per esempio 10). Tuttavia, tale valutazione diretta risulta difficile da eseguire e, per questa ragione, viene utilizzata una comparazione a coppie basata sul metodo Analytic Hierarchy Process (AHP). AHP è una tecnica di supporto alle decisioni multicriterio, sviluppata negli anni settanta dal matematico Thomas Saaty, basata sull'uso di confronti a coppie.

Marle e Vidal (2010) hanno sviluppato un procedimento, basato sull'utilizzo del metodo AHP, per ottenere i valori numerici della forza delle interazioni tra i rischi. Di seguito vengono riportati i principali steps da seguire per ottenere la RNM e in Figura 5.5 ne viene mostrato un generico esempio (Marle *et al.*, 2010):

1. Dalla RSM di partenza, per ogni rischio R_i vengono identificati i rischi considerati possibili cause e possibili effetti di R_i . Questo permette di creare due vettori chiamati rispettivamente Binary Cause Vectors ($BCV|R_i$) e Binary Effect Vectors ($BEV|R_i$).
2. A questo punto i rischi vengono valutati, su una scala di rapporto, relativamente al contributo che ognuno di loro fornisce agli altri in termini di input e di output. In altre parole, per ogni coppia di rischi confrontati, gli esperti dovrebbero valutare quale dei due rischi è più probabile essere una causa o un effetto dell'altro. In questo modo, per ogni rischio R_i , vengono ottenute due matrici chiamate rispettivamente Cause Comparison Matrices ($CCM|R_i$) e Effect Comparison Matrices ($ECM|R_i$).

3. Vengono calcolati gli autovettori di ogni matrice $CCM|R_i$ e $ECM|R_i$, chiamati Numerical Cause Vectors (NCV_i) e Numerical Effect Vectors (NEV_i) relativi ad ogni rischio R_i .
4. La combinazione degli autovettori di ogni matrice permette di costruire due matrici quadrate chiamate Numerical Effect Matrix (NEM) e Numerical Cause Matrix (NCM).
5. Infine la RNM viene definita tramite la seguente equazione:

$$RNM(i, j) = \sqrt{NCM(i, j) * NEM(i, j)}$$

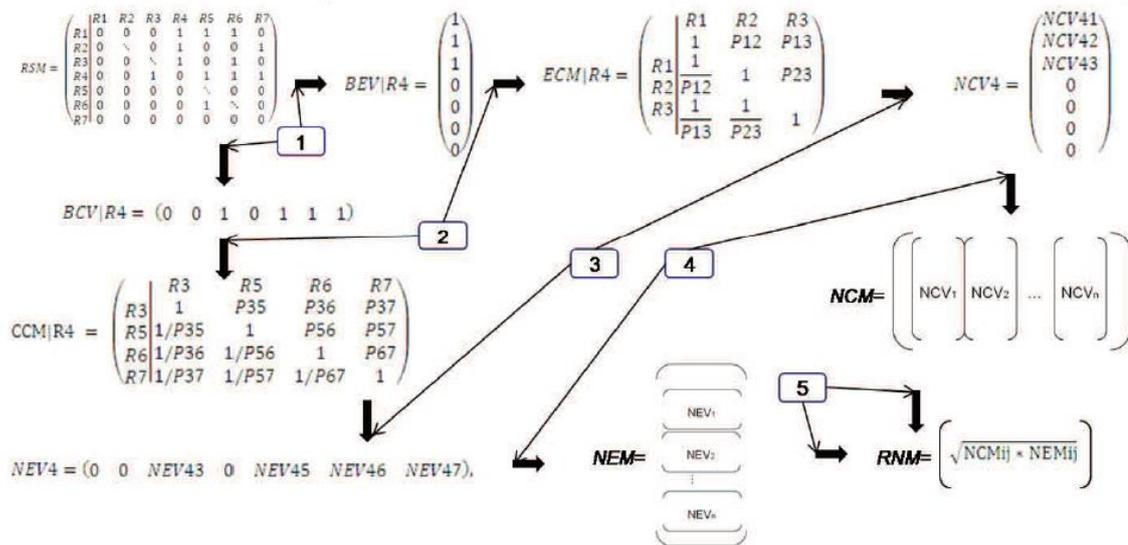


Figura 5.5 Processo di trasformazione della RSM in RNM [Marle *et al.*, 2010]

La RNM risultante è dunque una matrice quadrata in cui i rischi in colonna rappresentano le cause, mentre in rischi in riga rappresentano gli effetti. Ogni valore presente nelle celle fuori dalla diagonale principale indica la forza della relazione tra due rischi. Tali valori possono anche essere interpretati come probabilità di transizione tra i rischi. Per comprendere meglio il concetto di probabilità di transizione, consideriamo la RNM di un progetto di messa in scena di un musical play nel settore dell'intrattenimento (Figura 5.6), ottenuta tramite il procedimento appena descritto.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Low budget	1				0,77										0,16					
Law and regulations infractions	2	0,41																		
Low communication and advertising for the show	3	0,24						0,14	0,39											
Unsuitable cast	4	0,16	0,34																	
Unsuitable ticket price setting	5																			
Unsuitable rehearsal management	6									0,47									0,37	0,12
Cancellation of delay or the first performance	7								0,2		0,33	0,35				0,14				
Poor reputation	8		0,31				0,29								0,19					
Lack of production teams organization	9																			
Low team communication	10		0,15	0,12	0,22	0,30	0,18		0,13								0,11			
Bad scenic, lightning and sound design	11	0,42												0,13						
Bad costum design	12	0,42												0,13						
Low complicity between cast members	13				0,17					0,39							0,18		0,15	
Too ambitious artistic demands compared to project means	14	0,11																		0,2
Few spectators /Lukewam reception of the show	15												0,31	0,16				0,18		
Technical problems during a performance	16	0,16																		
Low cast motivation	17		0,19	0,12			0,16		0,17	0,15			0,25							
Childish direction (unsuitable for family audiences)	18																			0,35
Low creative team leadership	19																			
Low creative team reactivity	20																			

Figura 5.6 RNM di un progetto di un musical play [Adattato da: Marle *et al.*, 2010]

Per esempio, il valore nella cella (7, 11) della RNM sopra riportata è pari a 0,33, questo vuol dire che la probabilità che il rischio 7 (Cancellation or delay of the first performance) venga causato dal rischio 11 (Bad scenic, lightning and sound design) è pari al 33%, sotto l'ipotesi che il rischio 11 si sia verificato.

La RNM permette di sintetizzare in una matrice l'esistenza e la forza delle relazioni di interdipendenza tra i rischi con una visione orientata non solo alle cause ma anche agli effetti, evitando quindi valutazioni errate che potrebbero verificarsi guardando il problema soltanto da una prospettiva. Tuttavia, come anticipato, per il nostro studio considereremo la matrice binaria in quanto risulta uno strumento pratico e di semplice comprensione, anche se fornisce meno informazioni rispetto alla matrice numerica.

5.3 Analisi di RSM per la gestione del rischio

L'approccio DSM permette di effettuare diversi tipi di analisi sulla RSM al fine di migliorare il processo di gestione dei rischi. Un tipo di analisi solitamente condotta nell'approccio DSM è quella definita da Borrowing (2001) con il nome di *partitioning analysis*.

5.3.1 Partitioning analysis

L'obiettivo principale della *partitioning analysis* è quello di identificare i rischi che formano dei cicli all'interno della rete degli eventi rischiosi. L'identificazione dei cicli può risultare difficile utilizzando soltanto il digrafo, mentre risulta immediata attraverso l'utilizzo della matrice binaria.

Grazie a tale analisi i rischi possono essere classificati in diversi gruppi:

- **Rischi dipendenti:** rischi senza outputs che sono interessati da una relazione di precedenza;
- **Rischi interdipendenti:** rischi con molti inputs e outputs, impegnati in una relazione di reciproca dipendenza;
- **Rischi indipendenti:** rischi fondamentalmente non correlati.

Per la *partitioning analysis*, ed in particolare per individuare i circuiti all'interno della rete, possono essere utilizzati diversi metodi. Uno di questi è quello di elevare la RSM dalla prima all'n-esima potenza per identificare i cicli di ordine superiore (Ledet and Himmelblau, 1970). Elevando la RSM all'n-esima potenza si ottiene una matrice di ordine n in cui l'elemento a_{ij} indica che il rischio i-esimo può essere causato dal rischio j-esimo in n steps. Per esempio, elevando al quadrato la RSM si ottiene una matrice che rivela quali rischi sono raggiungibili in due fasi, allo stesso modo il cubo della RSM indica i rischi che sono raggiungibili in tre fasi e così via (Eppinger, 1991). I rischi che appartengono ai cicli presenteranno nella n-esima matrice dei valori non nulli nella diagonale principale.

Riprendendo l'esempio riportato in Figura 5.4, la rete degli eventi rischiosi presenta un ciclo costituito dai rischi R₃ e R₄, non visibile guardando la RSM di partenza (R). Elevando al quadrato la RSM, nella matrice R² viene evidenziata tale relazione, infatti la diagonale principale presenta valori non nulli in corrispondenza dei rischi R₃ e R₄ (Figura 5.7).

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	1	0	0	0
R4	1	1	1	0	0	0	0
R5	1	0	0	1	0	1	0
R6	1	0	1	1	0	0	0
R7	0	1	0	1	0	0	0

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0
R3	1	1	1	0	0	0	0
R4	0	0	0	1	0	0	0
R5	2	1	2	1	0	0	0
R6	1	1	1	1	0	0	0
R7	1	1	1	0	0	0	0

Figura 5.7 Moltiplicazione della RSM

Inoltre, effettuando la somma per riga e per colonna degli elementi della matrice di ordine n , è possibile vedere come cambiano *driving* e *dependence power* di ogni rischio, il cui significato è stato definito nei capitoli precedenti. Per esempio, guardando il digrafo dell'esempio di Figura 5.4, è possibile vedere che il rischio R_5 può causare il rischio R_1 direttamente al primo step, in due steps tramite il rischio R_6 o R_4 , o in tre steps attraverso R_6 e R_4 . Calcolando il *driving power* dei rischi si nota che il rischio R_5 presenta valori crescenti al secondo step e più elevati rispetto agli altri rischi, mentre cresce il *dependence power* del rischio R_1 (Figura 5.8).

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Driving power
R1	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	1	0	0	0	1
R4	1	1	1	0	0	0	0	3
R5	1	0	0	1	0	1	0	3
R6	1	0	1	1	0	0	0	3
R7	0	1	0	1	0	0	0	2
Dependence power	3	2	2	4	0	1	0	

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	Driving power
R1	0	0	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0	0	0
R3	1	1	1	0	0	0	0	3
R4	0	0	0	1	0	0	0	1
R5	2	1	2	1	0	0	0	6
R6	1	1	1	1	0	0	0	4
R7	1	1	1	0	0	0	0	3
Dependence power	5	4	5	3	0	0	0	

Figura 5.8 Driving e Dependence power dei rischi

Il concetto generale è che se, all'interno di una rete di eventi rischiosi, il rischio i -esimo influenza direttamente soltanto il rischio j -esimo che a sua volta innesca n eventi rischiosi, il rischio i -esimo sarà molto influente e presenterà dunque un elevato *driving power*.

5.4 Vantaggi e limiti di DSM

Il vantaggio principale di DSM è sicuramente quello di fornire una rappresentazione concisa e visiva di sistemi complessi, sia che si tratti di un prodotto, di un processo o di un'organizzazione. Inoltre, essendo basato sulla creazione di matrici binarie, DSM è uno strumento di rapida creazione.

Soprattutto nell'ambito del Project Risk Management (PRM), in cui la complessità dei progetti cresce all'aumentare del numero di parametri considerati, DSM è stato utilizzato come strumento per esplorare le connessioni esistenti tra i rischi. Infatti, a differenza di molte metodologie di valutazione del rischio, DSM riesce a modellare le interazioni tra gli elementi del sistema considerato. A differenza degli altri metodi capaci di catturare tali interazioni, quali BBN e ISM descritti nei capitoli precedenti, grazie all'applicazione della *partitioning analysis*, DSM permette di individuare i cicli presenti all'interno di una rete di elementi fornendo un'analisi maggiormente dettagliata del sistema oggetto di studio.

L'output dell'analisi condotta utilizzando DSM supporta i risk manager nel pianificare le azioni di risposta al rischio e nell'allocare le risorse (Chapman and Ward, 2003).

Il limite principale di DSM riguarda le dimensioni della matrice e quindi il numero di elementi che è possibile analizzare. Non ci sono limiti assoluti a tali dimensioni, ma l'applicazione pratica ne evidenzia alcune restrizioni. Infatti, DSMs con meno di 10 elementi possono essere analizzate tramite ispezione visiva e manuale, tra 50 e 100 elementi risultano visibili in una pagina standard, ma DSMs più grandi risultano di difficile lettura (Browing, 2001).

L'utilità di DSM è inoltre limitata all'analisi di elementi che appartengono agli stessi domini (domini di prodotto, processo, organizzazione, ecc). Infatti, DSM può essere applicato sotto l'assunzione che i due domini analizzati abbiano lo stesso numero dei medesimi elementi. Per superare questa limitazione e poter catturare le dinamiche tra due diversi domini, è stato introdotto un altro strumento che, a differenza di DSM, fa uso di una matrice rettangolare ed è chiamato Domain Mapping Matrix (DDM) (Browing, 2001).

6. Analisi dell'interazione tra i rischi nel tempo

Nei capitoli precedenti è stato anticipato come l'obiettivo dell'elaborato di tesi sia quello di proporre un metodo analitico utile per studiare l'interazione tra i rischi nel contesto di una *supply chain*. Tra i metodi esistenti in letteratura, illustrati precedentemente, quello che sembra rispondere a tale esigenza in maniera più completa rispetto agli altri è DSM. Tuttavia, DSM non è stato applicato nell'ambito del SCRM. Nei successivi paragrafi viene quindi riportata l'applicazione di DSM alla *supply chain* teorica utilizzata come oggetto di studio da Pfohl *et al.* (2011) ed illustrata nel Capitolo 3 per l'applicazione di ISM. Successivamente, per verificare che i risultati ottenuti con l'applicazione di tale metodo fossero soddisfacenti, l'interazione tra i rischi della stessa *supply chain* è stata analizzata ipotizzando la probabilità di accadimento degli eventi rischiosi. I risultati ottenuti con l'applicazione dei due metodi sono stati confrontati e sono stati evidenziati i limiti dei due approcci proposti.

6.1 Applicazione di DSM ai rischi di una supply chain

Il punto di partenza per l'applicazione di DSM consiste nell'individuare i rischi che possono verificarsi nella *supply chain*. Non avendo come riferimento un caso studio reale, è stata considerata la lista di rischi (Tabella 6.1) individuata da Pfohl *et al.* nella ricerca condotta nel 2011 su una *supply chain* teorica (lato offerta) costituita da un'azienda, dal suo fornitore di primo livello e dal 3PL.

Livello 0	Livello 1	Livello 2	Livello 3
Rischi di una supply chain	Rischi interni all'azienda	Processo e controllo	1. Arresto della produzione a lungo termine 2. Guasto del sistema IT 3. Arresto della produzione a breve termine
		Fornitura	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia sul lato dell'offerta 5. Dipendenza dal fornitore 6. Ritardo nella consegna
	Rischi del fornitore di primo livello	Processo e controllo	7. Arresto della produzione a lungo termine 8. Guasto del sistema IT 9. Arresto della produzione a breve termine
		Fornitura	10. Furto 11. Scarsa qualità della consegna 12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto
	Rischi del 3PL	Processo e controllo	13. Reclami 14. Scarsa qualità del personale 15. Guasto del sistema IT
		Fornitura	16. Scarse performance dei subfornitori 17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto 18. Carenza di personale
	Rischi esterni	Sicurezza	19. Attacchi terroristici
		Naturali	20. Disastri naturali
		Risorse	21. Sciopero dei dipendenti

Tabella 6.1 RBS di una supply chain virtuale [Adattato da: Pfohl *et al.*, 2011]

I rischi sono stati classificati in base al loro punto di origine in rischi interni all'azienda, rischi del fornitore di primo livello, rischi del 3PL e rischi che hanno origine all'esterno della *supply chain*. I rischi che corre l'azienda, così come il fornitore di primo livello, sono legati all'arresto della produzione a breve e lungo termine (1, 3, 7, 9), dove con "breve termine" si fa riferimento alle interruzioni causate ad esempio da malfunzionamenti nei macchinari e che possono dunque essere messe sotto controllo con rapidità, mentre con "lungo termine" ci si riferisce a interruzioni della produzione causate da danni gravi, come potrebbe essere un incendio, e con conseguenze devastanti. Azienda, fornitore di primo livello e 3PL corrono lo stesso rischio di guasto del sistema IT (2, 8, 15), infatti il minimo malfunzionamento di un componente del sistema informativo può comportare conseguenze ad esempio sui costi diretti, perdita di clienti e d'immagine anche perché i suoi applicativi principali gestiscono processi d'esecuzione in tempo reale per i quali un malfunzionamento implica spesso l'incapacità delle risorse di essere pienamente operative. Sul lato della fornitura l'azienda corre il rischio legato alle variazioni della capacità (4), ovvero quello di non poter affrontare picchi di volume impreveduti in quanto una loro previsione risulta delicata da realizzare, il rischio di dipendenza dal fornitore (5) inteso come il rischio di essere legato ad un'unica fonte di approvvigionamento che, sebbene possa portare dei vantaggi sul lato dei costi, nel caso in cui si verifichi un'interruzione, la mancanza di alternative può diventare per l'azienda un grosso problema, e il rischio di ritardo nella consegna (6) inteso come ritardo da parte del fornitore e non dell'azienda verso il cliente in quanto, come detto, è stato considerato il lato dell'offerta della SC.

Il fornitore di primo livello può incorrere, oltre ai rischi già citati, nel rischio di furto (10), di scarsa qualità della consegna da parte del 3PL (11) e di mancanza di attrezzature, personale e trasporto (12). Per quanto riguarda invece il 3PL sono stati considerati come rischi di processo e controllo, oltre al rischio di guasto del sistema IT (15), i rischi di ricevere reclami (13) e di scarsa qualità del personale (14), mentre sul lato dell'offerta troviamo il rischio di scarse performance dei subfornitori (16), di mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17) e di carenza di personale (18). Infine, i rischi esterni che possono impattare su tutti gli attori della *supply chain* considerati sono relativi agli attacchi terroristici (19), ai disastri naturali (20) e allo sciopero dei dipendenti (21).

Dopo aver individuato i rischi è necessario stabilire l'esistenza o meno di una relazione tra questi e costruire la RSM, la matrice binaria in cui i valori 1-0 indicano rispettivamente l'esistenza e l'assenza di una relazione tra gli eventi rischiosi riportati in riga e in colonna.

La RSM non è altro che la *reachability matrix* introdotta nel metodo ISM (Capitolo 3) in cui però i valori nella diagonale principale sono nulli. Come detto nel Capitolo 5, relativo al metodo

DSM, la diagonale principale della RSM di partenza riporta valori nulli in quanto, nelle matrici di ordine superiore, che si ottengono elevando all'ennesima potenza la RSM di partenza, gli eventuali valori diversi da zero nella diagonale principale indicano l'esistenza di cicli formati dai rischi. La RSM riportata in Figura 6.1 è stata quindi adattata dalla *reachability matrix* delle relazioni dirette tra i rischi della *supply chain* teorica introdotta nel Capitolo 3.

↻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1
19	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
21	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Figura 6.1 RSM della supply chain virtuale

6.1.1 Partitioning analysis

Per individuare quali sono i rischi della *supply chain* che nel tempo hanno un impatto maggiore su tutti gli altri, ovvero per valutare come da un'istante all'altro si modifica il loro *driving power*, e quali invece subiscono l'influenza degli altri, è stata applicata l'analisi precedentemente definita *partitioning analysis* utilizzando il metodo che prevede di elevare la RSM all'n-esima potenza. La *partitioning analysis* in letteratura è stata applicata con lo scopo di individuare l'esistenza di eventuali cicli tra i rischi. Nella seguente applicazione, invece, essa è stata utilizzata per verificare l'evoluzione nel tempo dell'entità con cui i rischi impattano sugli altri e vengono a loro volta influenzati.

Partendo dal livello 0 della RSM, che si può considerare come la situazione esistente all'istante di tempo t_0 , sono state effettuate due iterazioni, ovvero è stato calcolato il quadrato (iterazione livello 1 quindi istante t_1) e il cubo (iterazione livello 2, istante t_2) della matrice di partenza. Non è stato necessario riportare iterazioni di livello superiore al secondo in quanto, elevando la RSM ad una potenza superiore alla terza, non sono stati individuati rischi appartenenti a cicli,

Osservando il diagramma è possibile classificare i rischi nel modo seguente:

- **Rischi autonomi:** il rischio di guasto del sistema IT dell'azienda (2), di arresto della produzione a lungo termine (7) e di furto (10) del fornitore di primo livello e i rischi del 3PL legati ai reclami (13), alla scarsa qualità del personale (14), alle scarse performance dei subfornitori (16) e alla mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17), in generale sono rischi importanti, tuttavia, considerando l'interazione con gli altri rischi della *supply chain*, non hanno un impatto significativo.
- **Rischi dipendenti:** i rischi dell'azienda legati all'arresto della produzione a breve termine (3), alle variazioni della capacità/ colli di bottiglia (4), alla dipendenza dal fornitore (5) e al ritardo nella consegna (6), e i rischi del fornitore di primo livello relativi all'arresto della produzione a breve (9) e alla scarsa qualità della consegna (11) sono rischi con basso *driving power* ed elevato *dependence power*, risultando così degli effetti causati da altri rischi. Per questo gruppo di rischi è dunque importante risalire agli eventi rischiosi che li hanno causati e agire su di essi in modo da risolvere anche gli effetti.
- **Rischi collegati:** il rischio di mancanza di attrezzature, personale e trasporto del fornitore di primo livello (12) presenta valori medi di *driving* e *dependence power* e può dunque essere tanto una causa quanto un effetto.
- **Rischi indipendenti:** i rischi che dall'analisi risultano avere maggiore impatto sugli altri sono i rischi esterni di attacchi terroristici (19), di disastri naturali (20) e dello sciopero dei dipendenti (21). Altri rischi indipendenti sono quelli relativi al guasto del sistema IT del fornitore (8) e del 3PL (15) e, avendo valori elevati di *driving power*, rappresentano le principali cause a cui assegnare priorità di gestione.

Per quanto riguarda i rischi di arresto della produzione a lungo termine (1) dell'azienda e di carenza del personale (18) del 3PL, all'istante t_0 non è possibile definire con certezza a quale gruppo appartengono in quanto cadono in corrispondenza delle linee di separazione nel diagramma MICMAC. Bisogna sottolineare che la scelta della posizione delle linee di separazione tra le quattro aree del diagramma è stata dettata dal buon senso, in quanto, scegliendo esattamente i valori medi di *driving* e *dependence power* quasi la totalità dei rischi qui considerati sarebbero ricaduti, già dalla prima iterazione, nel gruppo dei rischi autonomi. In tale istante di tempo inoltre, tramite la RSM, non è possibile individuare i rischi che formano eventuali cicli all'interno della rete degli eventi rischiosi che interessano la *supply chain*.

Iterazione livello 1

Per ottenere *driving* e *dependence power* dei rischi all'istante di tempo t_1 la RSM di partenza è stata elevata al quadrato, ottenendo così la matrice riportata in Figura 6.3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	2	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2	0	3	3	3	3	0	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	1	2	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	2	2	3	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	1	3	2	0	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	1	2	4	4	1	0	5	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	1	2	2	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	1	1	2	2	0	0	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	1	2	3	3	1	0	3	2	3	3	1	0	0	2	1	1	0	0	0
19	1	1	2	5	6	5	1	2	2	2	3	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0
20	2	1	3	5	7	6	1	2	4	2	5	3	2	0	1	1	0	0	0	0	0
21	0	0	1	4	5	4	0	0	2	1	5	3	1	0	0	2	1	0	0	0	1

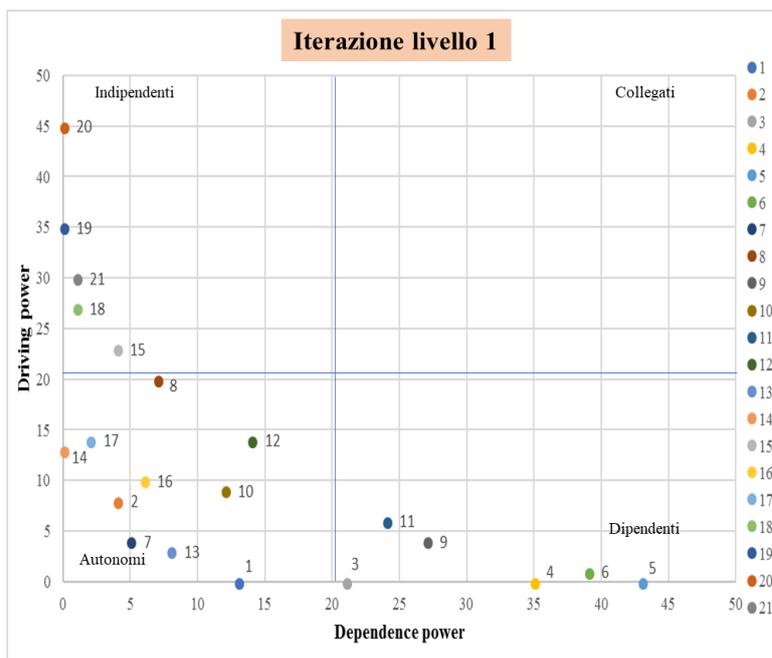
Figura 6.3 RSM-Iterazione livello 1

In tale matrice le celle evidenziate nella diagonale principale indicano i rischi che formano dei cicli all'interno della rete degli eventi rischiosi. In particolare, si tratta dei rischi legati al guasto del sistema IT dell'azienda (2), del fornitore di primo livello (8) e del 3PL (15) che si influenzano a vicenda e dei rischi di carenza di personale (18) e di sciopero dei dipendenti (21) che possono essere l'uno la causa dell'altro.

Effettuando la somma lungo le righe e lungo le colonne della RSM, sono stati ottenuti *driving* e *dependence power* dei rischi (Figura 6.4 (a)) e sono stati riportati sul un diagramma MICMAC (Figura 6.4 (b)). Prima di analizzare il diagramma viene riportato un esempio per spiegare il significato che assumono *driving* e *dependence power* dei rischi da questo istante di tempo in poi. Si consideri il rischio di disastri naturali (20) e il rischio di arresto della produzione a breve termine dell'azienda (3). Il valore presente nella cella (20, 3) della matrice in Figura 6.3 è pari a 3 e sta ad indicare che il rischio (20) può causare il rischio (3) seguendo tre percorsi diversi che passano per un rischio intermedio. In particolare il rischio (20) impatta su molti rischi tra cui guasto del sistema IT (2), variazioni della capacità/ colli di bottiglia (4) e dipendenza dal fornitore (5) che a loro volta impattano sul rischio di arresto della produzione a breve (3).

Iterazione livello 1		
Rischi	Dependence power (X)	Driving power (Y)
1	13	0
2	4	8
3	21	0
4	35	0
5	43	0
6	39	1
7	5	4
8	7	20
9	27	4
10	12	9
11	24	6
12	14	14
13	8	3
14	0	13
15	4	23
16	6	10
17	2	14
18	1	27
19	0	35
20	0	45
21	1	30

(a)



(b)

Figura 6.4 Iterazione livello 1

Grazie all'iterazione di livello 1 è possibile classificare all'istante t_1 i rischi relativi all'arresto della produzione a lungo termine dell'azienda (1) e il rischio di carenza del personale (18), precedentemente non identificati, rispettivamente come rischio autonomo il primo e rischio indipendente il secondo. Il fatto che il rischio di arresto della produzione a lungo termine (1) ricada, all'istante t_1 , tra i rischi autonomi non deve, tuttavia, far pensare che tale rischio non sia significativo. Infatti, come detto in precedenza, nella presente analisi è stato considerato soltanto il lato dell'offerta di una *supply chain* teorica e quindi, il fatto che il *driving power* del rischio (1) non sia alto è da attribuire alla mancanza di analisi dei rischi su cui esso potrebbe impattare. Per quanto riguarda il gruppo dei rischi dipendenti, all'istante t_1 , esso non subisce nessuna variazione rispetto al caso precedente in termini di numero e tipo di rischi, mentre nessun rischio in questo caso appartiene al gruppo dei collegati, in quanto il rischio di mancanza di attrezzature (12) si trova adesso tra gli autonomi. Ragionando in un'ottica temporale, tale rischio è più probabile che si verifichi e che abbia un impatto maggiore degli altri all'istante t_0 , mentre con il trascorrere del tempo e la conseguente maturazione del rapporto tra gli attori della *supply chain*, esso non dovrebbe avere un impatto significativo. In realtà un ragionamento analogo dovrebbe valere per il rischio di carenza del personale (18) che all'istante t_1 , come detto, si trova invece tra i rischi indipendenti. Questo potrebbe dipendere dalla scelta dei valori

in cui posizionare le linee di separazione tra i diversi gruppi, che per ragioni di coerenza con il caso precedente, non sono stati posti ai valori medi ma bensì è stato scelto il valore medio del minimo tra i valori massimi di *driving* e *dependence power*.

Tra i rischi indipendenti, oltre a quelli del caso precedente, troviamo, come detto, il rischio (18) mentre il rischio di guasto del sistema IT del fornitore di primo livello (8) appartiene al gruppo dei rischi autonomi anche se si trova quasi in corrispondenza della linea di separazione tra i due gruppi.

Osservando il diagramma MICMAC si può notare che la maggior parte dei rischi, già dalla prima iterazione della RSM, si spostano verso l'origine degli assi in quanto, moltiplicando la matrice, aumenta via via il numero di zeri contenuti nelle RSM di ordine superiore. Il fatto che i rischi si spostino via via verso l'origine implica che essi tendono a diventare rischi autonomi e questo dipende dalla natura dei rischi considerati, in quanto un rischio importante all'istante t_0 potrebbe diventare trascurabile all'istante t_1 e può anche dipendere dal numero di relazioni che ciascun rischio ha con gli altri, relazioni che vengono assegnate in base alle opinioni di team di esperti ma che potrebbero essere soggette in ogni caso ad errori di valutazione. Quindi, mentre per alcuni rischi come il rischio di carenza del personale (12) tale analisi può risultare verosimile, questo potrebbe non valere per altri rischi.

Iterazione livello 2

Calcolando il cubo della RSM si ottiene la matrice di Figura 6.5 da cui è possibile notare che all'istante t_2 non ci sono altri eventi rischiosi, oltre a quelli dell'istante t_1 , evidenziati grazie all'iterazione di livello 1, che formano cicli all'interno della rete di rischi, in quanto la diagonale principale della matrice contiene soltanto valori nulli.

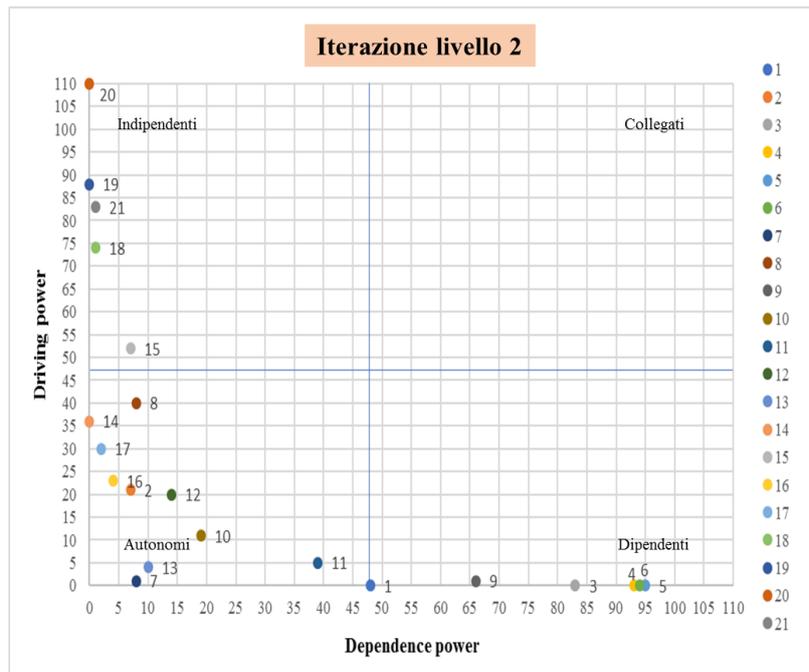
↻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	4	3	3	3	0	2	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	3	2	6	6	5	5	2	0	6	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2	0	4	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	3	0	5	5	3	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	3	1	4	6	6	6	1	0	5	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
15	5	0	7	10	10	10	0	2	3	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	3	5	5	5	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	2	0	3	5	6	6	0	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	3	0	5	10	13	12	0	0	9	3	9	4	2	0	0	2	1	0	0	0	1
19	7	2	12	12	13	13	2	2	10	3	6	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0
20	8	2	13	16	18	18	2	2	14	4	7	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0
21	6	0	10	10	12	12	1	0	11	4	7	4	2	0	0	2	1	1	0	0	0

Figura 6.5 RSM-Interazione livello 2

Anche all'istante t_2 i valori di *driving* e *dependence power* dei rischi indicano il numero di percorsi tramite cui un rischio può influenzare n altri rischi e viceversa, passando però tra due rischi intermedi e non uno come all'istante t_1 . Riprendendo l'esempio precedente, il valore nella cella (20, 3) della RSM in Figura 6.5 indica che il rischio (20) può raggiungere il rischio (3) attraverso 13 cammini differenti, passando per altri due rischi intermedi che variano a seconda del cammino considerato. A questo livello di iterazione il numero di tali percorsi continua a crescere portando ad un aumento dei valori di *driving* e *dependence power* dei singoli rischi, ottenuti sempre effettuando la somma lungo le righe e lungo le colonne della matrice. Tali valori sono riportati in Figura 6.6 (a) e graficati nel diagramma MICMAC di Figura 6.6 (b).

Iterazione livello 2		
Rischi	Dependence power (X)	Driving power (Y)
1	48	0
2	7	21
3	83	0
4	93	0
5	95	0
6	94	0
7	8	1
8	8	40
9	66	1
10	19	11
11	39	5
12	14	20
13	10	4
14	0	36
15	7	52
16	4	23
17	2	30
18	1	74
19	0	88
20	0	110
21	1	83

(a)



(b)

Figura 6.6 Iterazione livello 2

I gruppi dei rischi indipendenti e collegati rimangono invariati rispetto al caso precedente. Le uniche differenze si registrano per il rischio legato alla scarsa qualità della consegna (11), che apparteneva al gruppo dei rischi dipendenti mentre adesso è un rischio autonomo, e per il rischio di arresto della produzione a lungo termine dell'azienda (1) che diventa un rischio dipendente in quanto è aumentato il suo *dependence power* ed è rimasto invariato il suo *driving power*. Per il rischio (11) si può fare lo stesso discorso fatto all'istante t_1 relativamente al rischio di mancanza di attrezzature (12), ovvero sembra verosimile pensare che con il passare del tempo e quindi all'istante t_2 il rischio di scarsa qualità della consegna (11) diventi un rischio autonomo e che non abbia quindi un elevato *driving power*. Per quanto riguarda invece il rischio (1) l'applicazione di tale metodo non sembra essere significativa in quanto, come detto nel caso dell'iterazione di livello 1, il fatto che qui venga considerata soltanto parte della *supply chain* limita l'analisi per quei rischi che potrebbero avere delle interconnessioni con altri rischi qui non analizzati.

6.2 Interazione nel tempo tra i rischi di una supply chain

Al fine di valutare la validità dei risultati ottenuti con l'applicazione del metodo DSM ai rischi di una *supply chain*, questi verranno confrontati con l'output che si ottiene considerando la probabilità di accadimento dei rischi. Tale probabilità verrà fatta variare nel tempo, mentre l'impatto che un rischio ha su ogni altro verrà considerato costante. In particolare, come punto di partenza verrà considerata la matrice fuzzy delle relazioni dirette tra i rischi della *supply chain* teorica, ottenuta tramite l'applicazione di ISM nel Capitolo 3, che riporta i valori dell'impatto che ogni rischio, secondo l'opinione degli esperti, può avere su ogni altro. Tali valori sono basati sulla considerazione che ogni rischio effettivamente si verifichi, che abbia quindi probabilità di accadimento pari ad 1. Dunque, la classificazione dei rischi della *supply chain* virtuale in rischi autonomi, dipendenti, collegati e indipendenti, ottenuta con il supporto dell'analisi MICMAC, fornisce un'idea di quali rischi bisognerebbe gestire per primi nel caso peggiore in cui tutti gli eventi rischiosi effettivamente si verificassero. La priorità di gestione degli eventi rischiosi potrebbe quindi cambiare nel tempo in base al fatto che tali rischi si verifichino o meno e, per tenere conto di tale aspetto, è necessario considerare la probabilità di accadimento degli eventi, i cui valori verranno riportati nel Paragrafo 6.2.1.

Nel Capitolo 3, la matrice fuzzy delle relazioni dirette era stata ottenuta sostituendo, in base alle opinioni degli esperti, le relazioni binarie 0-1 tra i rischi con i valori di una scala compresa tra 0 e 1. Per rendere confrontabili i valori di *driving* e *dependence power* ottenuti con l'applicazione di DSM, con quelli che si ottengono sommando, per ogni rischio, i valori derivanti dalla moltiplicazione della probabilità di accadimento per l'impatto, è stata operata una conversione dei valori della matrice fuzzy con quelli di una scala compresa tra 0 e 4. Nella Tabella 6.2 sono riportate le due scale, ovvero quella fuzzy utilizzata dagli esperti e quella qui adoperata per ottenere valori confrontabili tra i due metodi.

Forza dell'impatto	Nulla	Debole	Media	Forte	Molto forte
Valore numerico scala 0-1	0	0,25	0,5	0,75	1
Valore numerico scala 0-4	0	1	2	3	4

Tabella 6.2 Scale dell'impatto

La matrice ottenuta in seguito a tale sostituzione è riportata in Figura 6.7. In tale matrice è riportato dunque l'impatto che ogni rischio ha sugli altri.

↻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	4	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	1	4	4	3	0	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	3	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	2	4	3	0	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	3	0	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	4	4	0	0	0	1	0
19	3	1	3	2	0	2	3	1	3	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
20	3	3	4	3	1	4	3	3	4	1	0	2	1	0	3	1	1	0	0	0	0
21	3	0	4	1	0	2	3	0	4	1	0	1	0	0	1	4	4	0	0	0	0

Figura 6.7 Matrice delle relazioni dirette (scala 0-4)

Prima di illustrare i passaggi dell'approccio proposto, è necessario introdurre alcune ipotesi riportate nel Paragrafo 6.2.1.

6.2.1 Ipotesi di lavoro

Per verificare come la priorità di gestione degli eventi rischiosi potrebbe cambiare nel tempo, è stata ipotizzata, per ogni rischio, una probabilità di accadimento diversa da 1 secondo la seguente scala:

Scala probabilità				
Minima	Bassa	Media	Alta	Massima
0	0,25	0,5	0,75	1

Tabella 6.3 Scala di probabilità

La scelta di una scala di probabilità con valori compresi tra 0 e 1 è legata alle stesse ragioni che hanno portato a sostituire i valori della scala fuzzy dell'impatto con quelli di una scala tra 0 e

4, ovvero per poter rendere confrontabili i valori di *driving* e *dependence power* che si ottengono applicando i due approcci.

Di seguito vengono elencate le ipotesi necessarie per la trattazione:

- i disastri naturali considerati sono relativi ad alluvioni, frane e terremoti;
- gli attori della *supply chain* teorica (azienda, fornitore di primo livello e 3PL) sono dislocati lungo il territorio italiano in aree caratterizzate da bassa pericolosità relativamente alle frane e alle alluvioni, ma ad alto rischio sismico;
- il periodo di tempo considerato è pari a 5 anni (dal 2018 al 2022) e l'analisi è stata realizzata ad intervalli di 2 anni (t_0 , t_1 e t_2).

L'ipotesi relativa al luogo in cui si trovano gli attori che operano nella *supply chain* è stata resa necessaria dal fatto che la probabilità di accadimento dei rischi esterni cambia in modo sensibile in base alla zona considerata. È stato considerato un arco temporale di 5 anni ad intervalli di 2 anni in quanto, nella precedente applicazione di DSM, erano stati considerati tre iterazioni e quindi tre istanti di tempo. Precisamente, con t_0 si intende l'inizio del primo anno (2018), con t_1 l'inizio del terzo (2020) e con t_2 l'inizio del quinto (2022).

Le probabilità di accadimento dei rischi sono state stabilite in base alla natura degli eventi rischiosi. In particolare, per alcuni rischi è stata ipotizzata una probabilità di accadimento costante nell'arco di tempo considerato, per alcuni una probabilità crescente e per i rimanenti una probabilità decrescente. Le considerazioni eseguite per assegnare le probabilità di accadimento ai rischi sono descritte di seguito.

Rischi con probabilità costante:

- **Disastri naturali (20):** come disastri naturali sono stati considerati quelli relativi ad alluvioni, frane e terremoti. Avendo ipotizzato che gli attori della *supply chain* sono dislocati in zone caratterizzate da bassa pericolosità relativamente alle frane e alle alluvioni, ma in zone altamente sismiche, è possibile supporre che la probabilità di accadimento di tale rischio dipenda unicamente da quella dei terremoti. In base alla mappa di rischio probabilistico fornita dall' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), la probabilità che un forte terremoto con magnitudo > 5.5 colpisca l'Italia entro la fine del 2022 nelle zone ad alto rischio sismico è in media pari al 25% (Migliore, 2016). Pertanto a tale rischio è stata assegnata probabilità di accadimento bassa ($p=0,25$) e costante per il periodo considerato.

- **Attacchi terroristici** (19): in base al sistema di codifica a colori di 4 livelli di rischio (1 Paese innocuo, 4 da evitare) messo a punto dal Dipartimento di Stato Usa, l'Italia si troverebbe nella fascia 2 "gialla" (Paesi in cui bisogna prendere maggiori precauzioni) (Pagliacci, 2017). Per tale ragione a tale rischio è stata assegnata probabilità di accadimento media ($p=0,5$) e costante.
- **Sciopero dei dipendenti** (21): a tale rischio è stata assegnata probabilità di accadimento media ($p=0,5$) e costante negli anni in quanto esso dipende dal clima politico in un determinato periodo di tempo.
- **Furto** (10): la probabilità del rischio legato ai furti non dipende dalle caratteristiche della *supply chain* ma piuttosto è legata alle condizioni sociali di un Paese in un determinato periodo, per questo motivo è stata assegnata probabilità media ($p=0,5$) e costante.

Rischi con probabilità crescente:

- **Guasto del sistema IT** (2) (8) (15): per quanto riguarda il sistema IT dell'azienda, del fornitore di primo livello e del 3PL è stato ipotizzato che tali sistemi siano stati installati al tempo t_0 e che abbiano quindi una probabilità di guasto bassa ($p=0,25$) all'inizio del periodo considerato e crescente nel tempo (da bassa ad alta).

Rischi con probabilità decrescente:

Per i restanti rischi è stata fatta una considerazione di carattere generale basata sul rapporto tra azienda e fornitore. In particolare, la probabilità di accadimento di tali rischi è stata considerata decrescente (da alta a bassa) nell'arco di tempo considerato perché si ritiene che eventi rischiosi quali, per esempio, mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17), mancanza di attrezzature (12), scarse performance dei subfornitori (16), possano verificarsi con elevata probabilità all'inizio della relazione tra un'azienda e i suoi fornitori, ma che la loro probabilità di accadimento possa diminuire con il passare degli anni grazie ad una buona comunicazione tra gli attori interessati e alla maturazione di tale rapporto.

A seguire vengono riportati i risultati delle tre iterazioni e la loro rappresentazione sui diagrammi MICMAC.

Iterazione t_0

A partire dalla matrice delle relazioni dirette riportata in Figura 6.7, ogni valore all'interno delle celle è stato moltiplicato per le probabilità di accadimento dei rischi di Tabella 6.4 in cui le probabilità considerate costanti sono evidenziate in giallo, mentre quelle ipotizzate decrescenti e crescenti sono evidenziate rispettivamente in blu e in verde.

Iterazione t_0		
Rischi		Probabilità di accadimento
Rischi interni all'azienda	1. Arresto della produzione a lungo termine	0,75
	2. Guasto del sistema IT (azienda)	0,25
	3. Arresto della produzione a breve termine	0,75
	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia	0,75
	5. Dipendenza dal fornitore	0,75
	6. Ritardo nella consegna	0,75
Rischi del fornitore di primo livello	7. Arresto della produzione a lungo termine	0,75
	8. Guasto del sistema IT (fornitore)	0,25
	9. Arresto della produzione a breve	0,75
	10. Furto	0,5
	11. Scarsa qualità della consegna	0,75
	12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto	0,75
Rischi del 3PL	13. Reclami	0,75
	14. Scarsa qualità del personale	0,75
	15. Guasto del sistema IT (3PL)	0,25
	16. Scarse performance dei subfornitori	0,75
	17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto	0,75
	18. Carenza di personale	0,75
Rischi esterni	19. Attacchi terroristici	0,5
	20. Disastri naturali	0,25
	21. Sciopero dei dipendenti	0,5

Tabella 6.4 Probabilità dei rischi a t_0

I risultati di tale moltiplicazione sono riportati nella matrice in Figura 6.8 in cui ogni cella contiene il prodotto tra la probabilità di accadimento del rischio i -esimo (in riga) e l'impatto che tale rischio ha sul rischio j -esimo (in colonna).

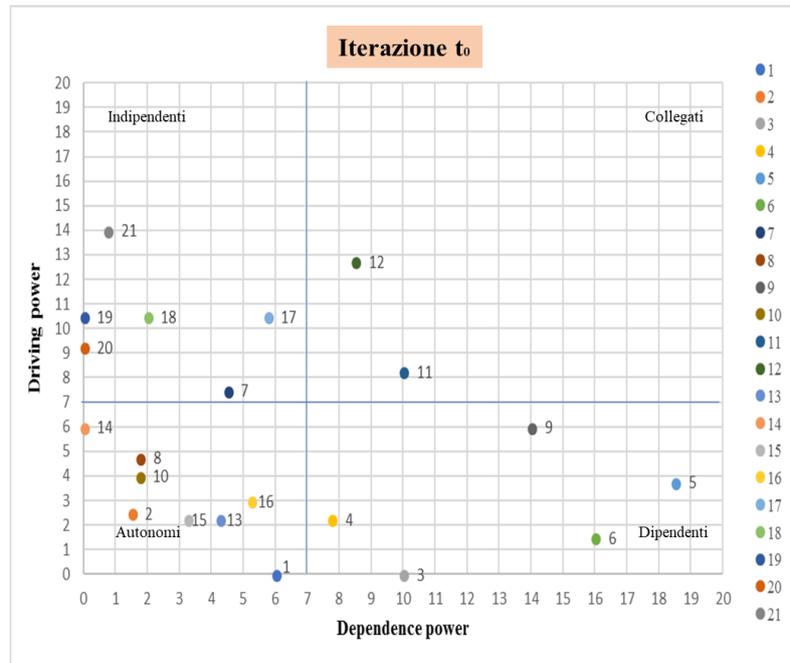
↻	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,75	0	1	0	0	0,5	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1,5	0	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1,5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0,25	0	0,25	1	1	0,75	0	1	0	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,75	3	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1,5	1	0	0	1	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	3	3	0	0	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1,5	3	2,25	0	0	2,25	0,75	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	2,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0	1,5	0	2,25	0	1,5	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,75	0	0	0,25	0	0,25	0,5	0,25	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	3	0	0	0	3	3	0	0	0	0,75
19	1,5	0,5	1,5	1	0	1	1,5	0,5	1,5	0	0	0,5	0	0	0,5	0	0,5	0	0	0	0
20	0,75	0,75	1	0,75	0,25	1	0,75	0,75	1	0,25	0	0,5	0,25	0	0,75	0,25	0,25	0	0	0	0
21	1,5	0	2	0,5	0	1	1,5	0	2	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	2	2	0	0	0

Figura 6.8 Matrice prodotto probabilità * impatto

Successivamente sono stati calcolati *driving* e *dependence power* dei rischi (Figura 6.9 (a)) sommando i valori lungo le righe e lungo le colonne della matrice e sono stati riportati su un diagramma MICMAC (Figura 6.9 (b)). È importante notare che anche in questo caso il significato di *driving* e *dependence power* cambia rispetto ai casi precedenti, ma è comunque una misura dell'importanza dei rischi in quanto, moltiplicando la probabilità di accadimento di un rischio per l'impatto che questo ha sugli altri si ottiene proprio la sua quantificazione.

Iterazione t_0		
Rischi	Dependence power (X)	Driving power (Y)
1	6	0
2	1,5	2,5
3	10	0
4	7,75	2,25
5	18,5	3,75
6	16	1,5
7	4,5	7,5
8	1,75	4,75
9	14	6
10	1,75	4
11	10	8,25
12	8,5	12,75
13	4,25	2,25
14	0	6
15	3,25	2,25
16	5,25	3
17	5,75	10,5
18	2	10,5
19	0	10,5
20	0	9,25
21	0,75	14

(a)



(b)

Figura 6.9 Interazione t_0

La distribuzione dei rischi nel diagramma MICMAC è molto simile a quella ottenuta nell'iterazione di livello 0, ovvero al tempo t_0 , con l'approccio DSM. Tra i rischi indipendenti, oltre ai rischi esterni (19) (20) (21) troviamo il rischio di carenza di personale (18), di mancanza di sufficiente capacità di trasporto (17) e di arresto della produzione a lungo termine (7). Questo potrebbe dipendere dal fatto che a tali rischi è stata assegnata probabilità di accadimento alta al tempo t_0 e quindi, moltiplicando tale valore per l'impatto, il *driving power* di tali rischi, a parità di iterazione, risulta più elevato rispetto a quello ottenuto con l'approccio DSM. Al gruppo dei rischi collegati appartengono il rischio di scarsa qualità della consegna (11) e di mancanza di attrezzature, personale e trasporto (12) mentre tra i rischi dipendenti troviamo il rischio di arresto della produzione a breve termine dell'azienda (3) e del fornitore (9), di variazioni della capacità (4), di dipendenza dal fornitore (5) e di ritardo nella consegna (6). Tutti gli altri rischi appartengono al gruppo dei rischi autonomi che, anche in questo caso, risulta il gruppo più numeroso. Rispetto alla classificazione dei rischi al tempo t_0 ottenuta con il metodo DSM, non si notano miglioramenti significativi, un elevato numero di rischi, anche in questo caso, appartiene al gruppo dei rischi autonomi. Tuttavia, bisogna tenere presente che in questo secondo approccio è stata introdotta una variabile aggiuntiva rispetto al caso precedente, ovvero la probabilità di accadimento dei rischi. Dunque, il fatto che alcuni eventi rischiosi, come ad esempio il rischio di guasto del sistema IT dell'azienda (2), del fornitore (8) e del 3PL (15)

all'istante t_0 vengano classificati come rischi autonomi, è da attribuire alla bassa probabilità di accadimento che è stata assegnata ad essi.

Iterazione t_1

Per valutare come cambia al tempo t_1 la priorità di gestione dei rischi della *supply chain*, l'impatto che ogni rischio ha sugli altri è stato considerato costante e pari ai valori riportati nella matrice delle relazioni dirette (Figura 6.7), mentre le probabilità di accadimento ipotizzate per i rischi al tempo t_1 sono riportate in Tabella 6.5 in cui è stata utilizzata la stessa codifica a colori vista precedentemente per l'iterazione t_0 .

Iterazione t_1		
	Rischi	Probabilità di accadimento
Rischi interni all'azienda	1. Arresto della produzione a lungo termine	0,5
	2. Guasto del sistema IT (azienda)	0,5
	3. Arresto della produzione a breve termine	0,5
	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia	0,5
	5. Dipendenza dal fornitore	0,5
	6. Ritardo nella consegna	0,5
Rischi del fornitore di primo livello	7. Arresto della produzione a lungo termine	0,5
	8. Guasto del sistema IT (fornitore)	0,5
	9. Arresto della produzione a breve	0,5
	10. Furto	0,5
	11. Scarsa qualità della consegna	0,5
	12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto	0,5
Rischi del 3PL	13. Reclami	0,5
	14. Scarsa qualità del personale	0,5
	15. Guasto del sistema IT (3PL)	0,5
	16. Scarse performance dei subfornitori	0,5
	17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto	0,5
	18. Carenza di personale	0,5
Rischi esterni	19. Attacchi terroristici	0,5
	20. Disastri naturali	0,25
	21. Sciopero dei dipendenti	0,5

Tabella 6.5 Probabilità dei rischi a t_1

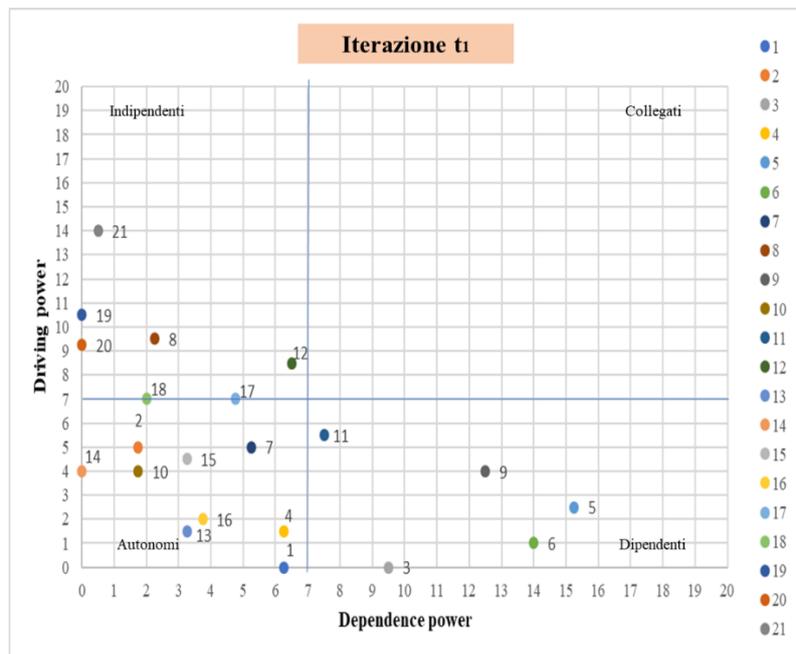
Come per l'iterazione t_0 , anche in questo caso, è stato effettuato il prodotto tra il vettore della probabilità di accadimento dei rischi e la matrice dell'impatto che ogni rischio può avere sugli altri, sono stati calcolati i valori di *driving* e *dependende power* (Figura 6.10 (a)) e sono stati riportati su un diagramma MICMAC (Figura 6.10 (b)). Osservando il diagramma si può notare che, già dall'istate t_1 , la maggior parte dei rischi tendono a spostarsi verso il primo gruppo,

ovvero quello che contiene i rischi autonomi. Tale andamento è dovuto al fatto che la maggior parte dei rischi considerati sono legati al rapporto tra azienda e fornitore, ai quali è stata assegnata probabilità di accadimento decrescente e come conseguenza il loro valore di *driving* e *dependence power* diminuisce con il passare del tempo. Al gruppo dei rischi indipendenti appartengono in questo caso, oltre ai rischi esterni, il rischio di guasto del sistema IT del fornitore (8) e il rischio di mancanza di attrezzature, personale e trasporto (12) che a t_0 era un rischio collegato. A questo stadio non possiamo invece classificare i rischi (17) e (18) in quanto si trovano in corrispondenza della linea di separazione tra il gruppo degli autonomi e degli indipendenti. A tal proposito, anche in questo secondo approccio, per coerenza con la precedente applicazione di DSM, per posizionare le linee di separazione tra i gruppi, è stato scelto il valore medio del minimo tra i valori massimi di *driving* e *dependence power*.

Tra i rischi dipendenti troviamo, oltre a quelli già presenti a t_0 , il rischio di scarsa qualità della consegna (11), mentre il rischio di variazioni della capacità /colli di bottiglia (4) risulta adesso un rischio autonomo. Questo può essere dovuto alla scelta della posizione della linea di separazione tra i gruppi. Infatti, se tali linee fossero state posizionate esattamente ai valori medi di *driving* e *dependence power* (pari in questo caso a 5,05), il rischio (4), così come il rischio (1), sarebbe stato classificato tra i rischi dipendenti e non tra gli autonomi e questo sarebbe stato più verosimile, data l'importanza del rischio legato alla variazione della capacità.

Iterazione t_1		
Rischi	Dependence power (X)	Driving power (Y)
1	6,25	0
2	1,75	5
3	9,5	0
4	6,25	1,5
5	15,25	2,5
6	14	1
7	5,25	5
8	2,25	9,5
9	12,5	4
10	1,75	4
11	7,5	5,5
12	6,5	8,5
13	3,25	1,5
14	0	4
15	3,25	4,5
16	3,75	2
17	4,75	7
18	2	7
19	0	10,5
20	0	9,25
21	0,5	14

(a)



(b)

Figura 6.10 Iterazione t_1

Iterazione t₂

Per quanto riguarda l'iterazione a t₂ sono stati effettuati gli stessi passaggi dei due casi precedenti, considerando le probabilità di accadimento riportate in Tabella 6.6.

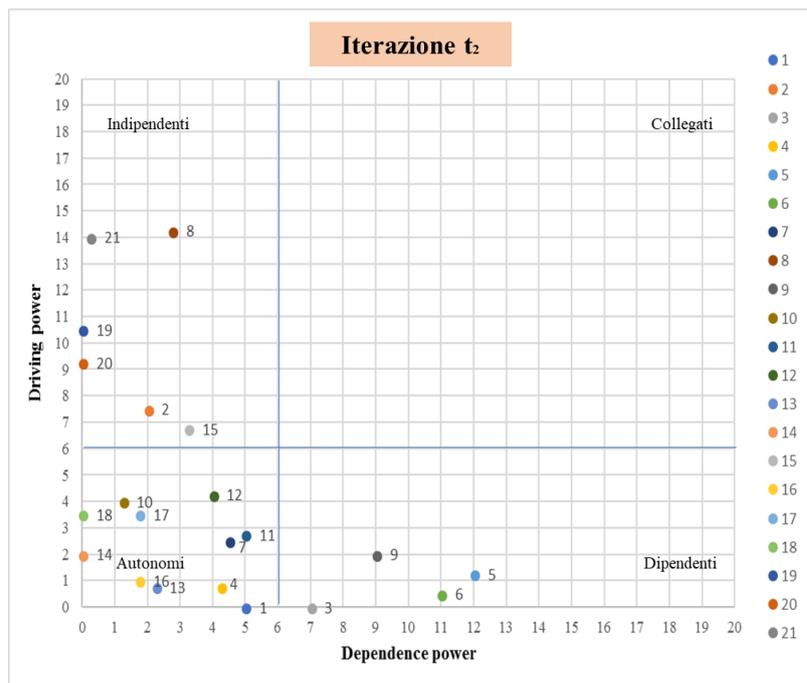
Iterazione t ₂		
Rischi		Probabilità di accadimento
Rischi interni all'azienda	1. Arresto della produzione a lungo termine	0,25
	2. Guasto del sistema IT (azienda)	0,75
	3. Arresto della produzione a breve termine	0,25
	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia	0,25
	5. Dipendenza dal fornitore	0,25
	6. Ritardo nella consegna	0,25
Rischi del fornitore di primo livello	7. Arresto della produzione a lungo termine	0,25
	8. Guasto del sistema IT (fornitore)	0,75
	9. Arresto della produzione a breve	0,25
	10. Furto	0,5
	11. Scarsa qualità della consegna	0,25
	12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto	0,25
Rischi del 3PL	13. Reclami	0,25
	14. Scarsa qualità del personale	0,25
	15. Guasto del sistema IT (3PL)	0,75
	16. Scarse performance dei subfornitori	0,25
	17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto	0,25
	18. Carenza di personale	0,25
Rischi esterni	19. Attacchi terroristici	0,5
	20. Disastri naturali	0,25
	21. Sciopero dei dipendenti	0,5

Tabella 6.6 Probabilità dei rischi a t₂

I valori di *driving* e *dependence power* sono riportati in Figura 6.11 (a) e il diagramma MICMAC in Figura 6.11 (b).

Iterazione t_2		
Rischi	Dependence power (X)	Driving power (Y)
1	5	0
2	2	7,5
3	7	0
4	4,25	0,75
5	12	1,25
6	11	0,5
7	4,5	2,5
8	2,75	14,25
9	9	2
10	1,25	4
11	5	2,75
12	4	4,25
13	2,25	0,75
14	0	2
15	3,25	6,75
16	1,75	1
17	1,75	3,5
18	0	3,5
19	0	10,5
20	0	9,25
21	0,25	14

(a)



(b)

Figura 6.11 Iterazione t_2

In quest'ultima iterazione i rischi indipendenti, con priorità di gestione a t_2 , sono i rischi esterni (19) (20) (21) e i rischi relativi al guasto del sistema IT dell'azienda, del fornitore di primo livello e del 3PL (2) (8) (15). A questi ultimi è stata infatti assegnata probabilità di accadimento crescente da t_0 a t_2 e per questa ragione il valore del loro *driving power* è più elevato rispetto ai due casi precedenti. Il rischio relativo alla scarsa qualità della consegna da parte del fornitore (11), che a t_1 era un rischio dipendente, causato dunque da altri rischi, a t_2 appartiene al gruppo dei rischi autonomi in quanto la sua probabilità di accadimento è diminuita. Lo stesso ragionamento può essere fatto per il rischio di mancanza di attrezzature, personale e trasporto (12) e per i rischi (17) e (18) rispettivamente relativi alla mancanza di sufficiente capacità di trasporto il primo e alla carenza di personale il secondo. È ragionevole pensare che al tempo t_2 tali rischi non debbano avere priorità di gestione, in quanto si presuppone che essi abbiano bassa probabilità di accadimento dopo che il rapporto tra gli attori della *supply chain* è consolidato.

6.3 Confronto tra i due approcci

Nella tabella 6.7 viene riportato il confronto tra i risultati, relativi alla classificazione dei rischi in Autonomi (A), Dipendenti (D), Collegati (C) e Indipendenti (I), per ogni intervallo di tempo considerato, ottenuti applicando DSM e quelli derivanti dal secondo approccio.

Rischi		DSM			p*I		
		t ₀	t ₁	t ₂	t ₀	t ₁	t ₂
Rischi interni all'azienda	1. Arresto della produzione a lungo termine	NC	A	D	A	A	A
	2. Guasto del sistema IT (azienda)	A	A	A	A	A	I
	3. Arresto della produzione a breve termine	D	D	D	D	D	D
	4. Variazioni della capacità/ colli di bottiglia	D	D	D	D	A	A
	5. Dipendenza dal fornitore	D	D	D	D	D	D
	6. Ritardo nella consegna	D	D	D	D	D	D
Rischi del fornitore di primo livello	7. Arresto della produzione a lungo termine	A	A	A	I	A	A
	8. Guasto del sistema IT (fornitore)	I	A	A	A	I	I
	9. Arresto della produzione a breve	D	D	D	D	D	D
	10. Furto	A	A	A	A	D	A
	11. Scarsa qualità della consegna	D	D	A	C	D	A
	12. Mancanza di attrezzature, personale, trasporto	C	A	A	C	I	A
Rischi del 3PL	13. Reclami	A	A	A	A	A	A
	14. Scarsa qualità del personale	A	A	A	A	A	A
	15. Guasto del sistema IT (3PL)	I	I	I	A	A	I
	16. Scarse performance dei subfornitori	A	A	A	A	A	A
	17. Mancanza di sufficiente capacità di trasporto	A	A	A	I	NC	A
	18. Carenza di personale	NC	I	I	I	NC	A
Rischi esterni	19. Attacchi terroristici	I	I	I	I	I	I
	20. Disastri naturali	I	I	I	I	I	I
	21. Sciopero dei dipendenti	I	I	I	I	I	I

Tabella 6.7 Confronto tra i due metodi

Consistendo il secondo approccio, utilizzato per verificare la verosimiglianza dei risultati ottenuti con DSM, semplicemente nella moltiplicazione del vettore probabilità (p) per la matrice dell'impatto (I) di ogni rischio sugli altri, esso è stato indicato nella Tabella 6.7 con dicitura "p*I", mentre con "NC" sono stati indicati quei rischi che nei vari intervalli di tempo non è stato possibile classificare, perché si trovavano in corrispondenza delle linee di separazione tra i gruppi.

Osservando i dati riportati nella Tabella 6.7 si nota che il rischio (1) con il metodo DSM, da t₀ a t₂, passa da non classificato, a rischio autonomo in t₁ fino a diventare dipendente in t₂, mentre con il secondo metodo esso rimane un rischio autonomo nei tre intervalli di tempo considerati. Tali risultati non sono verosimili, infatti, il rischio di arresto della produzione a lungo termine per un'azienda (1) è un rischio che può dare origine a molti rischi sul lato cliente e può portare a perdite economiche sostanziali. Tuttavia, in questa analisi, non sono stati considerati tutti gli attori della *supply chain* e non sono stati presi in considerazione indicatori di performance

dell'azienda, sui quali indubbiamente tale rischio avrebbe avuto un impatto significativo e questo avrebbe influito sul valore del suo *driving power* nel tempo portando, probabilmente, a classificarlo come rischio non autonomo, con entrambi i metodi. Il rischio (2) con il primo metodo rimane un rischio autonomo nei tre intervalli di tempo, mentre con il secondo passa da autonomo, in t_0 e t_1 , a rischio indipendente in t_2 . In questo caso è da preferire il secondo approccio, in quanto è verosimile pensare che il rischio legato al guasto del sistema IT per un'azienda sia meno significativo all'inizio della sua installazione, mentre con il passare del tempo un sistema IT potrebbe richiedere degli aggiornamenti o migrazioni su altri sistemi a causa dell'obsolescenza dello stesso. I rischi (3), (6), (5), (9) nei tre intervalli di tempo considerati, con entrambi i metodi rimangono rischi dipendenti, ovvero il loro *dependence power* è elevato mentre il loro *driving power* mantiene valori bassi. In questo caso tali risultati sono accettabili, infatti, i rischi dipendenti vanno tenuti sotto controllo ma bisogna principalmente risalire alle cause che li hanno generati e agire su di esse. Il rischio (4) con DSM rimane dipendente nei tre intervalli di tempo, mentre con il secondo approccio passa da dipendente ad autonomo in t_1 e t_2 . Il rischio di variazioni della capacità per un'azienda è un rischio da non sottovalutare, e per questa ragione in questo caso è da preferire il risultato ottenuto con DSM. Risultati meno attendibili sono quelli ottenuti con entrambi i metodi per il rischio (7). Infatti, il rischio di arresto della produzione a lungo termine per il fornitore di primo livello non è sicuramente un rischio autonomo e, anche se la sua probabilità di accadimento è stata considerata decrescente nel secondo approccio, esso avrebbe dovuto rientrare almeno tra i rischi dipendenti. Il rischio (8) passa da indipendente ad autonomo con il primo metodo e viceversa con il secondo. È più plausibile il secondo risultato in quanto, come già visto per il rischio (2), il rischio di guasto del sistema IT è più probabile si verifichi con il passare del tempo e che richieda dunque maggiore priorità di gestione a t_2 rispetto a t_0 . Il rischio di furto (10) risulta prevalentemente autonomo nei tre intervalli di tempo e questo può essere verosimile ipotizzando che gli esperti che hanno assegnato le relazioni tra i rischi hanno fatto un ragionamento basato sul fatto che un'azienda adotti delle misure precauzionali contro questo rischio. Il rischio di scarsa qualità della consegna (11) con DSM passa da dipendente in t_0 e t_1 ad autonomo in t_2 , mentre con il secondo approccio passa da collegato in t_0 a dipendente in t_1 fino ad autonomo in t_2 . In questo caso questi risultati possono essere credibili in quanto, come ipotizzato per il secondo approccio, si ritiene che tale rischio abbia una probabilità di accadimento decrescente nel tempo, grazie al consolidamento del rapporto tra gli attori della SC. Lo stesso ragionamento può essere fatto per il rischio di mancanza di attrezzature (12), mentre i rischi (13), (14) e (16) risultano rischi autonomi nei tre intervalli con entrambi i metodi. Questo risultato dipende dallo scarso numero

di relazioni che tali rischi hanno con gli altri considerati per l'analisi. Ad una simile conclusione si può giungere relativamente al rischio (17) che risulta autonomo nei tre intervalli con il primo metodo, mentre con il secondo è indipendente a t_0 , non classificato a t_1 e autonomo a t_2 in quanto è stata assegnata probabilità decrescente nel tempo. Il rischio (18) rimane indipendente con il primo metodo, mentre passa da indipendente in t_0 ad autonomo in t_2 con il secondo metodo. Anche in questo caso sarebbe stato più verosimile se il rischio di carenza di personale fosse stato dipendente o collegato piuttosto che indipendente e autonomo. Risultati plausibili sono invece quelli ottenuti con entrambi i metodi relativamente ai rischi esterni (19), (20), (21) i quali risultano indipendenti nei tre intervalli di tempo considerati. Tali rischi impattano infatti su un elevato numero di eventi rischiosi, ma non viceversa, e questo porta ad elevati valori dei loro *driving power* e bassi valori di *dependence power*.

6.3.1 Limiti dei due approcci

La distribuzione dei rischi sul diagramma MICMAC, ottenuta prima applicando l'approccio DSM e poi considerando il prodotto probabilità * impatto ($p \cdot I$) degli eventi rischiosi, segue un andamento simile in entrambi i casi. In particolare, si nota che la maggior parte dei rischi considerati tendono a convergere verso il primo dei quattro gruppi considerati, che è quello contenente i rischi autonomi. Considerati singolarmente, i rischi che da questa analisi risultano autonomi sono tutti rischi importanti, tuttavia nell'interazione con gli altri rischi della *supply chain* risultano avere un impatto minore e questo porta a bassi valori dei loro *driving* e *dependence power*. Un altro aspetto da tenere in considerazione è che la classificazione dei rischi in autonomi, dipendenti e collegati piuttosto che indipendenti è legata anche alla scelta del valore in cui posizionare la linea di separazione tra i gruppi sul diagramma MICMAC, soprattutto per quei rischi che si trovano in prossimità di tale linea. Tale scelta, come già detto precedentemente, è stata una scelta dettata dal buon senso al fine di non considerare autonomi un numero elevato di rischi.

Nell'approccio DSM, il fatto che da un'iterazione all'altra i rischi tendano ad appartenere al gruppo dei rischi autonomi, è una conseguenza dell'elevazione a potenza della RSM che porta man mano ad ottenere matrici con un numero di zeri crescente. Nel secondo approccio invece, tale tendenza dipende dalla scelta dei valori attribuiti alle probabilità di accadimento dei rischi. Infatti, i rischi considerati con probabilità di accadimento decrescente, con il passare del tempo avranno, a parità di impatto, valori di *driving* e *dependence power* sempre più bassi.

In DSM, attraverso l'elevazione all' n -esima potenza della RSM, che contiene le relazioni dirette tra gli eventi rischiosi, è possibile ottenere le relazioni indirette di ordine superiore, cosa che invece viene a mancare utilizzando il secondo approccio, in cui come matrice di partenza è stata considerata la matrice delle relazioni dirette derivante dall'applicazione da parte di Pfohl *et al.* (2011) alla SC teorica. Al contrario, il secondo approccio fornisce informazioni aggiuntive sulla forza delle relazioni esistenti tra i rischi, ovvero sull'entità dell'impatto che ogni rischio ha sugli altri, mentre la RSM permette solo di visualizzare l'esistenza o meno di tali interrelazioni tramite le relazioni binarie 0-1.

Un altro aspetto da sottolineare è che nel secondo approccio è stata considerata soltanto la "probabilità spontanea" di accadimento dei rischi, ovvero la probabilità che un rischio si verifichi indipendentemente dagli altri, che venga quindi causato da eventi esterni, mentre bisognerebbe considerare anche la "probabilità di transizione", ovvero la probabilità che un generico rischio i si verifichi perché innescato da un altro rischio j , dato che quest'ultimo si è verificato. Ipotizzare tali probabilità di accadimento non è sempre semplice per le aziende a causa della mancanza di dati storici e informazioni.

L'approccio DSM invece, se applicato utilizzando la RSM e non la matrice numerica (RNM), non necessita di ipotesi riguardanti le probabilità di accadimento dei rischi, ma soltanto di opinioni degli esperti riguardo le relazioni esistenti tra gli eventi rischiosi. Inoltre, come già anticipato, DSM permette di individuare i rischi che formano dei cicli all'interno della catena degli eventi rischiosi della *supply chain* e di visualizzare le relazioni indirette, fornendo chiare informazioni sulla loro importanza.

Dunque, l'approccio DSM, utilizzato per la prima volta in questo lavoro di tesi per valutare come cambia nel tempo l'importanza dei rischi che possono verificarsi in una *supply chain* considerando le loro interrelazioni, risulta una tecnica semplice da implementare e non dispendiosa in termini di tempo. Questo perché DSM, per essere implementata, necessita soltanto di un team di esperti del settore che si vuole prendere in considerazione che si occupi di individuare quali rischi possono verificarsi in una SC e che valuti le relazioni esistenti tra essi. Tuttavia, tali valutazioni devono essere condotte con criterio e devono essere chiare e complete per evitare di portare a risultati poco verosimili, come nel caso della SC analizzata in questo lavoro di tesi. Il supporto del diagramma MICMAC, qui per la prima volta associato al metodo DSM, risulta indubbiamente utile nell'iterazione di livello 0, corrispondente all'istante di tempo t_0 in cui viene condotta l'analisi, tuttavia nelle iterazioni successive bisognerebbe provare a mantenere fissi i valori in cui posizionare le linee di separazione tra i gruppi e vedere come cambia la classificazione dei rischi. Inoltre, risulta utile utilizzare DSM nel momento in

cui deve essere analizzato un numero elevato di rischi della SC e si vuole individuare quali di questi formano dei cicli, semplicemente moltiplicando la RSM e vedendo quali rischi presentano valori diversi da zero nella diagonale principale.

Al contrario, l'approccio che considera la probabilità di accadimento dei rischi può risultare maggiormente dispendioso in termini di tempo ed in più, come detto, non sempre le aziende sono in possesso di dati storici per poter fare valutazioni sulla probabilità spontanea dei rischi né tantomeno su quella di transizione. Quindi è da preferire questo secondo approccio nel momento in cui le aziende hanno a disposizione dati consistenti e possono condurre un'analisi dettagliata, mentre DSM può risultare utile nel caso in cui si vuole fare una valutazione dei rischi non legata alle probabilità di accadimento e si vuole adoperare una tecnica veloce ma meno precisa.

Conclusioni

Come conseguenza della crescita della complessità delle *supply chain*, l'entità dei rischi a cui le aziende sono esposte aumenta e le loro interdipendenze creano un "effetto dominio" che si propaga da un rischio all'altro. Le tecniche attualmente utilizzate nel SCRM per la valutazione dei rischi richiedono impiego di tempo e risorse e, in molti casi, necessitano della disponibilità di dati storici. Inoltre, come visto nel Capitolo 2, la maggior parte di esse non prende in considerazione le relazioni esistenti tra i rischi e questo può rendere poco affidabili le valutazioni e di conseguenza poco efficienti le strategie di risposta ai rischi.

Fra i metodi identificati in questo lavoro di tesi, che prestano attenzione alle interdipendenze tra i rischi di una *supply chain*, rientra l'ISM. Nel Capitolo 3 è stato sottolineato come questa tecnica, utilizzata in combinazione al diagramma MICMAC, possa essere uno strumento utile per classificare i rischi sulla base dei loro valori di *driving* e *dependence power*, che dipendono appunto dal numero e/o dall'entità delle relazioni esistenti tra gli eventi rischiosi, in base a se si sceglie di condurre una valutazione qualitativa o quantitativa di tali interrelazioni. Tuttavia, l'ISM restituisce un'immagine statica delle relazioni esistenti tra i rischi e non permette di capire come queste ultime possano modificare l'importanza degli eventi rischiosi nel tempo.

Per fornire una panoramica completa dei metodi utilizzati in letteratura nell'ambito della SC che prendono in considerazione l'interazione tra i rischi, nel Capitolo 4 è stato introdotto il metodo BBN. Quest'ultimo è uno strumento utile a valutare quantitativamente i rischi di una *supply chain*, che cattura l'influenza delle loro interrelazioni ma che fallisce nell'individuare la presenza di eventuali cicli tra i rischi oltre a richiedere l'accesso a dati riguardanti la probabilità di accadimento degli eventi rischiosi e a restituire anch'esso un'immagine statica delle relazioni tra i rischi.

Dall'analisi della letteratura si evince dunque che nessuno dei metodi fino a questo momento utilizzati per la valutazione dell'interazione tra i rischi di una SC prende in considerazione l'aspetto dinamico, ovvero l'evoluzione nel tempo di tali relazioni e le conseguenze in termini di importanza di tali eventi rischiosi. Per questa ragione, nel Capitolo 5, è stato introdotto il metodo DSM che, attraverso la *partitioning analysis*, effettuata tramite l'elevazione all' n -esima potenza della matrice di partenza, sembra essere uno strumento adatto ad analizzare l'interazione nel tempo tra i rischi di una SC, anche se, fino a questo momento, esso è stato utilizzato con lo scopo di valutare le relazioni tra gli elementi di un generico sistema e individuare i cicli formati da essi. Dunque, nel Capitolo 6, DSM e la relativa *partitioning analysis*, sono stati applicati ad una SC teorica con il supporto del diagramma MICMAC per facilitare la classificazione dei rischi in autonomi, dipendenti, collegati o indipendenti.

L'applicazione del metodo richiede una fase preliminare di individuazione dei rischi che possono verificarsi in una SC ma, non avendo a disposizione un caso studio reale a cui fare riferimento, sono stati presi in considerazione gli eventi rischiosi e le relative interrelazioni individuati in una precedente ricerca, condotta da Pfohl *et al.* nel 2011, su una SC teorica. È stato sufficiente effettuare tre iterazioni della RSM di partenza, la matrice binaria in cui l'elemento RSM_{ij} è uguale a 1 quando c'è una relazione tra il rischio R_i e il rischio R_j altrimenti è uguale a 0, per capire l'andamento dei rischi nel tempo. In particolare, osservando i diagrammi MICMAC realizzati per i tre intervalli di tempo considerati, si vede che i rischi tendono ad appartenere al gruppo degli autonomi. Tale esito è risultato verosimile per alcuni dei rischi considerati, mentre per altri esso non è plausibile. Le ragioni di queste conclusioni poco credibili sono da attribuire a vari fattori, tra cui la lista dei rischi da cui far partire l'analisi, la scelta delle relazioni esistenti tra questi e il valore in cui posizionare le linee di separazione tra i quattro gruppi sul diagramma MICMAC. Sempre nel Capitolo 6, i risultati ottenuti con DSM sono stati confrontati con quelli derivanti dall'applicazione di un metodo che considera la probabilità di accadimento dei rischi, oltre all'impatto che ogni rischio può avere sugli altri. Per attribuire le probabilità di accadimento ai vari rischi sono state fatte delle ipotesi, mentre per gli impatti è stata considerata la matrice fuzzy introdotta nel Capitolo 3 ed è stata modificata, utilizzando una scala da 0-4, per ottenere dei risultati confrontabili a quelli ottenuti con DSM. Sono stati considerati tre intervalli di tempo, della durata di due anni ciascuno, e l'andamento generale dei rischi risulta simile al precedente. Tuttavia, anche in questo caso, alcuni risultati non sono verosimili per le stesse ragioni per cui non lo erano quelli ottenuti con DSM.

Sulla base di quanto sopra si potrebbe pensare di considerare una *supply chain* reale, individuarne i rischi e le relative interrelazioni con un gruppo di esperti e applicare DSM, con la relativa *partition analysis*, per verificare se è effettivamente possibile ottenere dei risultati verosimili. Se così fosse, DSM sarebbe uno strumento che potrebbe facilitare le aziende nel valutare le interazioni tra i rischi nel tempo e capire in anticipo a quali di questi dare priorità di gestione, oltre ad essere semplice da utilizzare e di immediata applicazione, a non richiedere l'accesso a dati storici e ipotesi riguardanti le probabilità di accadimento, ma soltanto una valutazione sull'esistenza o meno di una relazione tra i rischi precedentemente individuati.

BIBLIOGRAFIA

- Ahmadi R. H., Roemer T. A., Wang R. H., (2001), "Structuring product development processes," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 130, pp. 539–558.
- Ahmadi R. H., Wang H., (1994), "Rationalizing product design development processes," UCLA Anderson Graduate School of Management, Los Angeles, CA.
- Amornsawadwatana, S. (2003), "Risk management in multi-site concurrent engineering projects", unpublished PhD dissertation, The School of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of New South Wales, Sydney.
- Andersson J., (1999), "On engineering systems design: A simulation and optimization approach," M. E. thesis, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden. applications", available at: www.niedermayer.ca/papers/bayesian/bayes.html (accessed April 15, 2018).
- Aqlan, F. and Lam, S.S. (2015), "Supply chain risk modelling and mitigation", *International Journal of Production Research*, Vol. 53 No. 18, pp. 5640-5656.
- Association for Project Management. 2004. *Project Risk Analysis and Management Guide*. 2nd ed. High Wycombe: APM.
- Austin S., Baldwin A., Li B., Waskett P., (1998), "Development of the ADePT methodology: An interim report on the link IDAC 100 project," Loughborough University, Dept. of Civil and Building Engineering, Loughborough, U. K.
- Austin S., Baldwin A., Newton A., (1996), "A data flow model to plan and manage the building design process," *J. Eng. Des.*, vol. 7, pp. 3–25.
- Aven, T. (2008), "Risk analysis methods", *Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities*, John Wiley and Sons Ltd, West Sussex, pp. 57-84.
- Bayesian networks", *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 29 Issue: 2, pp.238-254, <https://doi.org/10.1108/JEIM-03-2014-0031>.
- Blackhurst, J.V., Scheibe, K.P. and Johnson, D.J. (2008), "Supplier risk assessment and monitoring for the automotive industry", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 38 No. 2, pp. 143-165.
- Bouti, A., and D. A. Kadi. 1994. "A State of the Art Review: Of FMEA/FMECA." *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering* 1 (4): 515–543.
- Breuer, C., Siestrup, G., Haasis, H.-D. and Wildebrand, H. (2013), "Collaborative risk management in sensitive logistics nodes", *Team Performance Management*, Vol. 19 No. 7, pp. 331-351.

- Browning T. R., (1996), "Systematic IPT integration in lean development programs," M.S. thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Browning T. R., (1998), "Modeling and analyzing cost, schedule, and performance in complex
- Browning, T., (2001), "Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration problems: A Review and New Directions", IEEE Transactions on Engineering management, Vol. 48, No. 3.
- Bühler, A., Wallenburg, C.M. and Wieland, A. (2016), "Accounting for external turbulence of logistics organizations via performance measurement systems", Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 21 No. 6, pp. 694-708.
- Cannavò F., Cannata A., Cassisi C., Di Grazia G., Montalto P., Prestifilippo M., Privitera E., Coltelli M., Gambino S., (2017), "A multivariate probabilistic graphical model for real-time volcano monitoring on Mount Etna", Journal of Geophysical Research: Solid Earth.
- Carrascosa M., Eppinger S. D., Whitney D. E., (1998), "Using the design structure matrix to estimate product development time," in Proc. ASME Des. Eng. Tech. Conf. (Design Automation Conf.), Atlanta, GA.
- Carter, C.R., Rogers, D.S., 2008. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 38(5), 360-387.
- Chapman, C. B. & Ward, S. C. C. (2003), "Project Risk Management – Processes, Techniques and Insights", Chichester: John Wiley & Sons.
- Chen, J., Sohal, A.S. and Prajogo, D.I. (2012), "Supply chain operational risk mitigation: a collaborative approach", International Journal of Production Research, doi:10.1080/00207543.2012.727490.
- Chopra, S. and Sodhi, M. (2004), "Managing risk to avoid supply-chain breakdown", MIT Sloan Management Review, Vol. 46 No. 1, pp. 53-61.
- Cinotti, R. 2004. La gestione del rischio nelle organizzazioni sanitarie [Risk Management in Healthcare Organisations]. Rome: Il Pensiero Scientifico Editore.
- Clarkson P. J., Hamilton J. R., (2000), "'Signposting': A parameter-driven task-based model of the design process," Res. Eng. Des., vol. 12, pp.18–38.
- Cocco, G.C. (1992), Inventare il successo. Essere manager innovativo nell'impresa e nella professione, Angeli, Milano.
- Corbetta, P. (1999), Metodologia e tecnica della ricerca sociale, Il Mulino, Bologna.

- Costantinou A., C., Fenton N., E., Neil M., (2012), “pi-football: A Bayesian network model for forecasting Association Football match outcomes. Knowledge-Based Systems.
- Danilovic L.M, (1999), “Leadership and organization of integration in product development,” Ph.D. dissertation, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden.
- Datta, P.P. and Christopher, M.G. (2011), “Information sharing and coordination mechanisms for managing uncertainty in supply chains: a simulation study”, *International Journal of Production Research*, Vol. 49 No. 3, pp. 765-803.
- Davis G. A., (2003), “Bayesian reconstruction of traffic accidents”, *Law, Probability and Risk*, Vol.2, pp. 69-89.
- De Campos L.M., Fernandez-Luna J., Huete F., H., (2004), “Bayesian networks and information retrieval: an introduction to the special issue”, *Information Processing & Management*, Elsevier, Vol. 40, pp.727-733.
- Diabat, A., Govindan, K. and Panicker, V.V. (2012), “Supply chain risk management and its mitigation in a food industry”, *International Journal of Production Research*, Vol. 50 No. 11, pp. 3039-3050.
- Diez F., J., Mira J., Iturralde E., Zubillaga S., (1997), “DIAVAL, a Bayesian expert system for echocardiography”, *Artificial Intelligence in Medicine*, Elsevier, Vol. 10, pp.59-73.
- Eidesen, K., S. J. M. Sollid, and T. Aven. 2009. “Risk Assessment in Critical Care Medicine: A Tool to Assess Patient Safety.” *Journal of Risk Research* 12 (3–4): 281–294.
- Eppinger S. D., (1991), “Model-based approaches to managing concurrent engineering,”
- Eppinger S.D., (2001), “Innovation at the speed of information,” in *Harvard Bus. Rev.*, Vol. 79, pp. 149–158.
- Eppinger, S.D., Whitney, D.E., Smith, R.P., Gebala D.A., (1994), “A Model-Based Method for Organizing Tasks in Product Development”, *Research in Engineering Design*, Vol. 6, pp. 1-13.
- Faisal, M.N., Banwet, D.K. and Shankar, R. (2006), “Supply chain risk mitigation: modeling the enablers”, *Business Process Management Journal*, Vol. 12 No. 4, pp. 535-52.
- Faisal, M.N., Banwet, D.K. and Shankar, R. (2007), “Management of risk in supply chains, SCOR approach and analytic network process”, *Supply Chain Forum: An International Journal*, Vol. 8 No. 2, pp. 66-79.
- Fang C., Marle F., Vidal L.A., (2010), “Modelling risk interactions to reevaluate risks in project management”, paper presented at 12th International Dependency and Structure Modelling Conference, DSM’10, Cambridge, UK.
- Fang C., Marle. F., (2012), “A simulation-based risk network model for decision support in

- Fazleena B., Shuaib M., Wijekoon K., Brown A., Faulkner W., Amundson J., Jawahir I.S., Goldsby T. J., Iyengar D., Boden B., (2014) "Quantitative modeling and analysis of supply chain risks using Bayesian theory", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 25 Issue: 5, pp.631-654.
- Fenton, N., Neil, M. and Caballero, J. (2007), "Using ranked nodes to model qualitative judgment in Bayesian networks", *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 19, No. 10, pp. 1420-1432.
- Flood, R.L. (1989), "Six scenarios for the future of systems problem solving", *Systems Practice*, Vol. 2 No. 1, pp. 75-99.
- Franck, C. (2007), "Framework for supply chain risk management", *Supply Chain Forum: An International Journal*, Vol. 8 No. 2, pp. 2-13.
- Friedman N, Linial M, Nachman I, Pe'er D. (2000), "Using Bayesian network to analyze expression data", *Journal of computational biology: a journal of computational molecular cell biology*, Vol. 7, pp. 601-620.
- Ganguly, K., (2014), "Integration of analytic hierarchy process and dempster-shafer theory for supplier performance measurement considering risk", *Int. J. Prod. Perform. Manag*, Vol. 63, pp. 85-102.
- Garvey, Myles D., Steven Carnovale, Sengun Yenyurtc, (2014), "An analytical framework for supply network risk propagation: A Bayesian network approach", *European Journal of Operational Research*, Elsevier, Vol. 243 (2), pp.618-627.
- Gaudenzi, B. and Borghesi, A. (2006), "Managing risks in the supply chain using the AHP method", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 17 No. 1, pp. 114-136.
- Grimaldi, S. and Rafele, C. (2007), "Project risk management", *Il Project Management-Un approccio sistemico alla gestione dei progetti*, De Agostini Scuola Spa, Novara, pp.319-320.
- Grose D.L., (1994) "Reengineering the aircraft design process," in 5th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symp. on Multidisciplinary Analysis and Optimization, Panama City Beach, FL.
- Hajmohammad, S. and Vachon, S. (2016), "Mitigation, avoidance, or acceptance? Managing supplier sustainability risk", *Journal of Supply Chain Management*, Vol. 52 No. 2, pp. 48-65.
- Hauser, L.M. (2003), "Risk-adjusted supply chain management", *Supply Chain Management Review*, Vol. 7 No. 6, pp. 64-71.

- Hawthorne, R.W. and Sage, A.P. (1975), “On applications of interpretive structural modeling to higher education program planning”, *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 9 No. 1, pp. 31-43.
- Heckerman, D., Geiger, D., & Chickering, D. M. (1995). Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data. *Machine Learning*, 20 (3), 197–243.
- Hillson, D. 2004. *Effective Opportunity Management for Projects. Exploiting Positive Risk*. New York: Marcel Dekker.
- Hoffmann, P., Schiele, H. and Krabbendam, K. (2013), “Uncertainty, supply risk management and their impact on performance”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol.19No.3, pp.199-211.
- Hokstad, P., Røstum, J., Sklet, S., Rosén, L., Pettersson, T.J.R. (2009), *Methods for risk analysis of drinking water systems from source to tap - Guidance report on Risk Analysis*, Chalmers University of Technology
- Hsiao, S. and Liu, E. (2004), “A structural component-based approach for designing product family”, *Computers in Industry*, Vol. 56, pp. 13-28.
- Huang, S.-M., Chang, I.-C., Li, S.-H. and Lin, M.-T. (2004), “Assessing risk in ERP projects: identify and prioritize the factors”, *Industrial Management & Data Systems*, Vol. 104 No. 8, pp. 681-688.
- Hubmann, C., Polke-Markmann, H. and Vanheyden, P. (2018) “Allianz Risk Barometer, Top Business Risks for 2018” Allianz Global Corporate & Specialty SE, Germany, January 2018.
- Huovila, P., Koskela L., Pietiläinen L., Tanhuanpää M V.-P., (1995), “Use of the design structure matrix in construction,” in 3rd Int. Workshop on Lean Construction, Albuquerque, NM.
- Janes, F.R. (1988), “Interpretative structural modeling: a methodology for structuring issues”, *Transactions Institute of Measurement and Control*, Vol. 10 No. 3, pp. 145-54.
- Jharkaria, S. and Shankar, R. (2005), “IT-enablement of supply chains: understanding the barriers”, *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 18 No. 1, pp. 11-27.
- Jiang X., Cooper GF., (2010), “A Bayesian spatio-temporal method for disease outbreak detection. *Journal of the American Medical Informatics Association*, Volume 17, Issue 4, 1 July 2010, Pages 462–471, <https://doi.org/10.1136/jamia.2009.000356>.
- Jüttner, U. (2005), “Supply chain risk management: understanding the business requirements from a practitioner perspective”, *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 16 No. 1, pp. 120-41.

- Jüttner, U., Peck, H. and Christopher, M. (2003), "Supply chain risk management: outlining an agenda for future research", *International Journal of Logistics: Research and Applications*, Vol. 6 No. 4, pp. 197-210.
- Kadane J. B., Schum D. A., (1996), "A Probabilistic Analysis of the Sacco and Vanzetti Evidence", New York: Wiley.
- Kähkönen K., Tanhuanpää V.-P., Leino S., (1997), "Design process analysis, optimization and management—A practical tool for the construction and engineering projects," VTT Building Technology, Finland.
- Kanungo, S., Duda, S. and Srinivas, Y.A. (1999), "A structured model for evaluating information systems effectiveness", *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 16, pp. 495-518.
- Karvanen J., (2014), "Study design in causal models", *Scandinavian Journal of Statistics*, Vol.42, pp.361-377.
- Kayis, B. and Karningsih, P.D. (2012), "A knowledge-based system tool for assisting manufacturing organizations in identifying supply chain risks", *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 23 No. 7, pp. 834-852.
- Kayis, B., Arndt, G., Zhou, M., Savci, S., Khoo, Y.B. and Rispler, A. (2006), "Risk quantification for new product design and development in a concurrent engineering environment", *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 55 No. 1, pp. 147-150.
- Kern D., Moser, R., Hartmann E., Moder M., (2012), "Supply risk management: model development and empirical analysis", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 42 No. 1, pp. 60-82.
- Koskela L., Ballard G., Tanhuanpää V.-P., (1997), "Toward lean design management," in 5th Annu. Conf. of the International Group for Lean Construction (IGLC-5).
- Koumenides C., L., Shadbolt N., R., (2012), "Combining link and content-based information in a Bayesian inference model for entity search. In Proceedings of the 1st Joint International Workshop on Entity-Oriented and Semantic Search.
- Kouvelis, P., Chambers, C. and Wang, H. (2006), "Supply chain management research and production and operations management: review, trends and opportunities", *Production and Operations Management*, Vol. 15 No. 3, pp. 449-69.
- Kusiak A., Wang J., (1993), "Efficient organizing of design activities," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 31, pp. 753–769.

- Lai, G.M., Debo, L.G. and Sycara, K. (2009), "Sharing inventory risk in supply chain: the implication of financial constraint", *Omega: The International Journal of Management Science*, Vol. 37 No. 4, pp. 811-825.
- Lavastre, O., Gunasekaran, A. and Spalanzani, A. (2012), "Supply chain risk management in French companies", *Decision Support Systems*, Vol. 52 No. 4, pp. 828-838.
- Ledet, W. & Himmelblau, D. (1970), "Decomposition procedures for the solving of large scale systems", *Advances in Chemical Engineering*, 8, 185-254.
- Lin, Y. and Zhou, L. (2011), "The impacts of product design changes on supply chain risk: a case study", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 41 No. 2, pp. 162-186.
- Lockamy A., (2011), "Benchmarking supplier risks using Bayesian networks. Benchmarking: An International Journal, Vol.18 Issue:3, pp.409-427, <https://doi.org/10.1108/14635771111137787>.
- MacKenzie, C.A., Santos, J.R. and Barker, K. (2012), "Measuring changes in international production from a disruption: case study of the Japanese earthquake and tsunami", *International Journal of Production Economics*, Vol. 138 No. 2, pp. 293-302.
- Makins B. J., Miller D.W., (2000), "Web-based aerospace system evaluation software: The development and assessment of conceptual space missions," in Proc. 10th Annu. Int. Symp. of INCOSE, Minneapolis, MN, pp. 167–174.
- Maleki, M., Shevtshenko, E. and Cruz-Machado, V. (2013), "Development of supply chain integration model through application of analytic network process and Bayesian network", *International Journal of Integrated Supply Management*, Vol. 8 Nos 1/2/3, pp. 67-89. *J. Eng. Des.*, vol. 2, pp. 283–290.
- Malmström J., Pikosz P., Malmqvist J., (1999), "The complementary roles of IDEF0 and DSM for the modeling of information management processes," *Concurrent Eng.: Res. Applicat.*, vol. 7, pp. 95–103.
- Malone, D.W. (1975), "An introduction to the application of interpretative structural modeling", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62 No. 3, pp. 397-404.
- Mandal, A., Deshmukh, S.G. (1993), "Vendor selection using interpretive structural modeling (ISM)", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.14, pp. 52-61.
- Marle, F. & Vidal, L. (2008), "Potential applications of DSM principles in project risk management", paper presented at the 10th International Design Structure Matrix Conference, DSM'08, Stockholm, Sweden.

- Marle, F., Vidal, L. A., & Bocquet, J. C., (2010), "Interactions-based risk clustering methodologies and algorithms for complex project management", *International Journal of Production Economics*.
- McCord K.R., Eppinger S. D., (1993), "Managing the integration problem in concurrent engineering," MIT Sloan School of Management, Cambridge, MA, Working Paper No. 3594.
- Migliore, C. (2016), "Terremoto: L'Umbria era ad alto rischio entro il 2022 assieme a Friuli, Campania e Calabria", available at: <https://www.3bmeteo.com/giornale-meteo/terremoto-l-umbria-era-ad-alto-rischio-entro-il-2022-assieme-a-friuli--campania-e-calabria-122708> (accessed Maggio 2018).
- Millet, I. and Ewdley, W.C. (2002), "Modelling risk and uncertainty with the analytic hierarchy process", *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, Vol. 11 No. 2, pp. 97-107.
- Morgan, M.G. and Henrion, M. (1990), *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Mullai, A., (2006), "Risk Management System – Risk Assessment Frameworks and Techniques", Turku: DAGOB Publication Series.
- Nepal, B. and Yadav, O.P., (2015), "Bayesian belief network-based framework for sourcing risk analysis during supplier selection", *International Journal of Production Research*, Vol. 53 No. 20, pp. 6114-6135. Nets. Marbella, Spain: Ravenpack International.
- Niedermayer, D. (2003), "An introduction to Bayesian networks and their contemporary applications", available at: www.niedermayer.ca/papers/bayesian/bayes.html (accessed March 25, 2010).
- Norrman, A. and Lindroth, R. (2004), "Categorization of supply chain risk and risk management", in Brindley, C. (Ed.), *Supply Chain Risk*, Ashgate, Aldershot, pp. 14-27.
- Nour M., Scanlan J., (2000), "Modeling and simulating product development process," in Proc. 6th Int. Conf. on Concurrent Enterprising, Toulouse, France, pp. 111–118.
- Oehmen, J., Ziegenbein, A., Alard, R. and Scho ¨nsleben, P. (2009), "System-oriented supply chain risk management", *Production Planning & Control*, Vol. 20 No. 4, pp. 343-361.
- Osborn, A.F. (1967), *L'immaginazione creativa*, Angeli, Milano.
- Osborne S. M., (1993), "Product development cycle time characterization through modeling of process iteration," M.S. thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Pagliacci, F. (2017), "La pericolosità da disastri naturali nell'Italia rurale", available at: <https://agrireunionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/51/la-pericolosita-da-disastri-naturali-nellitalia-rurale> (accessed Maggio 2018).

- Pai, R. R., Kallepalli, V. R., Caudill, R. J., Zhou M., (2003), "Methods toward supply chain risk analysis". In IEEE international conference on systems, man and cybernetics, vol.5, pp.4560–4565.IEEE.
- Park, K., Min, H. and Min, S. (2016), "Inter-relationship among risk taking propensity, supply chain security practices, and supply chain disruption occurrence", *Journal of Purchasing and Supply Management*, Vol. 22 No. 2, pp. 120-130.
- Pfohl, H.-C., Gallus, P. and Kohler, H. (2008), "Risikomanagement in der Supply Chain – Status Quo und Herausforderungen aus Industrie-, Handels- und Dienstleistungsperspektive", in Pfohl, H.-C. (Ed.), *Sicherheit und Risikomanagement in der Supply Chain. Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung*, Deutscher Verkehrs, Hamburg, pp. 95-147.
- Pimpler T. U., Eppinger S. D., "Integration Analysis of Product Decompositions," in Proc. ASME 6th Int. Conf. on Design Theory and Methodology, Minneapolis, MN.
- Pinkett R. D., (1998), "Product development process modeling and analysis digital wireless telephones," S.M. thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Pourret O., Naim P., Marcot B., (2008), "Bayesian networks: A Practical Guide to Applications", Chichester, UK: Wiley.
- Project Management Institute. 2013. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. 5th ed. Newtown Square, PA: PMI.
- Rajesh Attri, Nikhil Dev and Vivek Sharma (2013), "Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An Overview", *Research Journal of Management Sciences*, Vol. 2(2), pp. 3-8.
- Rao, S. and Goldsby, T.J. (2009), "Supply chain risks: a review and typology", *International Journal of Logistics Management*, Vol. 20 No. 1, pp. 97-123.
- Rask I., Sunnersjö S., (1998), "Design structure matrices for the planning of rule-based engineering systems," in Proc. Eur. Conf. on Integration in Manufacturing, Göteborg, Sweden.
- Ravi, V. and Shankar, R. (2004), "Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 72 No. 8, pp. 1011-29.
- Ravi, V., Shankar, R. and Tiwari, M.K. (2005), "Productivity improvement of a computer hardware supply chain", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 54 No. 4, pp. 239-55.
- Rick G. and Ningwei L. (2006), *Interpretive Structural Modeling of Interactive Risks*, Enterprise Risk Management Symposium Chicago, IL.

- Ritchie, B. and Brindley, C. (2007), "An emergent framework for supply chain risk management and performance measurement", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 58 No. 11, pp. 1398-1411.
- Rossing, N.L., Lind, M., Jensen, N. and Jorgensen, S.B. (2010), "A functional HAZOP methodology", *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 34 No. 2, pp. 244-253.
- Rushton G. J., Zakarian A., (2000), "Modular vehicle architectures: A systems approach," in 10th Annu. Int. Symp. of INCOSE, Minneapolis, MN, pp. 29–35.
- Saaty, T. (1980), "The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation", McGraw-Hill.
- Sage, A.P. (1977), *Interpretive Structural Modeling: Methodology for Large-Scale Systems*, McGraw-Hill, New York, NY, pp. 91-164.
- Samvedi, A., Jain, V. and Chan, F.T.S. (2012), "Quantifying risks in a supply chain through integration of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS", *International Journal of Production Research*, doi:10.1080/00207543.2012.741330.
- Sarker, S., Engwall, M., Trucco, P. and Feldmann, A. (2016), "Internal visibility of external supplier risks and the dynamics of risk management silos", *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 63 No. 4, pp. 451-461.
- Satyendra S., Srikanta R., (2016) "Modeling information risk in supply chain using Bayesian networks", *Journal of Enterprise Information Management*, Vol. 29 Issue: 2, pp.238-254, <https://doi.org/10.1108/JEIM-03-2014-0031>
- Saxena, J.P., Sushil, J. and Vrat, P. (1992), "Hierarchy and classification of program plan elements using interpretive structural modeling: a case study of energy conservation in the Indian cement industry", *Systems Practice*, Vol. 5 No. 6, pp. 651-70.
- Scheller-Wolf, A. and Tayur, S. (2009), "Risk sharing in supply chains using order bands-analytical results and managerial insights", *International Journal of Production Economics*, Vol. 121 No. 2, pp. 715-727.
- Sequeira M.W., (1991), "Use of the design structure matrix in the improvement of an automobile development process," M.S. thesis, MIT, Cambridge, MA.
- Sherwin, M.D., Medal, H., Lapp, S.A., 2016. Proactive cost-effective identification and mitigation of supply delay risks in a low volume high value supply chain using fault-tree analysis. *Int. J.Prod. Econ.* 175, 152-163.
- Silpa Sagheer, and Surendra S. Yadav, S.G. Deshmukh, (2009) "An application of interpretative structural modeling of the compliance to food standards", *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 58 Issue: 2, pp.136-159.

- Sinha, P.R., Whitman, L.E. and Malzahn, D. (2004), "Methodology to mitigate supplier risk in an aerospace supply chain", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 9 No. 2, pp. 154-168.
- Smith R.P., (1997), "A predictive model of sequential iteration in engineering design," *Manage. Sci.*, vol. 43, pp. 1104–1120.
- Smith R.P., Eppinger S. D., (1997), "Identifying controlling features of engineering design iteration," *Manage. Sci.*, vol. 43, pp. 276–293.
- Steward, D.V. *The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems*. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 28, pp. 71-74, 1981.
- Supply Chain Council (2008), "Supply Chain Operations Reference Model v. 9.0, available at: www.supply-chain.org (accessed May 18, 2018).
- Svensson, G. (2000), "A conceptual framework for the analysis of vulnerability in supply chains", *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 No. 9, pp. 731-49.
- Trucco P., Cagno E., Ruggeri F., Grande O., (2008), "A Bayesian Belief Network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation", *Reliability Engineering & System Safety*.
- Tsai, M.C., Liao, C.H. and Han, C.S. (2008), "Risk perception on logistics outsourcing of retail chains: model development and empirical verification in Taiwan", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 13 No. 6, pp. 415-424.
- Tummala, R. and Schoenherr, T. (2011), "Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP)", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 16 No. 6, pp. 474-483.
- Uebersax J., (2004), *Genetic Counseling and Cancer Risk Modeling: An Application of Bayes Nets*. Marbella, Spain: Ravenpack International.
- Ulrich K. T., Eppinger S. D., (2000), "Product Design and Development, Second ed. New York: McGraw-Hill.
- Venkatesh, V.G., Rathi, S. and Patwa, S. (2015), "Analysis on supply chain risks in Indian apparel retail chains and proposal of risk prioritization model using interpretive structural modeling", *Journal of Retailing and Consumer Services*, Vol. 26, pp. 153-167.
- Vilko, Jyri. 2012. *Approaches to Supply chain Risk management: identification, analysis and control*. Lappeenranta University of Technology.
- Warfield, J. (1976), "Implication structures for system interconnection matrices", *Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 6 No. 1, pp. 18-24.

- Warfield, John N. (1973), "Binary Matrices in System Modeling" IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 3, pp. 441-449.
- Yen B., P., C., Zeng B., (2010), "A hierarchical assessment method using Bayesian network
- Yiyi Fan, Mark Stevenson, (2018) "A review of supply chain risk management: definition, theory, and research agenda", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 48 Issue: 3, pp.205-230.
- Zsidisin, G., Ellram, L.M., Carter, J.R. and Cavinato, J.L. (2004), "An analysis of supply risk assessment techniques", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34 No. 5, pp. 397-413.
- Zsidisin, G.A. (2003), "A grounded definition of supply risk", Journal of Purchasing and Supply Management, Vol. 9 No. 5, pp. 217-224.
- Zsidisin, G.A., Ellram, L.M., Carter, J.R. and Cavinato, J.L. (2004), "An analysis of supply risk assessment techniques", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 34 No. 5, pp. 397-413.