



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea triennale in

ECONOMIA E COMMERCIO

L-33 – Laurea in Scienze economiche

**SUPPLY CHAIN REVOLUTION INDOTTA
DALL’EMERGENZA PANDEMICA**

**SUPPLY CHAIN REVOLUTION INDUCED
BY THE PANDEMIC EMERGENCY**

Relatore:

Prof. Aldo Bellagamba

Rapporto Finale di:

Giovanni Genovali

Anno Accademico 2019/2020

INDICE	
INTRODUZIONE	3
1 - SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	5
1.1 – BUISNESS PROCESS	8
1.2 – MANAGEMENT COMPONENTS	9
1.3 - SUPPLY CHAIN STRUCTURE.....	11
2 - LE RIPERCUSSIONI DEL COVID-19 SULLA SUPPLY CHAIN	12
2.1 – BULLWHIP EFFECT	13
2.2 - RIPPLE EFFECT.....	14
2.3 - DINAMICHE STRUTTURALI	17
2.3.1-ANTICIPATION AND EARLY DETECTION	18
2.3.2-CONTAINMENT	19
2.3.3-CONTROL AND MITIGATION	19
2.3.4-ELIMINATION O ERADICATION	19
3 - RESILIENZA DELLA SUPPLY CHAIN	20
3.1 - RESILIENTE SC DESIGN	24
3.2 - FRAMEWORK LOW-CERTAINTY-NEED (LCN) SUPPLY CHAIN	29
3.2.1-VARIETA' E SEMPLIFICAZIONE STRUTTURALE	30
3.2.2-PROCESSI E RISORSE FLESSIBILI	31
3.2.3-PARAMETRIC REDUNDACY EFFICIENTE.....	32
3.3-DIGITAL SUPPLY CHAIN TWIN.....	32
CONCLUSIONI	38
BIBLIOGRAFIA	40
SITOGRAFIA	43

INTRODUZIONE

Il 2020 è stato caratterizzato dalla pandemia COVID-19 che ha determinato lockdown generalizzati a livello mondiale: ciò ha creato significative incertezze in tutti i settori. Questo grande disagio ha fatto scaturire nella supply chain delle fragilità impreviste e senza precedenti. Nel presente elaborato si vuole offrire un quadro di come la pandemia abbia sollevato incertezze all'interno delle supply chains, le quali erano lodate per la loro efficienza. Durante la pandemia sono sorte numerose domande: la resilienza sarà premiata rispetto all'efficienza? Pertanto ci si aspetterà un cambio di rotta dal “design-for-efficiency” verso il “design-for-resilience”? Come la pandemia ha influito sulla struttura della supply chain? Su quali fattori le supply chain resilienti potranno fare affidamento?

Si analizzeranno le insofferenze subite dai sistemi di supply chain, gli interventi per il ripristino delle stesse e le conseguenze che si avranno sulle catene di approvvigionamento a fine pandemia. L'elaborato si suddividerà in tre sezioni. Nella prima verrà definita e analizzata la struttura della supply chain, andando ad identificare le singole componenti. Nella seconda sezione verranno analizzati i problemi che hanno caratterizzato la supply chain durante la pandemia, evidenziando la ripple effect e il bullwhip effect. Ci soffermeremo solamente sull'analisi del rischio di propagazione dell'interruzione, ovvero il ripple effect.

Osserveremo i rischi derivanti da eventuali interruzioni scaturite da pandemie o catastrofi naturali, in quanto la comunità scientifica ritiene altamente probabile che in futuro possano insorgere nuovamente gravi focolai di malattie.

Le interruzioni prodotte dal COVID-19 hanno caratteristiche differenti rispetto ad interruzioni causate dalla natura o dall'uomo, per questo ne analizzeremo gli effetti sulle strutture della SC nelle varie fasi della pandemia.

Nella terza e ultima sezione verrà esaminata la tematica del come poter intervenire sulle supply chain per poter far fronte a future interruzioni all'interno dei network di supply chain. Questi interventi possono riguardare sia fattori della SC, che possono determinare un'implementazione della resilienza e della robustezza della catena, sia modelli che possano dare stabilità e resilienza alla rete come: low certainty need supply chain. Si può anche intervenire tramite lo sviluppo di tecnologie digitali in grado di prevedere un'interruzione e i relativi effetti scaturibili dalla stessa. La soluzione della digital supply chain twin potrebbe rappresentare un sistema che sarebbe in grado di supportare gli operatori delle supply chain.

1 - SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Con l'espressione supply chain management ci si riferisce a tutte le imprese che producono o commercializzano prodotti, servizi, informazioni ed eventi.

SCM è un network globale di imprese che cooperano per migliorare il flusso di materiali e di informazioni tra il fornitore e il cliente con il minor costo e la maggior velocità (GOVIL, PROTH,2002).

Tale approccio in esame coinvolge un insieme di imprese lungo tutta la filiera dai fornitori dei fornitori, fino ad arrivare alle imprese al dettaglio e al cliente finale.

Al momento non esiste una definizione univoca di "supply chain management", in quanto si tratta di un sistema recente di metodologie gestionali per la gestione della catena di approvvigionamento.

I primi a parlare di SCM furono due studiosi, Oliver e Webber (1982), nell'opera "Supply chain management: logistics catches up with strategy", nella quale il termine veniva utilizzato per parlare della gestione del magazzino e delle scorte nell'ambito della catena di approvvigionamento delle materie prime e di consegna del prodotto finito.

Un'altra definizione, formulata da "The International Center for Competitive Excellence" nel 1994 e usata da Cooper, Lambert e Pagh (1997) afferma che: Supply Chain Management è l'integrazione di un processo aziendale dall'utilizzatore finale attraverso il produttore iniziale di prodotti, servizi e

informazioni che aggiunge valore per il cliente. Supply chain non è solo un altro nome per definire la logistica. Essa include elementi che tipicamente non troviamo all'interno della definizione di logistica, come il sistema di informazioni integrato, il piano di coordinamento e controllo attività.

L'impresa non opera isolatamente, ma opera all'interno di una rete di imprese (supply network), che si occupano di fasi produttive e di attività diverse lungo la filiera produttiva di un prodotto. Osservando la rete nelle sue singole componenti possiamo distinguere due diverse reti:

- Network a monte (upstream supply network o supplier network): esso è costituito dai fornitori di beni, servizi e informazioni dell'impresa.

All'interno di questa rete vengono compresi tutti i fornitori dei fornitori fino ai produttori delle materie prime, ossia il punto di origine della rete.

- Network a valle (downstream supply network o demand network): esso è costituito dai clienti diretti dell'impresa fino ad arrivare al consumatore finale, ovvero il punto di consumo finale oltre il quale i beni non vengono più modificati.

Come si evince dalla Figure 1, i fornitori come anche i clienti vengono suddivisi in 1° e 2° livello, determinando in questo modo i fornitori diretti dell'impresa centrale (1° livello) e i fornitori dei fornitori (2° livello); in ugual modo vengono identificati i clienti.

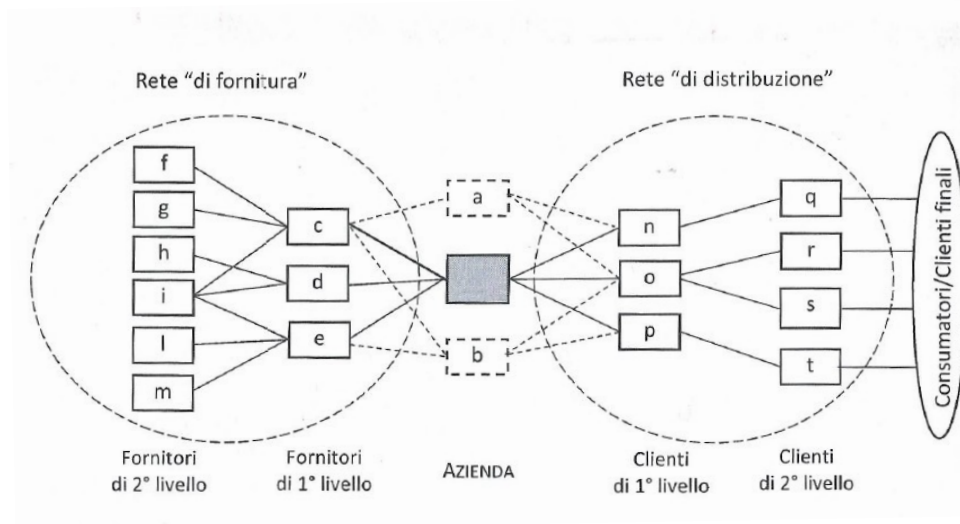


Figure 1 - supply chain (Silvestrelli & Bellagamba, 2017)

I fornitori e i clienti a contatto con l'impresa centrale formano il "network immediato", mentre il "network globale" identifica tutte le imprese, dal produttore di materie prime fino al cliente finale.

Cooper, Lambert e Pagh mettono in relazioni tre elementi fondamentali su cui si costituisce la Supply Chain Management, identificati in:

- Business processes;
- Management components;
- Supply Chain Structure;

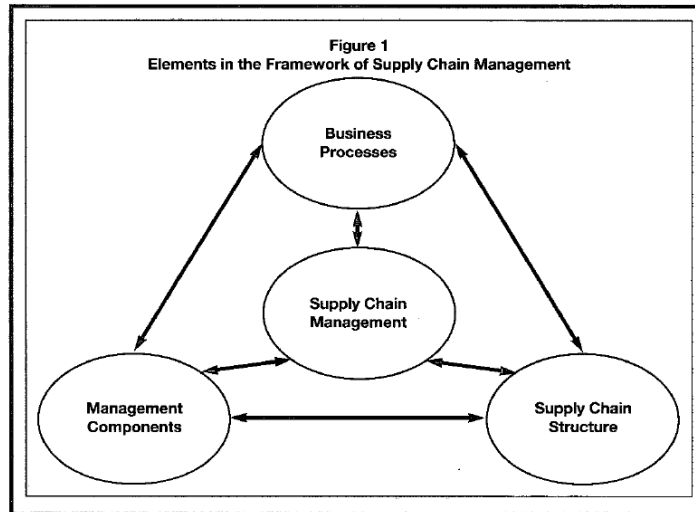


Figure 2 - modello di Cooper, Lambert e Pagh

1.1 – BUSINESS PROCESS

La Supply Chain è costituita da diversi processi critici che si estendono oltre i confini dell'azienda, integrando al suo interno tutti quelli che si hanno dal punto di origine fino al punto di consumo. Daveport definisce i processi “un insieme strutturato e misurato di attività progettate per produrre un output specifico per un particolare cliente o lavoro”. Questi processi operativi sono fonte di creazione di valore per il cliente. I processi coinvolti sono: gestione delle relazioni con i clienti, gestione del servizio ai clienti, la gestione della domanda, l'evasione degli ordini, la gestione del flusso produttivo, l'approvvigionamento, lo sviluppo prodotto/commercializzazione e logistica inversa (Cooper, Lamber, & Pagh, 1997).

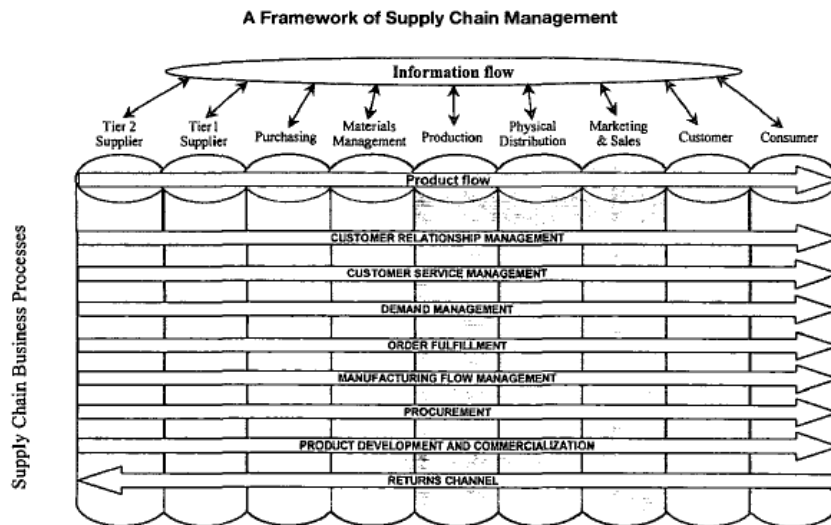


Figure 3 - processi della supply chain management

1.2 – MANAGEMENT COMPONENTS

Una premessa essenziale alla base del framework SCM è che ci sono alcuni componenti di gestione, comuni a tutti i processi aziendali e ai membri della catena di fornitura. La gestione di questi componenti comuni è importante, poiché essi determinano come vengono gestiti e strutturati i processi aziendali, e quindi la catena di fornitura.

I componenti chiave della supply chain management coprono tutti gli aspetti della catena andando dall'aspetto strategico fino a quello operativo, dal flusso fisico fino al flusso informativo, dalle strutture tangibili alle strutture organizzative. Occorre perciò che si riprogetti la catena di approvvigionamento e che si applichi questa

nuova concezione di gestione della catena, con un'ottica di un'attività multidimensionale e che si rivolga a tutti i componenti della SCM.

I componenti chiave sopra citati che occorre osservare con attenzione sono:

- planning and control: sono operazioni fondamentali per indirizzare l'organizzazione o una SC nella direzione desiderata.
- Work structure: la struttura del lavoro e identifica le modalità di svolgimento delle attività di impresa.
- Organization structure: livello di integrazione dei processi lungo la catena di approvvigionamento.
- Product flow facility structure: si riferisce alla struttura di rete di approvvigionamento, di produzione e la distribuzione lungo la catena di approvvigionamento.
- Information flow facility structure: fa riferimento al flusso e al tipo di informazioni trasmesse all'interno della SC e la relativa frequenza di trasmissione delle informazioni la quale ha un forte impatto sull'efficienza della supply chain.
- Product strutture: ci si riferisce al portafoglio di prodotti e al coordinamento per lo sviluppo di nuovi prodotti all'interno della network.
- Management methos: includono la filosofia aziendale e le tecniche di gestione.

- Power and leadership structure: la presenza di un leader all'interno della catena influenzerà e guiderà la direzione della stessa.
- Risk and reward structure: l'anticipazione e la condivisione dei rischi e dei benefici influisce sull'impegno dei membri del canale.
- Culture and attitude: la cultura aziendale è un fattore rilevante e renderla compatibile con quelle dei membri del canale richiede tempo ma è necessario affinché il canale funzioni come una catena.

I primi sei fattori descritti hanno un impatto più evidente e sono anche facilmente misurabili in termini di impatto diretto sulla SC. Mentre i restanti quattro sono meno visibili e difficilmente misurabili ma hanno un grande impatto sul successo dell'organizzazione della SC.

1.3 - SUPPLY CHAIN STRUCTURE

Come già descritto in precedenza e illustrato nella Figure 1 la catena di approvvigionamento è costituita da diversi fornitori e clienti nei diversi livelli che vanno a costituire il network della supply chain. I componenti critici della catena potrebbero richiedere una attenzione maggiore per scongiurare il rischio di chiusura della linea di produzione. All'interno della catena le aziende dovranno perciò scegliere i livelli di partnership più appropriati per particolari collegamenti della SC. Non tutti gli anelli della catena necessiteranno di una relazione strettamente coordinata e integrata. Pertanto, si instaureranno rapporti di partnership solamente

con fornitori o clienti chiave. Ciò dovrà essere analizzato da parte del management, il quale dovrà tenere conto dell'importanza dell'azienda e delle capacità della stessa.

2 - LE RIPERCUSSIONI DEL COVID-19 SULLA SUPPLY CHAIN

Alla fine del 2019 è stato segnalato per la prima volta il COVID-19 che ha afflitto il pianeta per tutto il 2020 e contro il quale ancora oggi stiamo lottando. La pandemia ha determinato significativi problemi in tutti i settori della vita quotidiana, portando alla luce delle fragilità imprevedute e senza precedenti. Questo vale anche per la supply chain, la quale non è uscita indenne da tale vicenda. Le SC hanno manifestato vulnerabilità sotto il profilo dei tempi di consegna e quantità di ordini determinato dalle interruzioni nelle strutture di rete e nelle fluttuazioni della domanda (Ivanov e Dolgui, 2020). La pandemia ha messo sotto pressione le SC sotto il profilo della robustezza (capacità di resistere), la flessibilità (capacità di adattarsi) e recupero (capacità di ripristinare la situazione iniziale), sottolineando l'importanza della resilienza nella gestione delle SC (Dmitry Ivanov, 2020).

I rischi che possono scaturire dalla supply chain (SC) sono molteplici e possono distinguersi in rischi operativi e rischi di interruzione. Tra i primi troviamo i disturbi quotidiani come i tempi di consegna e le fluttuazioni della domanda, mentre i secondi riguardano eventi a bassa frequenza ma che hanno un grosso impatto sulla SC (Dmitry Ivanov,2020). I due principali problemi riscontrati durante la pandemia

covid-19 sono rispettivamente Bullwhip e Ripple effect. Sia bullwhip che ripple effect appartengono ai rischi sistematici della supply chain che trattano fluttuazioni correlate, tuttavia hanno origini differenti.

- Bullwhip viene innescato da una fluttuazione della domanda che comporta una variazione via via crescente degli ordini e della richiesta di approvvigionamento di scorte che si propaga da valle fino a monte.
- Ripple Effect è una propagazione di una grave interruzione lungo il network della supply chain.

2.1 – BULLWHIP EFFECT

L'effetto bullwhip (effetto Forrester) denota il fenomeno in cui la variabilità della domanda è amplificata a monte della SC. BWE può creare inefficienze della rete esempio scorte eccessive, produzione o pianificazione errata della capacità, le quali si ripercuoteranno sulle imprese del network. Le cause che comportano il BWE possono catalogarsi in: cause comportamentali e operative. Tra le comportamentali distinguiamo la limitata razionalità dei decisori mentre quelle operative sono conseguenza di reazioni razionali a fattori ben percepiti.

La letteratura ha distinti 5 possibili cause operative del BWE: aggiornamento delle previsioni della domanda, lead-time diverso da zero, lotto degli ordini, fluttuazione dei prezzi e razionamento e shortage gaming.

Gli effetti della variazione della quantità degli ordini vengono amplificati con lead-time più lunghi e con più intermediari nella SC, in quanto il livello di inventario aumenta con il lead time e ogni intermediario aggiunge buffer di sicurezza (Zhu, Balakrishnan, & Silveira, 2020).

Inoltre, anche la fluttuazione dei prezzi (generati da sconti, promozioni, coupon ecc.) in concomitanza con accordi commerciali con distributori e grossisti aumenta l'effetto bullwhip. Il risultato di queste promozioni è che i clienti acquistano quantità che non riflettono la reale esigenza, in quanto acquistano in quantità maggiori e fanno scorte. Si avrà perciò un modello che non riflette il reale consumo e la variazione delle quantità di acquisto è ampia, ciò può creare l'effetto Forrester (Lee, Padmanabhan, & Whang, 1997).

2.2 - RIPPLE EFFECT

La gestione delle interruzioni delle SC è diventata un campo di ricerca negli ultimi due decenni e la pandemia rappresenta un caso speciale di rischio per le SC che si distingue per tre componenti differenti rispetto agli altri eventi di interruzione:

- I. Il perdurare dell'evento, che scaturisce l'interruzione, nel lungo periodo e la sua imprevedibilità;
- II. Concomitanza della propagazione dell'interruzione lungo il network SC (effetto a catena) e la propagazione dell'epidemia nella popolazione;

III. Interruzione simultanea di domanda, offerta e delle infrastrutture logistiche (D. Ivanov, 2020).

Le interruzioni sono considerate eventi ad alto impatto e bassa frequenza (incendi, terremoti...) nella catena di approvvigionamento, che modificano il design strutturale dell'SC e incidono in modo notevole sulle prestazioni (D. Ivanov, 2019). La diffusione di un'interruzione operativa oltre la sua origine e attraverso l'intero network è definita Ripple Effect (Garvey, Carnovale, & Yeniyurt, 2015) o nota anche come propagazione dell'interruzione. In un rapporto cliente-fornitore, un'interruzione può diffondersi da un fornitore ad un acquirente e viceversa, da un acquirente ad un fornitore, può perciò avvenire lungo il flusso dei materiali (forward disruption propagation) così come in direzione opposta (backward disruption propagation).

- FORWARD DISRUPTION PROPAGATION: la propagazione in avanti si riferisce alla diffusione dell'interruzione dal fornitore all'acquirente.

La probabilità di diffusione dell'interruzione del fornitore al tempo t verso l'acquirente al tempo $t+1$ viene definita tasso di diffusione (Yuhong, Christopher, & Zobel, 2020). La forward disruption propagation è una probabilità poiché l'interruzione di un'impresa potrebbe non influire nei confronti di un'altra impresa. Ad esempio, Fiat Chrysler Automobiles NV ha interrotto la produzione in uno stabilimento di automobili in Serbia a

causa dell'impossibilità di ricevere componenti dalla Cina, impedimento legato alla pandemia di coronavirus (Massaro, 2020).

I fattori che influenzano la diffusione e quindi il tasso di diffusione sono:

- La natura dell'interruzione del fornitore;
- La dipendenza dell'acquirente dal fornitore;
- La capacità di resilienza dell'acquirente (Yuhong, Christopher, & Zobel, 2020).

- **BACKWARD DISRUPTION PROPAGATION:** la propagazione all'indietro si riferisce alla diffusione dell'interruzione dall'acquirente al fornitore. Quando l'acquirente subisce un'interruzione il fornitore può sospendere le sue operazioni per evitare di produrre troppe scorte. Ad esempio, nel 2011 un'alluvione in Thailandia ha causato un'interruzione per HP e Dell, anche le operazioni di Intel che è fornitore di HP e Dell sono state interrotte a causa della diminuzione della domanda (Yuhong Li, 2020). Anche in questo il tasso di diffusione della perturbazione può essere influenzato da alcuni fattori:

- Natura dell'interruzione, ovvero intensità, gravità e la durata dell'interruzione;
- Dipendenza del fornitore dall'acquirente, in quanto se il fornitore è fortemente dipendente dall'acquirente si avrà un alto tasso di diffusione dell'interruzione.

- La resilienza del fornitore, maggiore sarà la capacità di resilienza del fornitore e minore sarà la probabilità di diffusione dell'interruzione dell'acquirente.

Le propagazioni all'indietro ed in avanti si differenziano sotto due aspetti fondamentali. I fattori che la SC usa per contrastare le due modalità di propagazione sono differenti. La capacità di resilienza delle SC per contrastare le propagazioni all'indietro delle interruzioni si basano principalmente sul suo funzionamento e sulla flessibilità di distribuzione, mentre per quanto riguarda quelle in avanti la capacità di resilienza si fonda sulla disponibilità di risorse sostitutive (Li, Chen, Collignon, & Ivanov, 2020).

2.3 - DINAMICHE STRUTTURALI

Per verificare le dinamiche strutturali derivanti dagli shock delle interruzioni possiamo suddividere il corso della pandemia secondo cinque fasi (anticipation, early detection, containment, control and mitigation, elimination), fasi delineate dall'organizzazione mondiale della sanità (OMS). Questo ci permette di verificare cosa succede alle supply chain durante il decorso della pandemia.

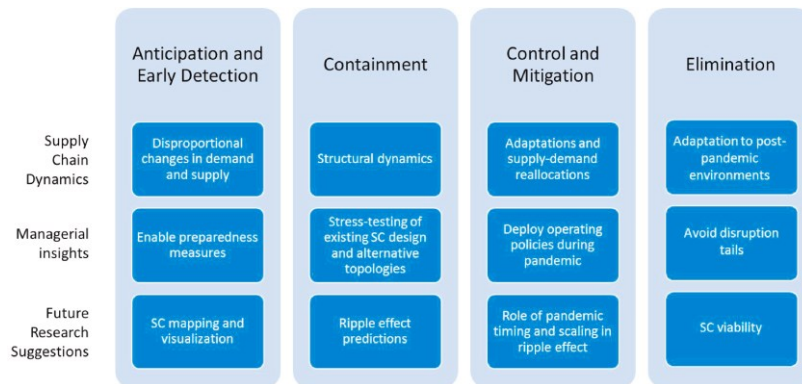


Figura 1 - riepilogo dinamiche della supply chain (Ivanov & Dolgui, 2020)

2.3.1-ANTICIPATION AND EARLY DETECTION

In questa prima fase la pandemia non può essere prevista ma può essere anticipata, per questo le SC dovrebbe essere consapevoli e quindi anticipare la pandemia tramite misure di preparazione. Un esempio, identificare scenari critici di propagazioni dell'interruzione in base alle dinamiche dell'epidemia e prevedere l'impatto delle possibili interruzioni e della eventuale propagazione lungo la rete della SC. Durante questa fase occorrerà prevedere anche il periodo di tempo durante la quale le SC possono sostenere la propagazione delle interruzioni e sopravvivere nonostante la discontinuità dell'approvvigionamento, identificare i fornitori e le strutture critiche per mantenere le operazioni delle SC.

2.3.2-CONTAINMENT

In questa fase si assiste ad un'attuazione di operazioni atte al contenimento del virus. L'ambiente diventa pertanto sempre più vulnerabile a seguito di periodi di quarantena, lockdown ed interruzioni della logistica in diverse aree geografiche.

Le SC si troveranno ad affrontare squilibri della domanda e dell'offerta dovuti a lunghi tempi di consegna, calo della domanda e indisponibilità della fornitura a causa della chiusura degli impianti industriali.

2.3.3-CONTROL AND MITIGATION

La malattia infettiva ha raggiunto il livello pandemico, l'obiettivo è mitigare l'impatto e ridurre l'incidenza sulle interruzioni delle SC. Le SC dovranno adattarsi a una nuova normalità e iniziare a prepararsi per il recupero. Poiché le SC si trovano sbilanciate a causa della pandemia, si rende complicato decidere a quale livello di capacità le imprese dovranno produrre.

Un ulteriore problema è la considerazione delle scorte arretrate durante il tempo di interruzione, che potrebbe diventare un'importante driver di interruzione della propagazione durante la fase di rilancio delle attività di produzione e logistica.

2.3.4-ELIMINATION O ERADICATION

In questa fase la malattia non è più considerata un grave problema di salute pubblica. Uscire da una pandemia può essere complicato, in quanto le SC dovranno adattarsi alle nuove realtà post-pandemiche.

3 - RESILIENZA DELLA SUPPLY CHAIN

Come riportano gli scienziati, future pandemie emergeranno più spesso, si potrebbero diffondere più rapidamente ed essere più mortali del COVID-19, portando gravi problemi all'economia mondiale e alle relative SC (ANSA, 29 ottobre 2020). La pandemia COVID-19 è quindi un test per le SC riguardo la loro resilienza. La teoria della resilienza è stata sviluppata in risposta a disastri naturali e a quelli provocati dall'uomo. I rischi di interruzione derivanti da tsunami, incendi e scioperi possono avere un grosso impatto sulle prestazioni delle SC. L'impostazione della pandemia è differente rispetto alle interruzioni finora descritte.

Le interruzioni derivanti dalla pandemia sono caratterizzate da un'interruzione a lungo termine e del tutto imprevedibile. Inoltre, abbiamo una propagazione simultanea di interruzioni e focolai epidemici, in concomitanza con aperture e chiusure di fornitori, strutture e mercati. Un ultimo fattore che caratterizza la pandemia è la simultanea interruzione dell'offerta, della domanda e delle infrastrutture logistiche che presentano così un quadro molto complesso con propagazioni sia in avanti che all'indietro (Ivanov & Dolgui, 2020).

Una normale gestione del rischio della SC inizierebbe con l'identificazione del rischio e terminerebbe con una strategia per la gestione dello stesso. Pertanto questo approccio è meno efficace qualora bisogna far fronte ad un rischio improvviso e

inaspettato come le interruzioni derivanti da una pandemia. Pertanto, per le aziende è diventato un fattore importante sviluppare una resilienza che le consenta loro di rispondere rapidamente e riprendersi da interruzioni impreviste (Yuhong Li, 2020). Andando ad analizzare un SC con più fornitori e acquirenti, la probabilità di interruzione di una azienda dipende da tutti i fornitori e acquirenti interrotti.

Non vi è certezza che un nodo sano al tempo t possa essere interrotto al tempo $t+1$ sotto l'influenza dei suoi fornitori o acquirenti interrotti al tempo t . Assumendo che i nodi che fanno parte di una SC abbiano due stadi: nodo sano (H) e interrotto (D). Andando a definire quanto sopra descritto in una formula avremo che:

$$p_{i_{jHD}}^t = 1 - \prod_{k \in DS(i)} (1 - FR_{ki}^t) \cdot \prod_{j \in DC(i)} (1 - BR_{ij}^t)$$

$p_{i_{jHD}}^t$ = probabilità di transazione del nodo (i) dell'impresa interessata dall'essere sano al tempo t all'essere interrotto dal tempo $t+1$;

$DS(i)$ e $DC(i)$ = fornitori e clienti dell'impresa (i) interrotti;

FR_{ki}^t = probabilità di propagazione in avanti del fornitore k al nodo i ;

BR_{ij}^t = probabilità di propagazione all'indietro dall'acquirente j al nodo i (Li, Chen, Collignon, & Ivanov, 2020).

Mentre per quanto riguarda la capacità di recupero (RC), ovvero la probabilità che il nodo dall'essere interrotto al tempo t passa allo stato sano al tempo $t+1$ indipendentemente dallo stato dei fornitori e acquirenti, può essere descritta come:

$$p_{i_{jDH}}^t = RC_i^t \cdot \prod_{k \in DS(i)} (1 - FR_{ki}^t) \cdot \prod_{j \in DC(i)} (1 - BR_{ij}^t)$$

Ogni singolo nodo come descritto dalla Figura 2 - meccanismo di propagazione delle interruzioni ha i propri valori FR, BR e RC ed essi sono influenzati dai loro vicini e dalla capacità di resilienza.

Le propagazioni hanno effetti sia a livello di nodo che a livello di rete. Analizzare come un nodo possa influenzare positivamente o anche negativamente la struttura di rete è un fattore fondamentale.

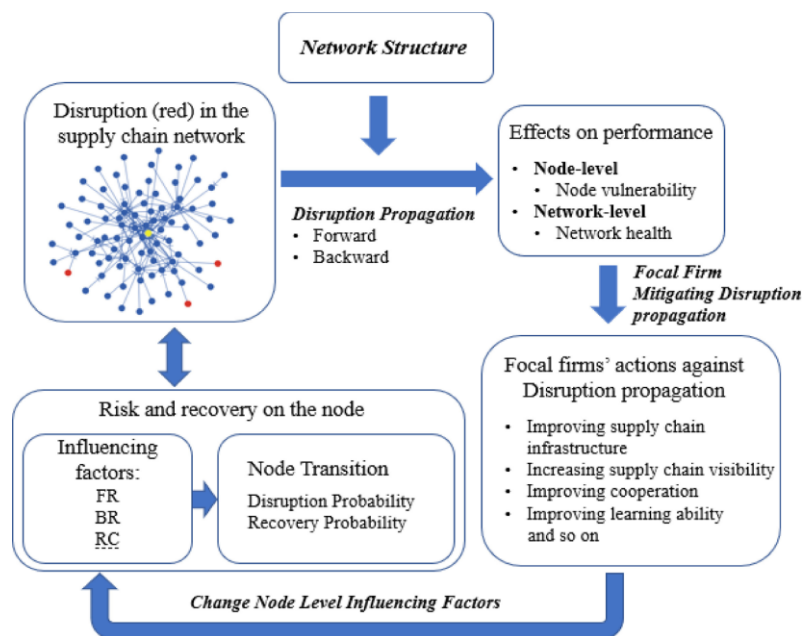


Figura 2 - meccanismo di propagazione delle interruzioni (Li, Chen, Collignon, & Ivanov, 2020)

Una tipica rete di fornitura è soggetta a un impatto maggiore di BR, mentre una rete di distribuzione è soggetta a un impatto di FR. Pertanto, la configurazione della rete comporta diversi effetti della propagazione in avanti e all'indietro sullo stato di salute della rete e sulla velocità della propagazione. Gli operatori delle SC devono

preoccuparsi non solo della prestazione della rete di fornitura ma devono tenere conto anche della prestazione dei singoli fornitori. All'interno di una SCN troviamo alcune aziende più vulnerabili alle interruzioni. Per gli operatori delle SC è rilevante identificare le aziende più vulnerabili e capire cosa contribuisce alla vulnerabilità del nodo. I tassi di diffusione dell'interruzione (FR e BR) hanno un impatto positivo sulla vulnerabilità del nodo, mentre la velocità di recupero influenza negativamente la vulnerabilità. Dall'analisi proposta da Li, Chen, Collignon, & Ivanov si osserva come la vulnerabilità alla propagazione all'indietro o all'avanti varia a seconda del ruolo ricoperto dall'impresa nella rete. Un nodo con un ruolo di assemblaggio nella rete sarà più soggetto ad una propagazione all'avanti, in quanto hanno più collegamenti con i fornitori che con i clienti. Queste aziende che sono più vulnerabili dalla parte dei fornitori dovranno implementare il livello di scorte di sicurezza, costruire strette relazioni con i fornitori e investire in risorse di backup contro la propagazione delle interruzioni all'avanti. Viceversa, per quelle aziende che invece hanno più collegamenti con i clienti saranno più soggette a propagazioni dell'interruzione all'indietro. Quindi per tutelarsi da una propagazione dal lato dei clienti dovrebbero investire nel monitoraggio delle informazioni del mercato ed aumentare la flessibilità operativa e di prodotto.

Come proposto dalla Figura 2 le azioni per contrastare le interruzioni a livello di rete proposte sono investimenti per il miglioramento delle infrastrutture della supply chain, il miglioramento della supply chain visibility e il miglioramento delle

capacità di cooperazione e apprendimento. Tali investimenti possono influenzare FR, BR e RC per ogni nodo della rete. Se osserviamo una network SC con una doppia impresa focale si può osservare come gli investimenti di entrambe le imprese, oltre ad influenzare l'intera rete, influenzino anche l'altra impresa focale¹. Quindi dall'analisi di Li, Chen, Collignon, & Ivanov è scaturito come, nella rete di fornitura, le imprese focali possono trarre vantaggio dagli investimenti per la resilienza di altre imprese focali. I gestori di un'impresa focale dovrebbero considerare il rapporto costi-benefici dell'investimento per la resilienza non solo per l'impresa focale ma anche per altre imprese focali (Li, Chen, Collignon, & Ivanov, 2020).

3.1 - RESILIENTE SC DESIGN

La letteratura ha riconosciuto caratteristiche della SC su cui intervenire per renderla più robusta e resiliente alle interruzioni. Le possiamo suddividere in 3 sezioni: livello strutturale, livello di processo e livello di controllo. Livello strutturale: si è osservato come la struttura della SC sia un fattore fondamentale per la resilienza della stessa e di come la complessità del network di SC può influenzare negativamente la rete rendendola vulnerabile all'incertezza e alla propagazione

¹ Centro in grado di favorire il coordinamento e la condivisione all'interno della SC tra i vari nodi. Si tratta della cosiddetta impresa focale che è attiva nella gestione e diffusione della conoscenza tra i vari nodi, favorisce l'incontro tra nodi del network non collegati direttamente, e mantiene attivo l'intento cooperativo tra le imprese all'interno della rete stessa. Il ruolo dell'impresa focale diventa determinante quanto maggiore è l'incertezza che caratterizza l'ambiente di riferimento della rete organizzativa.

dell'interruzione. Le leve su cui intervenire per rendere una SC resiliente, proposte dalla letteratura, possono essere:

- **Decentralizzazione:** stoccaggio delle scorte in più magazzini, Il costo effettivo di una risorsa aumenta perché più magazzini richiedono più inventario, mentre l'impatto previsto di un'interruzione diminuisce. Il costo totale diminuisce quando centralizziamo o mettiamo in comune la risorsa, ma il costo aumenta quando centralizziamo oltre un certo punto. (Narasimhan & Kim, 2002)
- **Diversificazione:** Un'azienda può diversificare i propri prodotti o perseguendo mercati internazionali. Una volta che un'azienda si è diversificata, non può occuparsi solo della strategia della propria unità di business ma deve perseguire attività legate alla diversificazione quando si confronta con maggiori pressioni competitive. Perché una diversificazione sia di successo occorre che le imprese abbiano la capacità di coordinamento per la gestione della diversità interna e della complessità che la diversificazione può creare. Un'azienda dovrà quindi perseguire una strategia di diversificazione che punti a creare un'integrazione o un collegamento efficiente tra le varie funzioni interne ma anche quelle con i propri fornitori e clienti. (Narasimhan & Kim, 2002).
- **Localizzazione:** costituzione di prodotti e campagne che attirino le popolazioni locali, adattandosi alla clientela, alla concorrenza, alla cultura e

ai costumi locali. È un processo che copre intere catene di approvvigionamento e informa lo sviluppo del prodotto, le decisioni di ubicazione e i modelli di produzione.

- Segmentazione: le grandi aziende possono segmentare le loro catene di approvvigionamento per migliorare i profitti e ridurre la fragilità della catena di approvvigionamento. Ciò ci permetterà allo stesso tempo di ridurre i costi e l'impatto delle interruzioni, poiché altri fornitori produrranno lo stesso articolo (S. & M., 2014).
- Fortificazione: rafforzare le strutture delle SC così da poter mitigare i guasti degli impianti dovuti a cause naturali o provocate dall'uomo (Li, Kizito, & Incerti, 2018).

Possiamo riassumere il tutto affermando che la variabilità strutturale e la recuperabilità possono costituire un driver per la resilienza della SC.

Livello di processo: la principale caratteristica che si analizza in questo livello è la flessibilità sia di prodotto che di processo. La flessibilità è un driver importante per la robustezza e la resilienza della SC. Quando si parla di flessibilità di processo e di prodotto si fa riferimento alla capacità del sistema di produzione, approvvigionamento e trasporto della SC di mutare in ambienti dinamici. Misure che si possono attuare per rendere flessibile il livello di gestione del processo sono:

- Backup di approvvigionamento: rifornisce le scorte in momenti non pianificati in cui il fornitore principale viene interrotto, la sua produzione potrebbe essere insufficiente per soddisfare l'ordine dell'acquirente.
Di conseguenza, l'acquirente potrebbe risentire dell'incertezza del rendimento del fornitore potenziale e / o della capacità limitata durante i periodi di interruzione (Hou & Sun, 2016).
- Dual sourcing: indica che un acquirente impiega due fornitori, uno dei quali può dominare l'altro in termini di quota di business, prezzo, affidabilità e altri fattori. (Yu, Zeng, & Zhao, 2009)
- Postponement and capacity pooling: la flessibilità di posticipo implica la capacità di posticipare la produzione in risposta alla domanda (Wei & Zhang, 2021).
- Sostituzione prodotto: quando il cliente preferisce un prodotto rispetto ad un altro ma è anche disposto ad acquistarne uno differente, qualora fosse finito il prodotto preferito, in questo caso abbiamo prodotti perfettamente sostituibili. In alcuni casi l'acquisto del prodotto sostituibile può portare a qualche grado di insoddisfazione e pertanto avremo prodotto parzialmente sostituibile. Quindi i prodotti perfettamente sostituibili permetteranno una completa sostituibilità senza alcuna penalità (Khalilabadi, Zegordi, & Nikbakhsh, 2020).

- Coordinamento: coordinamento di SC basato su contratti con considerazione delle interruzioni, in quanto l'interruzione della fornitura e i tempi di approvvigionamento influiscono sulle decisioni di acquisto delle aziende (Ivanov & Dolgui,2018).

Livello di controllo: il focus principale su cui puntare l'attenzione è la “parametric redundancy” ovvero i parametri riguardanti i processi (capacità di utilizzo, inventario, lead time ecc...), in quanto possono essere un fattore determinante nella mitigazione del rischio di interruzione.

All'interno del livello di controllo i fattori che possono influenzare positivamente la resilienza sono:

- Inventario di mitigazione del rischio (risk mitigation inventory): la gestione del rischio della catena di fornitura dell'inventario cerca di stabilire strategie mitigative e affidabili per affrontare i rischi identificati e il loro potenziale impatto sulla catena di approvvigionamento dell'inventario e in particolare sulla gestione dell'inventario.
- Advanced purchasing: l'acquisto anticipato permette una riduzione di probabilità di propagazione dell'interruzione.
- Capacity reservation and lead time reserves: prenotazioni efficienti di capacità e tempi di consegna sono riserve che devono essere considerate non come una eccedenza non utilizzata, ma piuttosto devono essere utilizzate anche in modalità operative normali.

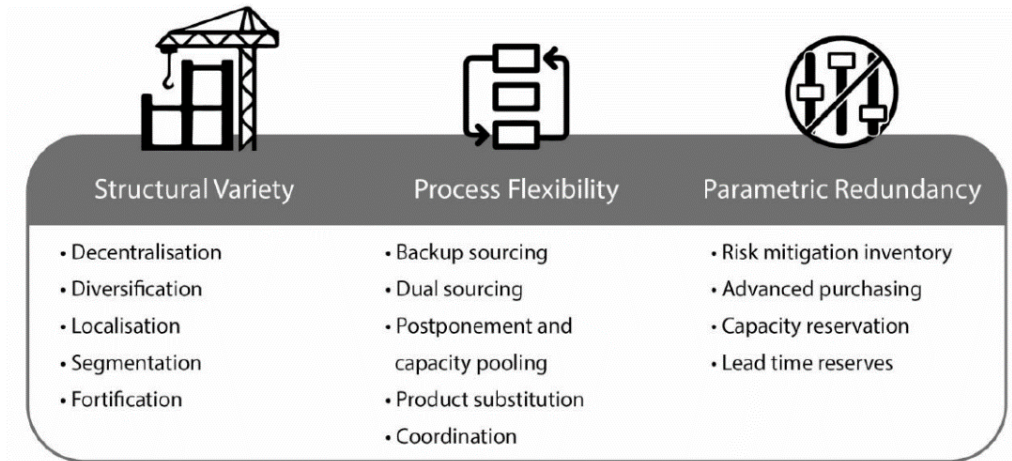


Figura 3 - design di un network SC resiliente

I fattori che permettono una riduzione del rischio di propagazione dell'interruzione trattati in questa analisi sono stati utilizzati per sviluppare il framework LCN SC il quale possiede proprietà che le SC dovrebbero possedere ovvero robustezza, resilienza e efficienza.

3.2 - FRAMEWORK LOW-CERTAINTY-NEED (LCN) SUPPLY CHAIN

Le interruzioni sono considerate eventi ad alto impatto e bassa frequenza nella catena di approvvigionamento, che incidono in modo notevole sulle prestazioni della rete (D. Ivanov, 2019), per questo si suggerisce la progettazione di una SC LCN (basso bisogno di certezza). Il framework ci permette di affrontare il problema delle SC resilienti da un altro punto di vista. In questo tipo di framework non ci si preoccupa di quale modello scegliere se tra una Sc “design-for-resilience” o “design-for-efficiency” ma si presuppone di considerare le loro reciproche

intersezioni per potenziarsi a vicenda. Come si è visto, dalle analisi effettuate da Ivanov e Dolgui, la complessità strutturale, l'inflessibilità dei processi e delle risorse, parametric redundancy insufficiente aumentano l'incertezza e la propagazione dell'interruzione. Quindi, il framework LCN SC si fonda su tre elementi chiave:

- Varietà e semplificazione strutturale;
- Processi e risorse flessibili;
- Parametric redundancy efficiente.

Questo tipo di framework si contraddistingue per la sua scarsa necessità sia di considerare l'incertezza nelle decisioni di pianificazione sia negli sforzi di coordinamento per il recupero, ciò gli permette di funzionare in un'ampia gamma di stati ambientali.

3.2.1-VARIETA' E SEMPLIFICAZIONE STRUTTURALE

La semplificazione strutturale può essere ottenuta tramite una segmentazione della SC mediante una diversificazione della linea di prodotto con intersezioni minime tra le diverse linee. A mero titolo di esempio, se si evitasse l'approvvigionamento dallo stesso fornitore per le diverse linee di prodotto, questo permetterebbe in caso di interruzioni di un fornitore il ripercuotersi dell'interruzione solamente su di una linea di prodotti, senza che ciò vada ad intaccare l'intero network.

Dal punto di vista della varietà strutturale, si può intervenire tramite l'utilizzo degli effetti di consolidamento per aumentare l'efficienza.

3.2.2-PROCESSI E RISORSE FLESSIBILI

In questo ambito si può intervenire con l'utilizzo di materiali universali oppure tramite l'applicazione della "additive manufacturing technology²", la quale può influenzare positivamente la flessibilità di prodotto e di processo.

Allo stesso tempo essi danno la possibilità di ridurre la necessità a fornitori di riserva.

La "additive manufacturing technology" ha il potenziale per ridurre la propagazione delle interruzioni nelle SC poiché il numero dei layers della SC risulterebbe ridotto. Anche la sostituzione del prodotto è un'efficiente politica di recupero, che permetterebbe di avere una maggiore flessibilità di processo. Tramite un'ottimizzazione dei prezzi e dei contratti si riuscirebbe ad ottenere una sostituzione del prodotto a costi contenuti. I principi di controllo decentralizzato dell'industria 4.0 rendono possibile la diversificazione dei rischi con l'aiuto dell'aumento della flessibilità produttiva.

² Additive manufacturing permette di realizzare parti tridimensionali direttamente dai modelli CAD attraverso l'uso di stampanti 3D, offrendo quindi la possibilità di costruire parti con materiali e geometrie complesse.

3.2.3-PARAMETRIC REDUNDACY EFFICIENTE

L'efficienza dei parametric redundancy riguarda l'efficienza della riserva di capacità, inventario e lead time. Tali riserve non devono essere considerate scorte non utilizzate ma occorre utilizzarle anche per l'uso in modalità operativa normale. L'efficacia della redundancy è implementata se usata con la “additive manufacturing”, in quanto permetterebbe una riduzione della necessità di inventario per mitigazione del rischio e riserve di capacità. Inoltre, è necessaria una riclassificazione dei materiali sottoposti a criticità e all'esposizione al rischio.

Inoltre, i nuovi concetti di SC guidati da soluzioni cyber-physical³ possono aiutare ad aumentare la robustezza del SC attraverso un riconoscimento più veloce e affidabile delle potenziali interruzioni e disturbi esterni e interni e attraverso la minimizzazione o l'annullamento delle loro conseguenze negative (Ivanov et al. 2018).

3.3-DIGITAL SUPPLY CHAIN TWIN

La supply chain, negli ultimi anni, ha subito trasformazioni tecnologiche di dimensioni mai viste in precedenza. L'industria 4.0, produzione additiva, sensori, cobot, sistemi di visibility e blockchain le quali danno l'opportunità di utilizzo dei dati così da costruire network di approvvigionamento altamente flessibili e

³ Soluzioni cyber-physical integra processi di calcolo, sia fisici che in rete, mirati al monitoraggio e al controllo di componenti fisiche e reti computazionali. Questa combinazione di macchine e dispositivi permette di avere un controllo ampio sull'azienda.

adattabili (Frazzon, Freitag, & Ivanov, 2020). La preoccupazione su cui si concentra la letteratura è la capacità della digitalizzazione e dell'elaborazione dati per la previsione di eventi futuri e identificazione di eventi in tempo reale. Il modello computerizzato della digital twin rappresenta un modello computerizzato della supply chain che rappresenta una catena reale in modalità virtuale. Una delle aree su cui è stata applicata la digital twin è rappresentata dai rischi di interruzioni delle SC. Queste nuove modalità di natura cyber-physic rappresentano nuove possibilità per il supporto delle decisioni di gestione. Gli operatori della SC saranno coadiuvati con sistemi complessi per l'identificazione di scenari di interruzione, per la comprensione di come si predispongono alcune aree della rete all'interruzione e di conseguenza di come poter intervenire per fortificarle da eventuali eventi dannosi, e allo stesso tempo riconoscere e monitorare in tempo reale le interruzioni. I modelli esistenti di ottimizzazione e simulazione forniscono un buon supporto agli operatori della SC per le prove relative allo stress da interruzione delle SC e dell'implementazione di piani di emergenza e ripristino (Ivanov & Dolgui, A, 2020).

Pertanto, questi modelli hanno il bisogno di dati sulle interruzioni avvenute in passato per ricostruire scenari e identificare tempestivamente eventi dannosi e colli di bottiglia. Le SC durante la pandemia COVID-19 sono crollate, avendo impatti negativi sulle performance aziendali, riducendo sia i rendimenti sia il posizionamento delle imprese sul mercato. Si è osservato che come le SC durante la

pandemia hanno dovuto apportare adattamenti insieme ad analisi post-pandemiche, ciò ha fornito la prova dell'urgente esigenza dell'applicazione della digital supply chain twin, così da poter mappare l'interna rete di fornitura. Un modello di SC computerizzato basato sui dati che rappresentano lo stato di salute dell'intero network in tempo reale ed implementano la visibility⁴ della SC (Frazzon, et al., 2020). Quindi, le nuove ricerche dei processi decisionali basati sui dati per la progettazione delle SC proattive e resilienti, comprese anche le attività di pianificazione della risposta e il controllo reattivo in tempo reale con l'implementazione di piani di ripristino, stanno diventando sempre più rilevanti nella gestione dei rischi di SC.

La crescita della potenza di calcolo dei dati sta diventando importante, le organizzazioni stanno ricercando modi per l'utilizzo dei loro database per migliorare la loro SC e si stanno mettendo a punto strategie per utilizzare i Big Data⁵ in modo da rendere il meno vulnerabili possibili le catene di approvvigionamento (Ivanov & Dolgui, 2020). Un maggior utilizzo della tecnologia informatica e della comunicazione supporta uno scambio di flussi fisici ed informatici nei sistemi di cyber-physical della SC, così ampliando la possibilità di acquisire dati in tempo reale per supportare decisioni migliori (Frazzon, et al.,

⁴ Capacità della SC di tracciare i componenti o i prodotti dal produttore fino alla loro destinazione finale.

⁵ Fa riferimento ha un grande volume di dati generati da diverse fonti: umane (esempio social network, blog, micro-blog), basate su macchine (esempio GPS, internet of things o da strumenti di monitoraggio) o business (ovvero dati generati dalle attività dell'impresa)

2020). La digital twin ci consente di prendere le decisioni tramite un modello che permette la simulazione del comportamento della SC in caso di interruzione, non solo, si ha la possibilità, prima che si verifichi l'interruzione, di valutare potenziali impatti sulle prestazioni della SC e quindi predisporre politiche di ripristino. Nella fase proattiva, l'analisi dei dati permette di creare scenari di interruzione basati su dati storici di interruzioni o altri dati, ad esempio dati relativi all'affidabilità dei fornitori dai sistemi ERP⁶. Mentre per quanto riguarda la fase reattiva, l'analisi dei dati si applica per l'identificazione delle interruzioni in tempo reale. Nella fase post-interruzione ovvero di ripristino, l'analisi dei dati incorporerà i dati relativi all'interruzione in tempo reale in un modello di simulazione per l'ottimizzazione delle politiche di ripristino.

Nella figura 3 è rappresentato un modello di digital twin per la gestione dei rischi. Possiamo distinguere quattro fasi dalla raccolta dei dati fino all'output di informazioni per la gestione dei rischi delle SC. La prima fase riguarda l'analisi proattiva del rischio, quindi si avrà la raccolta dei dati storici sul rischio provenienti da database esterni e da fonti interne. Inoltre, in questa fase si attueranno analisi relative alle performance, alla resilienza e al recupero della SC. La seconda fase è

⁶ Enterprise resource planning (ERP), software gestionali che integrano tutti i processi di business rilevanti in un'azienda e tutte le funzioni aziendali. Integra tutte le attività in unico sistema, indispensabile per il management.

l'elaborazione degli eventuali scenari analizzando dati che potrebbero influire sulla resilienza della SC.

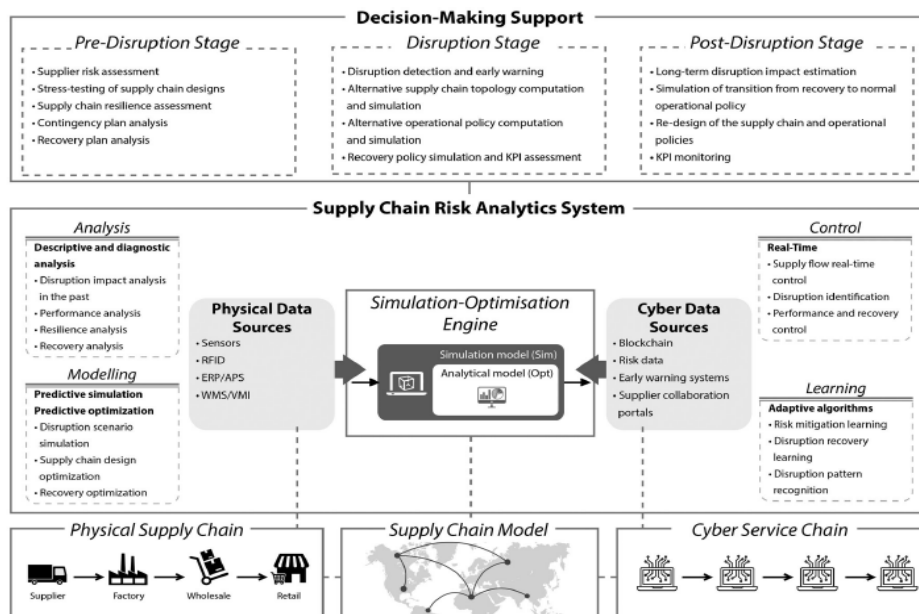


Figura 4 - framework di digital supply chain twin per la gestione delle interruzioni (Ivanov & Dolgui, 2020)

Il sistema modella anche progetti di SC e politiche di ripristino ottimizzate. Nella fase tre nel sistema si attueranno processi di controllo, con i quali si valuteranno criteri di ripristino della SC, ad esempio progetti di SC alternativi più resilienti. Allo stesso tempo i dati raccolti saranno utilizzati anche per aggiornare i parametri riguardanti la capacità di produzione e spedizione e disponibilità di inventario. La quarta e ultima fase riguarda l'output di informazioni che scaturiscono dalla digital supply chain twin le quali saranno trasferite a sistemi ERP o strumenti BI⁷ (business

⁷ Software che raccolgono ed elaborano grandi quantità di dati non strutturati da sistemi interni ed esterni. Gli strumenti di BI permettono di acquisire dati per trovare informazioni, per preparare i dati per l'analisi, per creare report, dashboard e visualizzazione dei dati.

intelligence). In questo ultimo stadio si utilizza l'analisi dei dati come sistema di apprendimento, contribuendo a migliorare i fattori per la mitigazione del rischio, recupero da interruzioni e riconoscimento del modello di interruzione.

Le analisi dei dati e i metodi basati su modelli rappresentano una visione di un futuro DSS⁸ (decision support system) nella gestione del rischio di interruzione.

La combinazione di simulazioni e ottimizzazioni con l'analisi dei dati permette la costituzione della digital supply chain twin, un modello che rappresenta lo stato attuale della rete. I dati che derivano dalla SC fisica si incrociano con i dati derivanti da database, da IoT, sistemi di tracciabilità e rintracciabilità (T&T) e RFID (Ivanov & Dolgui, 2020). Pertanto, l'applicazione di soluzioni cyber-physichs può aiutare ad aumentare la resilienza della SC tramite un riconoscimento più veloce e affidabile di potenziali interruzioni interne e esterne abbattendo le ripercussioni negative sulla rete.

⁸ Sistema software di supporto delle decisioni, che permette di aumentare l'efficacia, fornisce pertanto supporto a tutti coloro che devono prendere decisioni strategiche di fronte a problemi che non possono essere risolti con modelli della ricerca operativa.

CONCLUSIONI

L'elaborato ha evidenziato la problematica della ripple effect scaturita dalla pandemia COVID-19.

Gli obiettivi dello stesso erano duplici.

In primo luogo, si sono voluti osservare gli effetti delle propagazioni lungo la SC, analizzandoli nelle cinque fasi della pandemia delineate dall'OMS.

In secondo luogo, l'obiettivo era verificare se sia necessario un cambio di rotta da un "design-for-efficiency" ad un "design-for-resilience" per il futuro dell'impresa.

Infine, si è ragionato su quali fattori di rete basare la propria SC e quali strumenti poter applicare per abbattere i rischi di interruzione e i relativi effetti di propagazione all'interno del network supply chain.

In prima battuta si sono voluti evidenziare i problemi riscontrati dalla pandemia distinguendo il Bullwhip effect e il Ripple effect. Lo studio si è soffermato sull'effetto a catena prodotto dalle interruzioni e si è esplorata la propagazione in avanti e all'indietro e i fattori che diffondono le interruzioni. Nella medesima sezione si è voluto analizzare lo shock delle interruzioni verificatesi durante la pandemia subito dalle SC, andando ad analizzarli nelle cinque fasi delineate dall'OMS (anticipation and early detection, containment, control and mitigation, elimination). Questo ha consentito di capire come le SC siano state colpite duramente e come dovranno adeguarsi ad un nuovo sistema di visione della rete di

approvvigionamento passando da “design-for-efficiency” ad un “design-for-resilience”, in quanto lo stesso OMS ha dichiarato che in futuro diminuirà la probabilità di nascita di nuovi focolai pandemici. Ma anche il riscaldamento globale e l’instabilità politica saranno potenziali fattori di interruzione del network della SC.

Ciò ha portato ad analizzare come i tassi di propagazione delle interruzioni vengano influenzati dal tipo di attività intrapresa dall’azienda, ma anche dagli investimenti effettuati dalle imprese focali per lo sviluppo della robustezza e della resilienza della SC. Si sono delineati i fattori su cui gli operatori delle SC possono intervenire per rendere le proprie SC più resilienti e più robuste, andando a distinguerle in livello strutturale, livello di processo e livello di controllo.

Nel mentre si sono rivelate intuizioni gestionali, ovvero framework LCN SC e digital supply chain twin che possono essere utilizzate per il recupero COVID-19 e per resistere a future pandemie o interruzioni causate dalla natura o dall’uomo.

Tutto questo fa desumere l’importanza crescente che avranno le SC resilienti nel prossimo futuro, le quali dovranno sopportare sempre più rischi legati alle interruzioni e alle propagazioni dell’interruzione nella rete.

BIBLIOGRAFIA

- Cooper, M., Lamber, D., & Pagh, J. (1997). supply chain management: more than a new name for logistics. *The International Journal of Logistics Management*.
- D. Ivanov, A. D. (2019). Ripple Effect in the Supply Chain: Definitions, Framework and Future Research Perspectives. In *Handbook of Ripple Effects in the Supply Chain* (p. 1-33). Springer.
- Frazzon, E. M., Freitag, M., & Ivanov, D. (2020). Intelligent methods and systems for decision-making support: Toward digital supply chain twins. *International Journal of Information Management*.
- Garvey, M. D., Carnovale, S., & Yenyurt, S. (2015). An analytical framework for supply network risk propagation: A Bayesian network approach. *European Journal of Operational Research, Volume 243*, 618-627.
- Hou, J., & Sun, L. (2016). Backup Sourcing Decisions for Coping with Supply Disruptions under Long-Term Horizons. *Discrete Dynamics in Nature and Society*.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2018). Low-Certainty-Need (LCN) supply chains: a new perspective in managing disruption risks and resilience. *international journal of production research*.

- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A Digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). OR-methods for coping with the ripple effect in supply chains during COVID-19 pandemic: Managerial insights and research implications. *International Journal of Production Economics*.
- Khalilabadi, S. M., Zegordi, S. H., & Nikbakhsh, E. (2020). A multi-stage stochastic programming approach for supply chain risk mitigation via product substitution. *Computers & Industrial Engineering*.
- Lee, H. L., Padmanabhan, V., & Whang, S. (1997). The Bullwhip Effect in Supply Chains. *MITSloan Management review*.
- Li, X., Kizito, r., & Incerti, T. (2018). AN AGENT-BASED SIMULATION FRAMEWORK FOR SUPPLY CHAIN DISRUPTIONS AND FACILITY FORTIFICATION.
- Li, Y., Chen, K., Collignon, S., & Ivanov, D. (2020). Ripple effect in the supply chain network: Forward and backward disruption propagation, network health and firm vulnerability. *International Journal of Production Economics*.
- Li, Y., Christopher, & W., Z. (2020). Exploring supply chain network resilience in the presence of the ripple effect. *International Journal of Production Economics, Volume 228*.

- Narasimhan, R., & Kim, S. W. (2002). Effect of supply chain integration on the relationship between diversification and performance: evidence from Japanese and Korean firms. *Journal of Operations Management*, 303-323.
- S., C., & M., S. (2014). Reducing the Risk of Supply Chain Disruptions. (2014). *Reducing the Risk of Supply Chain Disruptions.*, 72-30.
- Silvestrelli, S., & Bellagamba, A. (2017). *fattori di competitività dell'impresa industriale*. G.Giappichelli.
- Wei, L., & Zhang, J. (2021). Strategic substitutes or complements? The relationship between capacity sharing and postponement flexibility. *European Journal of Operational Research*.
- Yu, H., Zeng, A. Z., & Zhao, L. (2009). Single or dual sourcing: decision-making in the presence of supply chain disruption risks. *Omega*, 788-800.
- Zhu, T., Balakrishnan, J., & Silveira, G. J. (2020). Bullwhip effect in the oil and gas supply chain: A multiple-case study. *International Journal of Production Economics*.

SITOGRAFIA

<https://www.corriere.it>

<https://www.ansa.it>

<https://www.who.int>