POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Impatti della Blockchain nella Supply Chain

Relatore
prof. Carlo Rafele

Candidato
Silvia Virone

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Abstract

Introduzione

1. Blockchain 1

1.1 Bitcoin 1

1.2 Blockchain Technology 4

1.2.1 Validazione di una transazione 5
1.2.2 Incentivo economico 7
1.2.3 Hashing 8
1.2.4 Caratteristiche principali 11

2. Supply Chain 19

2.1 Sfide delle Supply Chain moderne 21

2.2 Digitalizzazione delle Supply Chain moderne 23

2.3 Stato dell'arte delle Supply Chain moderne 29

3. Blockchain e Supply Chain 35

3.1 Stato dell'arte delle implementazioni della Blockchain nella Supply Chain 37

3.1.1 Hype 38
3.1.2 Business value della Blockchain nei diversi settori applicativi 40

3.2 Criticità risolvibili 43

3.2.1 Sicurezza e privacy dei dati 45
3.2.2 Track and Trace 47
3.2.3 Credibilità dei dati 51
3.2.4 Trusted Third Party 53

3.3 Silver bullet 57

3.3.1 Analisi della tecnologia 59
3.3.2 Analisi delle condizioni al contorno 60

3.4 Ostacoli all'implementazione 63

3.5 Grado di digitalizzazione necessario 66

3.4.1 Grado di digitalizzazione HR 67

3.4.2 Grado di digitalizzazione infrastrutture e processi 68

3.6 Implementazione della Blockchain 71

3.6.1 Coopetition paradox 71

4. Case study 75

4.1 Inventory control 79

4.2 Condizioni di stockaggio e trasporto 80

4.3 Contraffazione 82

4.4 Burocrazia 85

4.5 Tracciabilità 87

4.6 Ethical sourcing e Fair trade 91

4.7 Affidabilità dei dati 93

4.8 Post-sales 96

4.9 Flusso finanziario 98

4.10 Previsione della domanda 101

5. Conclusioni 103

Bibliografia 111

Indice delle figure 121

Indice delle tabelle 123

Abstract

Blockchain has gained widespread relevance in the last decade, starting from the financial sector to reach all fields. The Blockchain Technology (BCT) is naturally disruptive and it will likely change actual business models. The aim of the technology is to guarantee trust between players in an untrusted network without the need for a Trusted Third Party (TTP), through the immutability and transparency of data. These main features in the Supply Chain mean an increase in efficiency and reliability of all data and processes and consequently an improved customer experience.

The aim of the thesis is to analyze impacts of implementation of Blockchain in the Supply Chain. At first, technical characteristics were examinated to deeply understand how it works and how it can guarantee immutability, trust and reliability from an IT point of view. Then was made an overview of the state of art of modern Supply Chain: the needs of customers and goods shipped, the average grade of digitalization of companies and the technologies which will probably disrupt Supply Chain in short-medium term. The comparative analysis of the first two chapters allows to highlight the major existing frictions in a modern supply chain and how they could be faced by Blockchain, with a particular focus on data security and reliability, on track and trace systems and on Smart-Contracts. Nevertheless, it should be noted that BCT doesn't mean having found the silver bullet to overcome every causes of inefficiency in a Supply Chain. A careful evaluation phase has to be carried out since the existence of significant inertia that could invalidate the feasibility of implementation. Finally, the last chapter aims to analyze real BCT applications and to compare the different approaches in overcoming the main critical issues existing in a Supply Chain.

Introduzione

La tecnologia Blockchain nasce nel 2008 come supporto tecnologico per la cripto-valuta Bitcoin. Le sue caratteristiche altamente innovative e disruptive hanno fin da subito destato la curiosità dei più disparati campi di applicazione, uno fra tutti la gestione della catena di distribuzione (Supply Chain Management SCM), oggetto del presente elaborato di tesi. Le friction presenti in questo campo sono svariate. I più debilitanti sono la mancanza di trust tra i vari attori, di visibilità e affidabilità dei dati scambiati tra i vari livelli della filiera e le cospicue tempistiche necessarie per le operazioni burocratiche e finanziarie/contabili. Al fine di un miglioramento globale delle performance questi gap devono essere colmati: la Blockchain può essere la soluzione?

Non è possibile rispondere a tale domanda senza possedere un'approfondita conoscenza tecnica della tecnologia in questione, con i relativi punti di forza e di debolezza. Dato l'alone di hype ad oggi presente attorno alla Blockchain, quest'ultimi tendono ad essere generalmente trascurati, tuttavia è bene dire sin da subito che con l'introduzione e lo sviluppo di tale tecnologia non è stato trovato il famoso *silver bullet*, soluzione ideale di tutte le inefficienze.

Con il presente lavoro di tesi si inizierà con il descrivere la Blockchain da un punto di vista tecnico, esplorandone quelle caratteristiche che la rendono una tecnologia disruptive. In particolare, saranno analizzate le fondamenta tecnico/informatiche che permettono il raggiungimento della decentralizzazione, dell'immutabilità e della visibilità dei dati.

Si continuerà poi nel secondo capitolo analizzando lo stato dell'arte del SCM, le relazioni tra gli attori e le modalità di trasferimento delle informazioni. Un focus sarà effettuato sulla capacità di tale campo ad oggi di affrontare un cambiamento tecnologico di tale entità, da un punto di vista di grado di digitalizzazione esistente e di trend di miglioramento dello stesso previsti. Saranno identificate le principali cause di inefficienza e le possibili tecnologie implementabili al fine di superarle.

Il terzo capitolo si focalizzerà sulle modalità con cui queste due realtà possano intersecarsi, analizzando la profittabilità di questa interazione e l'eventuale miglioramento apportato all'intera filiera. In particolare, saranno analizzate le motivazioni per cui la BCT potrebbe comportare un miglioramento delle criticità esistenti e le modalità mediante cui le stesse possono essere fronteggiate, sottolineando al contempo le difficoltà riscontrabili nell'implementazione.

Al fine di fornire una panoramica delle implementazioni della Blockchain nelle Supply Chain ad oggi, si procederà nell'ultimo capitolo con l'analisi di dieci case study relativi ad altrettante imprese aventi adottato la BCT. Saranno identificate le dieci maggiori friction riscontrabili in una filiera produttiva moderna e saranno esaminate le differenti modalità tramite cui le aziende oggetto dei case study ne hanno ricercato un superamento. Sarà infine effettuato un confronto tra le differenti implementazioni al fine di metterne in luce per ognuno i punti di forza e di debolezza.

1. Blockchain

La rete Internet nasce nel 1969 da un progetto militare americano avente come obiettivo il collegamento tramite un network wireless di tutte le risorse appartenenti all'esercito, al fine di fronteggiare l'avanzata dell'URSS nel contesto della Guerra Fredda [1]. Solo nel 1991 la fruizione di questa nuova tecnologia si è aperta al grande pubblico, grazie all'invenzione del World Wide Web ad opera di Tim Berners-Lee, ricercatore del CERN [2]. Da quell'avvenimento la tecnologia ha subito una diffusione capillare: la percentuale di popolazione con accesso ad Internet worldwide è passata dallo 0,4% nel 1995 al 58% di oggi [3] con un tasso di penetrazione che varia dal 99% nei Paesi maggiormente sviluppati, quali Emirati Arabi, Norvegia e Islanda, allo 0,08% della Corea del Nord [4]. Ad oggi in Italia le famiglie che dispongono di una connessione Internet sono il 75,1% (il 52,1% accede giornalmente), mentre le imprese sono quasi la totalità, il 94,2% delle aziende con almeno 10 dipendenti [5].

Le potenzialità di Internet sono infinite e spaziano in tutti i campi: due tra tutti, interessanti per la trattazione, l'e-commerce e l'e-banking. Tradizionalmente le transazioni necessitano di un'intermediazione fornita da una third party al fine garantirne la validità e l'integrità. Per superare tale vincolo, nel 2008 è stato pubblicato il paper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System", firmato da Satoshi Nakamoto, descrivente una nuova tecnologia atta a favorire scambi *peer-to-peer* tra i singoli utenti: la Blockchain. "What is needed is an electronic payment system based on cryptographic proof instead of trust, allowing any two willing parties to transact directly with each other without the need for a trusted third party" [6]. Tale nuova tecnologia, quindi, è nata come supporto per le transazioni effettuate tramite criptomonete, in particolare il Bitcoin. Questo capitolo, quindi, si aprirà con una descrizione di questa criptovaluta al fine di comprenderne le caratteristiche e le necessità da un punto di vista tecnico.

1.1 Bitcoin

La diffusione delle criptomonete è la manifestazione nel settore finanziario del trend crescente di spostamento verso la tecnologia digitale. Esse sono vere e proprie valute utilizzabili come bene di scambio, al fine di un acquisto di prodotti o servizi. La novità introdotta dalle criptovalute è la possibilità di uno scambio peer-to-peer, ovvero con assenza di intermediari, una volta raggiunto il consenso tra i partecipanti alla transazione. Per quanto riguarda la

relazione con la valuta ufficiale, la criptomoneta si può classificare come bidirezionale (come Bitcoin), unidirezionale e chiusa, a seconda se sia possibile scambiare bidirezionalmente la stessa con la moneta FIAT (a corso legale), se sia solamente convertibile la valuta ufficiale in criptomoneta o se lo scambio non sia permesso in alcun verso [7]. In particolare l'ultima alternativa è dovuta al fatto che, nella stragrande maggioranza dei Paesi, la criptovaluta non è regolamentata e l'accettazione o meno della stessa come mezzo di pagamento è su base volontaria [7]. In Europa la V Direttiva AML 2018/843 dell'Unione Europea descrive la criptomoneta come una "rappresentazione di valore digitale che non è emessa o garantita da una banca centrale o da un ente pubblico, non è necessariamente legata a una valuta legalmente istituita, non possiede lo status giuridico di valuta o moneta, ma è accettata da persone fisiche e giuridiche come mezzo di scambio e può essere trasferita, memorizzata e scambiata elettronicamente" [8]. Tuttavia la situazione si sta evolvendo, come dimostra una delle maggiori potenze mondiali, la Cina, in cui il Presidente Xi Jinping ha dichiarato a fine Ottobre 2018 di voler sviluppare la prima criptovaluta di stato [9].

L'ammontare di criptovalute al 16 marzo 2020 raggiunge il numero di 2453 per un valore totale di market cap di 133.991.896.237 dollari [10]. La prime dieci criptovalute ordinate per market cap sono visibili nella Tabella 1.1.

Name	Market Cap	Price	Volume (24h)	Circulating Supply	Change (24h)
Bitcoin	$84.881.564.763	$4.645,18	$39.681.995.873	18.273.037 BTC	-14,22%
Ethereum	$11.692.961.681	$106,19	$14.131.807.612	110.118.272 ETH	-16,24%
XRP	$5.929.812.558	$0,135328	$2.354.941.843	43.818.008.717 XRP *	-12,55%
Tether	$4.668.193.342	$1,01	$49.869.416.946	4.642.367.414 USDT *	0,40%
Bitcoin Cash	$2.807.338.927	$153,13	$3.248.399.767	18.333.625 BCH	-12,51%
Litecoin	$1.993.040.411	$31,00	$3.666.146.191	64.296.656 LTC	-14,05%
Bitcoin SV	$1.886.162.487	$102,90	$1.843.619.604	18.330.640 BSV	-15,49%
EOS	$1.634.179.915	$1,77	$3.437.758.494	920.973.261 EOS *	-13,46%
Binance Coin	$1.358.165.204	$8,73	$332.736.687	155.536.713 BNB *	-17,76%
UNUS SED LEO	$865.822.730	$0,866257	$3.320.584	999.498.893 LEO *	-7,87%

Tabella 1.1 - Prime dieci criptovalute per capitalizzazione di mercato al 16 marzo 2020 [10].

La criptovaluta che conta una tra le quantità maggiori di offerta circolante ed una capitalizzazione di mercato ed un prezzo più elevati è il Bitcoin. Il valore di questa criptovaluta ha subito molte oscillazioni, come si evince dalla Figura 1.1, toccando il suo massimo il 15 dicembre 2017 chiudendo a 17.604,85 USD [11]. Al 16 marzo 2020, un bicoin vale 4.835,8 USD. Questa oscillazione è in parte dovuta agli shock esogeni ed in parte al fenomeno dell'halving, causa discussa approfonditamente nella sottosezione 1.2.2 Incentivo economico. Nonostante l'elevata volatilità, Bitcoin ha ingrandito la sua quota di mercato: in Italia, a titolo esemplificativo, è risultata essere nel 2018 il terzo metodo di pagamento utilizzato per gli acquisti online, dopo PayPal e PostePay e prima della carta di credito [12].

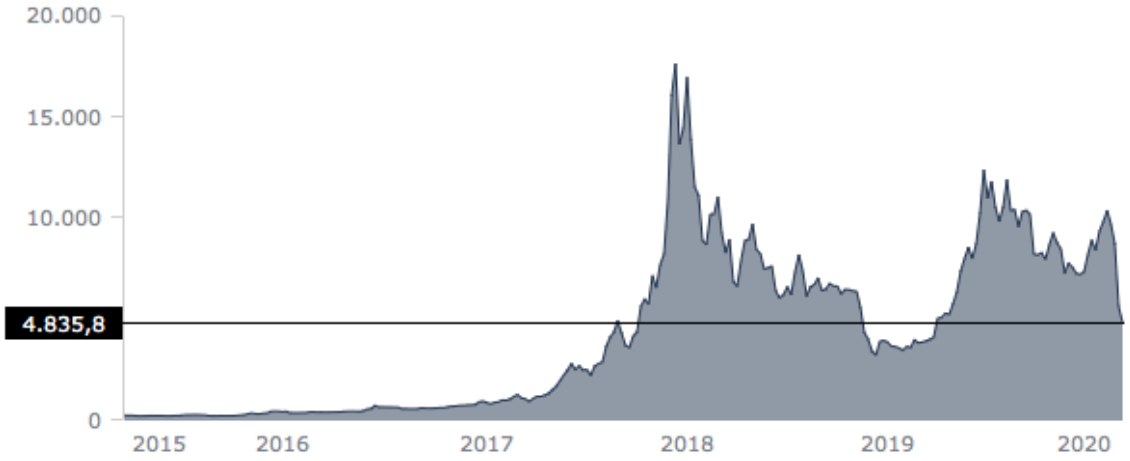

Figura 1.1 - Oscillazione prezzo Bitcoin al 16 marzo 2020 [11].

1.2 Blockchain Technology

"Blockchain is the tech. Bitcoin is merely the first mainstream manifestation of its potential." - Marc Kenigsberg, divulgatore di Blockchain e cryptocurrencies e fondatore delle start-up BlockSmarter e CoinJanitor [13].

Come precedentemente accennato, la Blockchain è nata come supporto tecnologico per il Bitcoin. Le sue proprietà hanno quindi il fine di soddisfare la necessità di record di elevate moli di dati in modo permanente, garantendo altresì la sicurezza e la privacy. La risposta informatica a questi bisogni è stata trovata nella crittografia asimmetrica e nell'hashing. Al fine di una piena comprensione di tali termini, nel seguente capitolo saranno descritti i fondamenti della nuova tecnologia.

La Blockchain è un registro distribuito, trustless, temporalmente ordinato, add-only, (semi)immutabile e tenente traccia di ogni transazione avvenuta dal tempo zero all'istante di tempo corrente. I soggetti facenti parti la rete, d'ora in avanti chiamati nodi data la loro possibile natura aziendale o corporativa, possono effettuare transazioni *inter se* senza la necessità di soggetti intermediari, quali le banche. Un esempio di scambio di denaro tradizionale è il bonifico, il quale si articola in almeno tre fasi: il soggetto A, Alice, dichiara la sua volontà di effettuare un bonifico, la banca verifica la disponibilità della tal somma sul conto corrente e, in caso affermativo, versa la stessa sul conto corrente del soggetto B, Bob. Il processo si complica maggiormente nel caso in cui i due soggetti non appartengano alla stessa banca, o ancora nel caso in cui detengano conti correnti in Paesi con valute differenti. La Blockchain permette

invece ai vari nodi della rete di effettuare transazioni in modalità peer-to-peer. Questa modalità comporta tuttavia un rischio, il *double – spend*. Essendo ogni criptomoneta in sostanza una sequenza di bit, può essere duplicata. Per evitare questa possibilità, il protocollo Blockchain assicura che, ogni qualvolta una transazione risulti validata, ogni singolo nodo ne sia messo a conoscenza tramite un meccanismo di broadcasting della versione più aggiornata della Blockchain. In questo modo nel momento in cui Bob riceve una somma, può autonomamente controllare che le criptomonete versategli non siano già state utilizzate in un'altra transazione. A differenza quindi di un database centralizzato, che si basa sulla fiducia che i vari utenti ripongono nel gestore centrale dello stesso, utilizzando la Blockchain ogni nodo è al pari degli altri e non soggetto ad un'autorità superiore: la rete è detta quindi *trustless.* È da notare tuttavia che questo meccanismo, eliminando gli intermediari, scarica l'onere del controllo sui singoli utenti, i quali, nel caso di errata valutazione, non possono rifarsi a nessuna autorità super-partes: la Blockchain è un registro add-only, ovvero quando una transazione è validata non esiste possibilità di recovery. Il processo di validazione di una transazione rappresenta quindi le fondamenta della tecnologia, in quanto dalla correttezza dello stesso dipende la sicurezza dell'intero network.

1.2.1 Validazione di una transazione

Si descrive di seguito il processo tramite cui una transazione è validata, di cui la rappresentazione grafica è illustrata nella Figura 1.2.

Generazione della transazione. Il mittente determina gli estremi della transazione, specificandone il ricevente e l'importo. Come meccanismo per l'autenticazione si utilizza la crittografia asimmetrica. Essa consiste in un paio di chiavi, una pubblica e una privata. Criptando il messaggio con la chiave privata, che corrisponde ad uno e un solo soggetto, tutti i possessori della chiave pubblica possono decriptare il messaggio. È garantita l'autenticità del mittente, ma ovviamente non la riservatezza del messaggio, caratteristica non ricercata dalla tecnologia Blockchain, la quale al contrario si pone come obiettivo la trasparenza e lo stesso livello di conoscenza da parte di ogni nodo.

Broadcasting della transazione. La transazione creata è quindi inviata a tutti i nodi della rete, ognuno dei quali può visualizzare il pool di transazioni *pending* ovvero in attesa di validazione.

Validazione della transazione e creazione del nuovo blocco. Il processo di validazione è una delle maggiori innovazioni introdotte dalla tecnologia Blockchain. Ogni *miner*, ovvero un nodo che valida le transazioni, sceglie un insieme di transazioni che unisce in un blocco, in modo tale

che la somma delle *n* transazioni rimanga entro i limiti di capacità del blocco (circa 500 transazioni o 1MB per la rete Blockchain Bitcoin). Da ciò si deduce quindi che l'ordine con cui le transazioni sono scelte non è detto corrisponda all'ordine temporale con cui le stesse sono state effettuate: non risulta essere un problema dal momento che ad ogni transazione è associato un *time stamp*. Ogni blocco così formato dev'essere poi "minato", ovvero il nodo creatore deve risolvere un puzzle crittografico.

Aggiornamento della Blockchain. Il nodo che per primo risolve il puzzle può aggiungere il blocco neonato alla Blockchain. La versione della Blockchain aggiornata è quindi inviata tramite *broadcasting* a tutti i nodi della rete. Talvolta può succedere che due nodi riescano entrambi a risolvere il puzzle crittografico relativo al loro blocco. In questi casi è possibile che si crei una *fork*, ovvero una biforcazione all'interno della Blockchain. I nodi che convalidano i blocchi successivi possono autonomamente scegliere in quale ramo aggiungere il nuovo blocco. Tali rami paralleli generalmente non sopravvivono a lungo, in quanto vi è spesso uniformità di decisione da parte della rete sulla biforcazione a cui aggiungere blocchi. Tale decisione, infatti è assimilabile ad un comune problema dei Generali Bizantini[1], in cui un accordo è sempre raggiunto a patto che almeno i due terzi della totalità dei nodi siano non fraudolenti. Tramite la scelta di prediligere un ramo della biforcazione ad un altro, quindi, sono espressi implicitamente l'accettazione ed il consenso per i blocchi precedentemente inseriti. Non sempre però le biforcazioni hanno vita breve. L'esempio più noto è la biforcazione della stessa rete Blockchain Bitcoin, avvenuta l'1 agosto 2017, che ha comportato la divisone tra Bitcoin (BTC) e Bitcoin Cash (BCH). Le finalità di questa scissione sono state l'aumento della dimensione dei blocchi (da 1 a 8 MB) e la velocizzazione delle transazioni. Tali innovazioni hanno reso più agevole l'utilizzo dei Bitcoin anche nei micro-pagamenti [14].

[1] Il problema matematico dei Generali Bizantini è stato per la prima volta teorizzato da Leslie Lamport negli anni Ottanta. Durante un assedio, *n* generali, nascosti in diversi punti strategici, devono comunicarsi la data e l'orario dell'attacco tramite l'invio di messaggeri. Il problema consiste nella possibile esistenza di traditori tra i generali e i messaggeri, e nell'incapacità di asserire a priori chi essi siano. Da tale problema derivano gli algoritmi BFT (Byzantine Fault Tolerance), una famiglia di algoritmi finalizzati al raggiungimento del consenso in un network untrusted, ovvero in situazioni in cui diversi nodi possono comportarsi in modo disonesto. I BFT garantiscono il consenso fino ad un limite massimo di corruzione di un terzo dei nodi (Ren 2019).

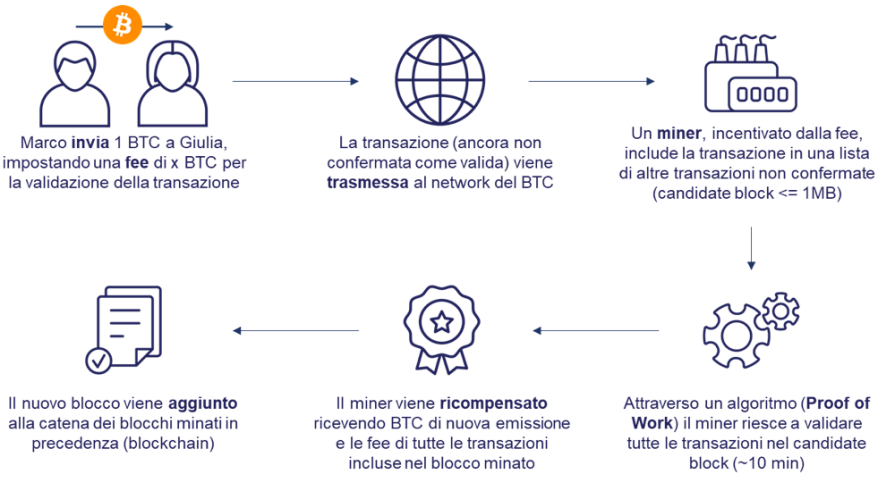

Figura 1.2 - Processo di validazione di una transazione [15] .

1.2.2 Incentivo economico

Come illustrato nella Figura 1.2, è presente un incentivo economico per i miner a validare le transazioni. Questo perché, come è quantificato nella sottosezione 1.2.4 Caratteristiche principali – Consumo energetico, il *mining* necessita di un'elevata quantità di energia e di capacità computazionale, pertanto il guadagno dev'essere tale da coprire i costi variabili dell'energia elettrica e da ottenere un ritorno sull'investimento iniziale in asset fisici. L'incentivo economico si compone di due parti: una *fee* associata ad ogni transazione ed una ricompensa per l'inserimento di un nuovo blocco nella Blockchain. La fee è un attributo della transazione, decisa dal creatore della stessa, di importo variabile. Dato l'ingente volume di transazioni pending e, al contrario, il ridotto numero di transazioni processabili al secondo (circa 7), la fee risulta essere una leva decisionale fondamentale, in quanto più la stessa è elevata e maggiore sarà la probabilità che i miner scelgano la transazione a cui è associata dal pool di pending. Il secondo incentivo economico, il *block reward*, non è invece deciso dai partecipanti alla transazione. Consiste in una somma di Bitcoin corrisposta al miner che introduce un nuovo blocco nella Blockchain, indipendentemente dal numero di transazioni presenti all'interno dello stesso. Tale somma è però destinata a diminuire nel tempo. Nativamente nel codice, infatti, è stato inserito il meccanismo di *halving*. Esso consiste in un dimezzamento automatico dell'ammontare di Bitcoin ricevuti dai miner ad ogni inserimento. Ciò avviene circa ogni 4 anni, esattamente al raggiungimento di 210 mila nuovi blocchi aggiunti. Il prossimo halving si stima avvenga tra il 10 e il 20 maggio 2020 (al 16 marzo 2020 la data stimata risulta essere il 12 maggio 2020) e porterà il block reward da 12,5 BTC a 6,25 BTC [16]. L'halving è stato

introdotto per limitare l'ammontare di criptovaluta in circolazione: la creazione di nuovi Bitcoin tende ad annullarsi con il passare degli anni. Questo procedimento ha anche gli effetti indiretti di aumentare il valore della criptomoneta sul mercato, in quanto l'offerta diminuisce, e di abbattere l'inflazione causata dal quotidiano aumento della moneta in circolazione [17]. Si è potuto osservare un esempio di tali fenomeni ad agosto 2019 nei giorni successivi all'halving della criptovaluta Litecoin: a seguito dello stesso il prezzo della criptovaluta è aumentato del 16% e l'inflazione è passata dall'8,7% al 4,35% [18].
Il motivo del cospicuo incentivo monetario ha radici nel processo di risoluzione del puzzle crittografico finalizzato all'inserimento di un nuovo blocco: per capirne l'impatto economico è bene analizzare nel dettaglio le modalità di funzionamento della Blockchain da un punto di vista informatico.

1.2.3 Hashing

La funzione di hashing permette di trasformare dei dati di input in una stringa, detta *hash*, di lunghezza definita composta da caratteri alfanumerici all'apparenza disposti randomicamente. Con una funzione ben progettata è estremamente improbabile che due set di dati di input abbiano lo stesso hash come output, nonostante le possibili combinazioni di dati di input siano un numero infinitamente maggiore rispetto ai possibili hash. La finalità per cui è utilizzato l'hashing è la prova dell'assenza di manomissione o modifica delle informazioni trasmesse. Nel caso in cui un soggetto possegga l'hash corretto dei dati di input può confrontarlo con l'hash di cui è in possesso: se vi è un mismatch tra i due vi è l'assoluta certezza di una manomissione dei dati, nel caso di match invece vi è un'elevata probabilità che i dati non siano stati modificati [19].
La principale caratteristica delle funzioni di hashing è l'asimmetria: il passaggio dai dati di input alla stringa di output è semplice da un punto di vista computazionale, ma al contempo è estremamente oneroso effettuare il percorso inverso. Ciò permette di utilizzare l'hashing come algoritmo per il consenso nella Blockchain. Ogni qualvolta un miner voglia inserire un dato blocco, deve riuscire a primeggiare nel risolvere un enigma computazionale di hashing inverso denominato *Proof-of-Work* (*PoW*). In particolare è richiesto di trovare un numero pseudo-randomico, detto *nonce*, combinando il quale con i dati presenti nel blocco in questione si ottenga un hash con determinate caratteristiche, generalmente è utilizzato come vincolo "a number of zero bits" [6] .Una volta trovato il nonce, il singolo nodo miner trasmette la propria soluzione all'intera rete tramite broadcasting. Come già accennato, passare dall'hash richiesto

ai dati necessari ad ottenerlo è complicato dal punto di vista computazionale, ma il passaggio dall'input all'output è invece immediato: è quindi semplice verificare la bontà della soluzione proposta dal nodo. La finalità della PoW è favorire la competizione tra i vari miner in modo tale da eliminare il rischio di monopolio dell'intera rete ad opera di un singolo nodo. La diretta conseguenza di tale obiettivo dichiarato è l'aumento di difficoltà del puzzle crittografico, detta *difficulty*, proporzionalmente al numero di miner presenti nella rete. Circa ogni due settimane (esattamente ogni 2016 blocchi inseriti), infatti, è aggiornato il difficulty-value in modo tale da garantire un intertempo costante di validazione di nuovi blocchi di circa 10 minuti [20]. L'espansione della rete Blockchain negli anni ha determinato la necessità di una sempre maggiore difficulty, come è visibile nella Figura 1.3.

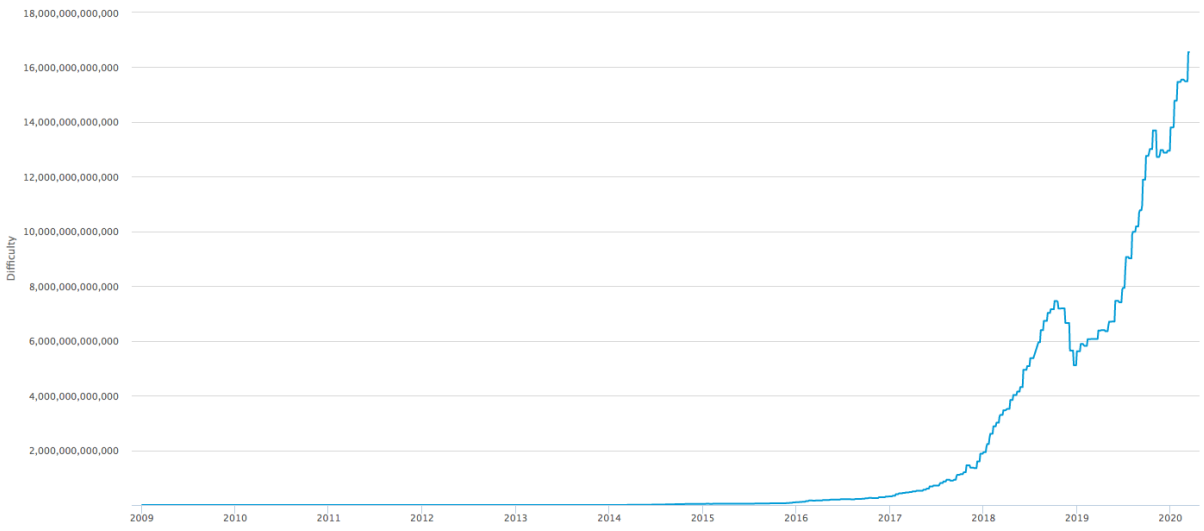

Figura 1.3 - Andamento nel tempo della difficulty della rete Bitcoin [21].

La potenza di elaborazione complessiva della rete Blockchain è anche detta *hash rate* e si misura in Th/s (Terahash al secondo). Ad oggi l'hash rate totale della rete Blockchain è 97.919.187 Th/s [22], che equivale al poter realizzare 98 trilioni di calcoli al secondo. Gli elaboratori atti a fornire un hash rate di tale entità necessariamente utilizzano un'elevata quantità di energia. La University of Cambridge stima che i Watt utilizzati giornalmente per la totalità dell'attività di mining siano pari a 5,41 GW [23].

L'impatto ambientale della Blockchain è quindi considerevole ed il passaggio dai database tradizionali a tale nuova tecnologia, allo stato attuale, non sarebbe sostenibile. Tuttavia la risoluzione del puzzle computazionale non è prescindibile in quanto, in assenza dello stesso, vi

sarebbe il rischio di incorrere nel cosiddetto *sybil attack*. Lo stesso consiste nella possibilità che uno stesso soggetto crei *n* nodi, sfruttando l'anonimato e il libero accesso al network, al fine di aumentare la probabilità di validare transazioni, falsando gli equilibri e la sicurezza dell'intera rete. Tramite la Proof-of-Work questo rischio è scongiurato, o perlomeno limitato, in quanto il costo energetico da sostenere sarebbe *n*-uplicato al fronte dell'ottenimento del medesimo reward, che rimarrebbe in ogni caso solo probabile e non certo.

Si sono sviluppati negli ultimi anni algoritmi di consenso alternativi finalizzati ad evitare il sybil attack ed essere, al contempo, sostenibili dal punto di vista ambientale; un esempio è la *Proof-of-Stake*. Tramite tale algoritmo, il nodo validatore è scelto tramite un processo che tiene in considerazione principalmente tre aspetti: l'asset finanziario detenuto dai singoli nodi (lo *stake*), il periodo di *staking* degli stessi (*coin age*) e la randomizzazione, in modo tale da garantire l'assenza di completa prevedibilità del nodo prescelto. Ogni Blockchain che si avvale della Proof-of-Stake come algoritmo di consenso prevede il proprio insieme di regole e può decidere arbitrariamente quale degli aspetti menzionati utilizzare come fattore decisionale preponderante. Generalmente in primis è considerato l'ammontare dello stake del nodo, ossia della somma in criptovalute che il soggetto deposita e immobilizza sul proprio wallet. Tale aspetto è considerato uno dei più significativi fattori decisionali, in quanto si presuppone che un soggetto che abbia investito ingenti quantità di denaro nel network abbia conseguentemente un maggiore incentivo ad agire in modo corretto, al fine di salvaguardare la sicurezza e la fiducia nell'intera rete. Gli algoritmi che prediligono invece il periodo di staking come parametro decisionale sono detti *coin age selection based*. Gli stessi valutano quindi il trade-off tra investimenti nella rete ed intervallo temporale di immobilizzo delle criptomonete nel wallet, scegliendo il nodo con il più alto valore associato derivante dal prodotto tra ammontare di criptovalute e periodo di staking in giorni. Una volta convalidata la transazione, la coin age del nodo prescelto è azzerata in modo da sfavorire la possibilità che la scelta ricada sempre sul medesimo nodo, generando un loop. In assenza dell'azzeramento, infatti, anche all'iterazione successiva sarebbe selezionato lo stesso nodo, in quanto lo stake rimarrebbe costante e la coin age aumenterebbe per tutti i nodi del delta di giorni intercorsi. Infine le Blockchain che prediligono la randomizzazione valutano la combinazione tra il maggiore valore di stake e il minore hash-value: essendo entrambi i dati pubblici, è possibile prevedere l'identità del nuovo nodo validatore.

L'attività di mining nelle reti che utilizzato l'algoritmo Proof-of-Stake è detta *forging*. Ogni nodo, una volta forgiato un nuovo blocco, ottiene come reward solamente la somma delle fee

associate ad ogni transazione inserita e non, come nelle reti che si avvalgono della Proof-of-work, un ammontare fisso di Bitcoin per ogni blocco che entra a far parte della Blockchain. L'inflazione derivante è quindi minore: il prezzo delle criptovalute che utilizzano la Proof-of-Stake come algoritmo di consenso è più stabile. La scelta di divenire un nodo validatore è volontaria e reversibile. Nel caso in cui un nodo voglia sottrarsi a tale compito, l'ammontare di criptovalute immobilizzate come stake ritorna a far parte della disponibilità del wallet, trascorso un certo periodo di tempo necessario a verificare che le transazioni validate in passato dal nodo fossero corrette. Nell'eventualità in cui un nodo validi volontariamente transazioni contraffate o false, infatti, è sottratto automaticamente parte dello stake dal wallet dello stesso. Tale penalizzazione, oltre ad essere economica, ha anche l'effetto di escludere il nodo da successive validazioni, in quanto ne riduce la probabilità di selezione. L'idea alla base consiste nella convinzione che, fintantoché lo stake immobilizzato che può essere sottratto al soggetto risulta maggiore del possibile guadagno derivante da un'attività fraudolenta, l'incentivo a validare una transazione non corretta è nullo.

1.2.4 Caratteristiche principali

La Blockchain è però una tecnologia disruptive, oltre che per le sue caratteristiche tecniche, per le modifiche che comporta a livello di gestione delle transazioni. Si analizzano di seguito nel dettaglio le caratteristiche principali, positive e negative, di tale tecnologia da valutare per propendere o meno verso l'adozione della stessa in un determinato campo o in una certa impresa.

Immutabilità

In primis è doveroso citare la peculiarità responsabile dell'elevato hype attorno alla Blockchain: l'immutabilità. Come già accennato, la Blockchain è un registro add-only, ovvero i blocchi facenti parte la stessa non possono essere cancellati o modificati. Ciò diversifica questa nuova tecnologia da un database tradizionale, dove i dati oggetti di record possono essere sempre aggiornati, ovviamente con vincoli dettati dai differenti livelli di autorizzazione di cui godono i soggetti che vi hanno accesso. Tali vincoli nelle Blockchain, perlomeno in quella Bitcoin, non esistono. In realtà l'immutabilità non è un vero e proprio aspetto intrinseco, bensì un effetto indiretto del processo di validazione dei blocchi. Ogni blocco contiene un hash che richiama il blocco precedente, pertanto un tentativo di modifica di un singolo blocco interno alla catena, comporterebbe necessariamente la modifica di tutti i blocchi successivi allo stesso. Essendo che

anche la modifica, come la creazione, di un blocco deve essere validata, l'effort necessario a modificare il singolo nodo e quelli ad esso successivi è tale da essere in sé un disincentivo molto potente alla contraffazione. È sufficiente la presenza di 5/6 blocchi a valle del blocco in esame affinché possano ritenersi immutabili le transazioni contenute all'interno dello stesso [19].

Decentralizzazione

Altra caratteristica altamente innovativa è la decentralizzazione. Il trend crescente di allontanamento dal paradigma tradizionale di scambio di beni e informazioni, porta ad un'esclusione graduale della figura dei *middlemen*, gli intermediari, che risultano superflui in un mondo in cui le operazioni possono avvenire in modalità Peer-to-Peer. Con la Blockchain si esclude la necessità di un'autorità centrale che garantisca l'affidabilità dei soggetti e la veridicità delle transazioni effettuate. Sono infatti gli stessi nodi che, attraverso l'algoritmo di consenso, validano le informazioni inserite nella Blockchain. Non vi è quindi un accentramento decisionale, ma ogni nodo ha uguali possibilità di inserire informazioni, verificarne la correttezza ed ottenere per il lavoro svolto una ricompensa in criptomonete.

Il finora descritto è l'intento fondante la Blockchain, teorizzato da Satoshi Nakamoto. Tuttavia l'applicazione su larga scala ha fatto emergere difficoltà in tale modus operandi. Al fine di risultare un membro attivo dal punto di vista della validazione dei nodi è necessario superare delle barriere all'ingresso, tecniche o finanziarie a seconda dell'algoritmo di consenso. Per sopperire a questo impedimento spesso più nodi aggregano le loro singole risorse per aumentare la probabilità di inserire blocchi nella Blockchain e ottenere quindi il block reward. Nelle reti governate dall'algoritmo Proof-of-Work le singole capacità computazionali dei nodi sono unite in *mining pool,* mentre nelle reti dove vige la Proof-of-Stake i nodi uniscono i loro fondi personali in un unico *wallet* condiviso creando così uno *staking pool*. Mentre il wallet condiviso è virtuale, il mining pool deve essere un luogo fisico. Si sono infatti sviluppate negli anni le *mining farm*, server rooms occupate da apparecchiature ASICs, Application Specific integrated Circuits, dedicate alla risoluzione di puzzle crittografici e finalizzate ad aumentare il margine di profitto tramite lo sfruttamento delle economie di scala. Spesso non se ne conosce il luogo esatto, ma dati i requisiti necessari al funzionamento efficiente si possono individuare i Paesi più adatti. La Cina in primis, dato il basso costo dell'elettricità ed essendo il primo produttore degli ASICs, condizione che permette un approvvigionamento ed una manutenzione a costi minori. A causa della necessità di basse temperature al fine di raffreddare gli hardware, anche i Paesi freddi sono ottimi candidati. Conseguentemente alla sempre maggiore sensibilità dei

governi alla sostenibilità, inoltre, un'altra variabile chiave per il posizionamento delle mining farm è la regolamentazione vigente riguardante le tematiche ambientali. Tutti i sovracitati fattori decisionali, ovvero basso costo dell'energia, clima freddo e normative per la sostenibilità ambientale, non possono prescindere dalla facilità di accesso ad una connessione internet [24]. Tali sforzi per aumentare la potenza computazionale sono generalmente finalizzati ad aumentare la probabilità di ottenimento di criptovalute come reward. Tuttavia potrebbe non essere l'unico scopo. Si presupponga che un singolo nodo possieda più del 50% della capacità computazionale dell'intera rete, tale nodo statisticamente sarebbe il responsabile validatore di più della metà delle transazioni. Ne risulterebbe la possibilità di record nella Blockchain di transazioni modificate, contraffate o false senza nessun controllo. Questo rischio è detto *51% attack.* Ovviamente è tanto più probabile quanto le reti Blockchain sono composte da un numero ridotto di nodi, ma è tanto più grave quanto le reti sono altamente decentralizzate. In questo secondo caso, infatti, i nodi non si conoscono l'un l'altro, spesso vige l'anonimato, e ripongono la fiducia della veridicità delle transazioni inserite nella Blockchain esclusivamente nella rete, ovvero negli algoritmi di consenso che ne stanno alla base. Nel momento in cui questi vengono meno, quindi, viene meno la sicurezza del sistema stesso. Un esempio di quanto la comunità Bitcoin sia consapevole dell'impatto che potrebbe avere il monopolio sull'intera rete si è riscontrato il 13 giugno 2014. In tale data la mining pool Gash.io ha raggiunto il controllo di più del 50% dell'hash rate dell'intera rete per qualche ora. Non appena la soglia è stata superata, diversi miner appartenenti alla mining pool hanno spontaneamente deciso di fare un passo indietro per salvaguardare la sicurezza del network. A livello finanziario, lo spettro della centralizzazione decisionale ha comportato un crollo della fiducia nella criptovaluta e una conseguente diminuzione del prezzo della stessa [25].

Questo è uno dei fattori esogeni sovracitati che, insieme al meccanismo di halving, possono essere responsabili dell'elevata volatilità della quotazione di mercato delle criptomonete. Le precedentemente menzionate barriere all'ingresso tecnologiche o finanziarie, quindi, hanno lo scopo di scongiurare il rischio del 51% attack.

Public/private e permissionless/permissioned

I nodi appartenenti ad una Blockchain possono svolgere tre funzioni: read, write e commit. *Read*: i nodi hanno accesso allo storico delle transazioni, condizione che permette loro di risalire dallo stato as-is allo stato as-was. *Write*: i nodi possono effettuare transazioni ed inserirle nel pool delle pending in attesa di validazione. *Commit*: i nodi possono modificare il ledger, ovvero possono inserire nuovi blocchi nella Blockchain validando le transazioni in sospeso. A seconda che tutti i nodi abbiano o meno l'autorizzazione per svolgere tutte e tre le funzioni, le Blockchain si dividono in *permissionless* e *permissioned*. Le seconde si allontanano dall'idea di network originariamente teorizzata da Satoshi Nakamoto, in quanto necessitano di un'autorità centrale e di un sistema di governance per la determinazione di quali nodi possano svolgere quali funzioni [26].

La seconda classificazione delle Blockchain può essere effettuata sulla base delle restrizioni dell'accesso alla rete, ossia sulla possibilità di *join*. Le Blockchain *public* permettono ad ogni nodo che lo desideri di diventare parte integrante del network, mentre nelle *private* la partecipazione prescinde dalla decisione di un'autorità super-partes. La Figura 1.4 riassume le caratteristiche delle quattro tipologie di Blockchain derivanti dall'intersezione delle due classificazioni sopracitate, evidenziando per ognuna il livello di scalabilità raggiungibile.

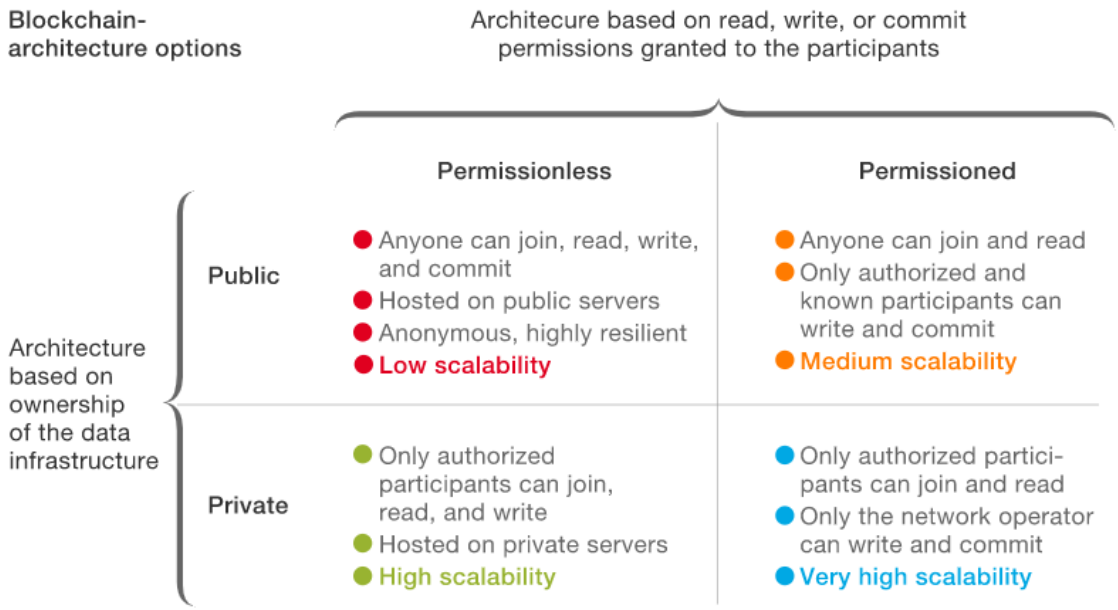

Figura 1.4 - Tipologie di Blockchain [27] .

Ai due estremi troviamo la Blockchain *public/permissionless*, di cui un esempio è la rete Bitcoin, e la *private/permissioned*. La seconda tipologia è caratterizzata, quindi, da limitazioni di accesso e di operatività. I nodi partecipanti al network sono selezionati da una third party considerata degna di fiducia dagli stessi, per tale motivo non è possibile l'anonimato. Ciò comporta un quasi totale azzeramento dei rischi di sybil e 51% attack e, di conseguenza, un'assenza di necessità della Proof-of-Work. Le Blockchain private/permissioned, pertanto, sono maggiormente sostenibili da un punto di vista ambientale e richiedono una minore dotazione di dispositivi hardware ad elevata capacità computazionale. L'assenza del tradizionale processo necessario all'inserimento di nuovi blocchi comporta altresì una maggiore scalabilità, problema molto sentito, nelle Blockchain public/permissionless. Nelle realtà aziendali, spesso la scelta ricade sulle Blockchain private/permissioned in quanto garantiscono un maggiore livello di privacy e segretezza, poiché la fruizione e la scrittura delle informazioni sono vincolate ad una previa autorizzazione. La sicurezza delle stesse è riposta nella loro impenetrabilità, e non solo nell'algoritmo di consenso e negli algoritmi Byzantine Fault Tolerance come in quelle tradizionali.

Scalabilità

Il termine scalabilità si riferisce alla capacità di un sistema di gestire un workload crescente senza diminuire la propria efficienza. Nel caso in cui sia necessario un maggiore effort rispetto all'inevitabile aumento di risorse, quindi, il sistema è detto non scalabile.

La Blockchain Bitcoin, a causa del *Blockchain trilemma*, è definita non scalabile. Tale termine è stato coniato dal fondatore di Ethereum, Vitalik Buterin, per descrivere i trade off che i crypto projects fronteggiano al fine di ottimizzare le perfomance della rete e l'architettura sottostante la stessa: scalabilità, decentralizzazione e sicurezza. Essendo tutti gli attributi non binari, durante la progettazione è da determinare in primo luogo la scala di priorità, dopodichè, fissato il livello di scalabilità/decentralizzazione/sicurezza target per l'attributo più importante, massimizzare gli altri [28]. Si prenda a titolo esemplificativo la rete Bitcoin: essa prioritizza decentralizzazione e sicurezza, a svantaggio della scalabilità. Vi sono, infatti, dei vincoli strutturali che potrebbero essere superati tramite l'esclusione di alcuni nodi dalla condivisione delle informazioni, centralizzando quindi l'attività decisionale, o tramite il rilassamento dei vincoli necessari per la sicurezza, accettando quindi il rischio di eventuali tentativi di frode. Il limite strutturale principale è il *throughput*. Nella Blockchain i blocchi hanno una dimensione massima di 1 MB ed ogni transazione in media raggiunge 280 bytes. Dato l'obiettivo implicito

di mantenere di circa 10 minuti il *block time*, ossia il tempo di creazione di un nuovo blocco, la Blockchain può validare in media 7 TPS (transaction per second). Questo numero, comparato alle 193 TPS di PayPal e alle 1667 TPS di Visa, mostra l'attuale impossibilità nel trasferire la totalità delle transazioni effettuate worldwide sulla Blockchain [15]. Le transazioni, infatti, non sono validate in tempo reale, ma devono attendere un periodo detto latenza affinché siano inserite in un blocco e quindi nella Blockchain, in quanto la velocità di accumulo delle transazioni pending supera la velocità di validazione. Al fine di risolvere tale limite, sono state teorizzate diverse possibili soluzioni: diminuzione del block time, aumento del *size block*. Nelle condizioni attuali, il processo di raggiungimento del consenso si divide nel tempo effettivo di risoluzione del puzzle crittografico da parte dei miner, di durata di circa dieci minuti, e nel broadcasting della Blockchain aggiornata, attività che allo stato attuale della rete impiega circa un minuto. Mantenendo costanti tutte le altre variabili e dimezzando il block time, si otterrebbe un tempo di validazione di cinque minuti a fronte di un tempo di broadcasting di un minuto: il delta temporale diverrebbe assai ridotto. Con la diminuzione del block time, quindi, nel caso di problemi sulla rete, il rischio di disallineamento e asimmetria informativa tra i nodi diverrebbe significativo. La seconda possibile soluzione consiste in un aumento del size block. Sempre ipotizzando di mantenere costanti le altre variabili, un aumento della dimensione limite dei blocchi per esempio a 10 MB comporterebbe da un lato un miglioramento nella velocità di elaborazione delle transazioni, ma al contempo un sensibile aumento della dimensione delle Blockchain, che già allo stato attuale raggiunge i 267,619 GB [29]. In tal caso il problema diverrebbe quindi la capacità di *storage* dei singoli nodi e l'estensione del tempo di attesa per subentrare nella rete, in quanto il download dell'intera Blockchain passerebbe dall'essere ore all'essere giorni. Non è altresì da tralasciare come, in seguito all'aumento del size block, il broadcasting dei nuovi blocchi inseriti o delle comunicazioni di avvenuta risoluzione del puzzle crittografico necessitino di tempistiche maggiori, con un conseguente gap temporale di scambio di informazioni tra i vari nodi e quindi una condizione di asimmetria informativa e di assenza di sincronizzazione. Una possibile soluzione potrebbe essere la registrazione da parte dei nodi solamente di un hash "di riepilogo" dei blocchi precedenti ed una memorizzazione separata dell'intero storico delle transazioni; tuttavia tale soluzione porterebbe nuovamente ad avere un unico *point of failure* e il conseguente aumento del rischio di *denial of service*, problematica risolta con il passaggio dai database tradizionali alla Blockchain tramite la decentralizzazione.
Data la scarsa fattibilità delle soluzioni implicanti modifiche strutturali della rete, sono state teorizzate modalità alternative di raggiungimento di una maggiore scalabilità: lo *sharding* e il

Lighting Network. Lo sharding consiste nella divisione dell'intera Blockchain in "sub-network", aventi ognuno il proprio ledger. Con questa modalità non è necessario che i nodi detengano lo storico di tutte le transazioni, ma sono sufficienti quelle relative al proprio shard. La diretta conseguenza è una diminuzione della sicurezza, in quanto vi è un ridotto numero di nodi validatori, ed un'elevata difficoltà di gestione delle transazioni tra due nodi appartenenti a shard differenti. Il Lighting Network è una soluzione che appartiene alla famiglia delle *second-layer scaling solutions*. Come si evince dal nome, tale famiglia di soluzione prevede, oltre al primo registro dove sono inseriti i blocchi validati, un secondo registro ausiliario. L'idea alla base del Lighting Network è la possibilità che vi siano transazioni frequenti o periodiche tra coppie di nodi. Tra la coppia è quindi aperto un canale di pagamento inizializzato con un certo *balance* per entrambi i nodi. Tutte le transazioni effettuate all'interno del canale sono salvate sul registro ausiliario, il quale, a differenza del primario, non necessita del processo validazione tramite la PoW o la PoS, ma solamente della conferma di entrambi i partecipanti. L'apertura del canale è reversibile, pertanto in ogni momento esso può essere chiuso anche unilateralmente. In tale circostanza solamente il saldo delle transazioni è registrato sul registro primario, calcolato come differenza tra i balance iniziali e finali dei due nodi. Essendo una soluzione *off-chain* presenta diversi vantaggi quali la maggiore velocità di record delle transazioni, tendente al real time, e la maggiore sostenibilità ambientale, dovuta alla sola necessità della conferma e non della risoluzione del puzzle crittografico. I benefici del Lighting Network possono essere sfruttati anche in assenza di un canale diretto tra una coppia di nodi. Nel caso in cui Alice e Bob vogliano scambiarsi BTC ma tra di loro non vi sia un canale aperto, se entrambi posseggono un canale aperto con Carol possono effettuare la transazione in due step: Alice-Carol e Carol-Bob. Tale condizione è ovviamente vincolata ad un balance sufficiente in entrambi i canali [15].

Consumo energetico

Il procedimento di validazione delle transazioni tramite l'algoritmo di consenso PoW e la necessità di raffreddamento degli hardware atti a tale processo sono responsabili di un elevato dispendio di energia elettrica. Tale ammontare di energia è destinato ad aumentare a causa dell'espansione del network e del conseguente aumento della difficulty. Per stimare il consumo di energia elettrica, è stato lanciato dalla Cambridge University un tool on-line in grado di mostrare la proiezione annuale del consumo in tempo reale (aggiornato ogni 30 secondi) della rete Blockchain, chiamato Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI). Il consumo della stessa ha registrato un andamento nel tempo non costante. Ad oggi sembra

essersi stabilizzato intorno ad un valore di 80,58 TWh, ipotizzando un consumo costante nell'intero anno. In particolare le stime oscillerebbero in un intervallo tra 38,29 e 126,17 TWh, a seconda se ci si affidi a stime ottimistiche o pessimistiche, ossia se si ipotizzi che la totalità dei nodi operi utilizzando i supporti tecnici con il più alto livello di efficienza sul mercato o, al contrario, il più basso tale da garantire ancora un guadagno. Tale valore può essere comparabile a stati quali Colombia e Venezuela che contano rispettivamente un consumo annuale di 68,25 e 71,96 TWh [23]. La proiezione annuale del consumo della Blockchain rappresenta altresì mediamente lo 0,32% del consumo di energia elettrica worldwide. Tale tasso di consumo non è distribuito mondialmente in maniera uniforme, ma varia notevolmente da regione a regione. In particolare, negli Stati sedi delle mining pool, la percentuale è pericolosamente più alta. Un esempio dell'impatto che il mining possa avere su un'economia nazionale si è riscontrato a inizio 2018 in Islanda. In tale occasione il portavoce di HS Orka, l'azienda rivenditrice di energia islandese, ha asserito che, nel caso si fossero portati a termine tutti i progetti di costruzione di mining pool ipotizzati per il Paese, l'Islanda avrebbe rischiato il blackout a causa della scarsità di risorse energetiche [30].

Al fine di combattere il trend crescente di consumo di energia, sono stati studiati dei metodi di validazione alternativi alla PoW. Esempi sono la PoS, già trattata nella sottosezione 1.2.3 Hashing, in cui un nodo è scelto non sulla base di una risoluzione di un puzzle crittografico, bensì sulla valute immobilizzate sul proprio wallet (quantità o periodo di immobilizzo delle stesse a seconda dei casi), e la *Proof-of-Elapsed-Time* (*PoET*). Quest'algoritmo mira alla completa randomizzazione della scelta dei nodi validatori. Ogni qualvolta sia necessario raggiungere il consenso, ogni nodo riceve un *timer-object* dal codice fidato: il nodo che ottiene il tempo minore diviene il nuovo nodo validatore. A garanzia del fatto che il singolo nodo non sia fraudolento e che stia effettivamente eseguendo il codice fidato, all'entrata di un nuovo attore nel network lo stesso propaga tramite broadcasting un messaggio di join con l'attestazione dell'affidabilità del codice firmata tramite il meccanismo della crittografia asimmetrica [31].

2. Supply Chain

Il contesto competitivo in cui le aziende si trovano ad operare al giorno d'oggi è divenuto nel tempo sempre più globale, tanto che non è più pensabile analizzare un'organizzazione come nucleo isolato, ma è necessario considerare la stessa come parte di una "catena", chiamata comunemente Supply Chain, in grado di collegare il nodo più a monte della filiera e l'end customer. È tuttavia complicato determinare i "confini" di una Supply Chain. Tale termine ha negli anni subito un'evoluzione e tuttora non si è raggiunta una definizione universalmente accettata della stessa. L'idea di Supply Chain si è infatti sviluppata dal concetto di logistica e non vi è una netta linea di separazione tra le due. A seconda degli approcci seguiti, la Supply Chain può essere considerata la parte della logistica che si occupa esclusivamente delle dinamiche outside the firm (approccio *traditionalist*) o al contrario l'insieme di diverse funzioni aziendali, una della quali la logistica (approccio *unionist*). Secondo altre scuole di pensiero, invece, la Supply Chain e la logistica sono generalmente appartenenti a categorie di processi diversi, che talvolta confluiscono in zone di intersezione comuni (approccio *intersectionist*); infine vi è una scuola di pensiero per cui i due termini sono sinonimi (approccio *re-labeling*) [32]. Nel presente elaborato si adotterà la definizione di Supply Chain fornita dal CSCMP (Council of Supply Chain Management):

"Supply Chain Management (SCM) is responsible for the planning and management of resources, including procurement of resources, the transformation of these resources into products and all logistics management activities, as well as the cooperation with suppliers, intermediates, third-party service providers and finally channel partners involved in this process and coordination process" [19].

Il SCM può pertanto essere riassunto come la gestione ed il coordinamento dei tre principali flussi esistenti internamente e tra i diversi livelli di una filiera: informativo, finanziario e fisico [33]. Generalmente il flusso più carente tra le diverse realtà aziendali è l'informativo in quanto, senza scambio di materiali, semilavorati e prodotti finiti ed i relativi trasferimenti di denaro, il sistema mancherebbe di operatività. Il ridotto scambio di informazioni tra i vari attori, invece, non inficia direttamente le attività aziendali, ma comporta deficit da un punto di vista di efficienza e spesso anche di efficacia. Il SCM si occupa pertanto di migliorare le performance

aziendali agendo sui processi che interessano i tre flussi sopracitati. A tal fine è fondamentale l'integrazione tra i tali diversi processi, condizione che dipende dal grado di sviluppo della Supply Chain a cui l'impresa appartiene. Secondo il modello sviluppato nel 2004 da Archie Lockamy e Kevin McCormack [34] , vi sono cinque livelli di maturità di una catena di fornitura che differiscono nella cooperazione e integrazione tra le aziende e di conseguenza sulle performance:

Ad hoc. È il livello a cui appartengono generalmente le Supply Chain appena costituite. I processi necessari allo scambio di informazioni, materiali e denaro non seguono delle procedure prestabilite e le responsabilità dei diversi attori non sono ben definite. Il costo di gestione e coordinamento è pertanto elevato e le performance globali sono scarse.

Defined. Il primo passo per il perfezionamento della Supply Chain è la definizione rigorosa dei ruoli dei diversi attori all'interno della filiera e la formalizzazione delle procedure necessarie all'esecuzione dei processi. In tale stadio è possibile determinare degli obiettivi e un'embrionale valutazione delle performance. È tuttavia ancora complicata la comunicazione e la collaborazione tra le diverse realtà aziendali a causa della prevalenza di silos funzionali.

Linked. Tale livello rappresenta il passaggio del focus dalla singola impresa all'intera filiera (*breakthrough level*). Si investe sulla collaborazione tra i vari attori, condizione che permette la definizione di KPI e obiettivi comuni per l'intera Supply Chain.

Integrated. L'allineamento e la cooperazione tra le imprese sono presenti a livello del singolo processo. Il costo di gestione e coordinamento decresce sensibilmente, mentre è possibile implementare tecniche collaborative di previsione e pianificazione dell'intera Supply Chain.

Extended. Il livello massimo di maturità di una filiera è raggiunto nel momento in cui i singoli attori non si reputano nodi isolati, bensì un'unica entità, e la competizione sul mercato non è avvertita tra le diverse realtà aziendali, ma tra le differenti Supply Chain.

L'evoluzione della filiera produttiva dal primo al quinto livello è un procedimento dispendioso da un punto di vista di tempo e di effort profuso. La volontà di migliorare il grado di maturità dev'essere condivisa da tutti gli attori appartenenti alla data Supply Chain: sono fondamentali un mindset collaborativo e un rapporto di fiducia tra i diversi nodi. Come già accennato, le differenti realtà aziendali devono considerarsi come un'unica entità. A livello di intera filiera, quindi, si stabiliscono target da raggiungere e bisogni da soddisfare. In particolare quest'ultimi si dividono in bisogni dell'end-customer e del prodotto stesso: è necessario il soddisfacimento di entrambi al fine di creare un prodotto di valore ed essere una Supply Chain competitiva sul mercato.

2.1 Sfide delle Supply Chain moderne

Specialmente in alcuni settori, come il farmaceutico e l'alimentare, i beni movimentati hanno vere e proprie necessità che devono essere soddisfatte al fine di consegnare un prodotto di valore all'end-customer. Il bisogno non prescindibile è l'ambiente controllato, data pressione e temperatura, senza il quale vi è il rischio di deterioramento del prodotto. Il consumatore medio, però, ritiene il non perimento una condizione *sine qua non*, pertanto implicita e non considerabile un valore aggiunto. Si è potuta invece constatare la sempre maggiore attenzione da parte dell'end-customer alla provenienza del prodotto e sostenibilità lungo tutti gli stadi della filiera e lungo tutto il lifecycle del prodotto. Il luogo di provenienza è fondamentale per due macro categorie di motivazioni: prevenzione e brand. Il primo settore a cui si ricollega il bisogno di prevenzione è l'alimentare, in cui è frequente che siano ritirati dal mercato lotti di produzione potenzialmente dannosi per la salute. I rischi derivanti possono interessare solo parte dei consumatori ed essere di lieve entità, quali la possibilità di contaminazione incrociata, oppure avere natura più grave come la presenza di batteri patogeni. L'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) stima che ogni anno si registrano 600 milioni di infezioni e 420.000 a causa dell'assunzione di cibo contaminato [35]. Il settore alimentare non è però il solo settore ad essere interessato alla provenienza dei prodotti per questioni di sicurezza. Nel settore automobilistico, per esempio, è emblematico il caso degli airbag dell'azienda produttrice di componentistica giapponese Takata. A causa di un difetto di fabbricazione e il derivante possibile rischio di esplosione del componente, sono stati registrati sedici decessi e, secondo la US National Highways Traffic Safety Administration (Nhtsa), undici case automobilistiche sono state costrette a ritirare dal mercato un totale di 41,6 milioni di veicoli [36]. Per quanto invece concerne l'importanza dell'origine del prodotto al fine di un miglioramento dell'immagine e visibilità del brand, si può prendere ad esempio l'azienda Loro Piana, operante nel settore tessile. La stessa negli anni '80 ha finanziato un progetto volto al ripopolamento di un camelide a rischio estinzione originario dell'altopiano andino, la vicuña, che registra il primato per il vello più fine del regno animale, allo scopo di utilizzare lo stesso per la produzione di pregiati capi d'abbigliamento [37]. Infine negli ultimi anni il luogo di provenienza è divenuto di estrema importanza per ragioni etiche, il mercato Bio ne è un esempio significativo: secondo il Parlamento Europeo, nel 2016 il mercato dell'organic food raggiungeva la cifra di 30,7 miliardi di euro di vendite, con un incremento rispetto al 2012 del 47,7%; queste cifre hanno registrato una crescita fino ad oggi [38]. Le motivazioni per cui la

quota di mercato ha registrato un aumento notevole sono la crescente attenzione al benessere animale, sia in rifermento ad un'alimentazione sana che a condizioni di vita virtuose, ed alle tematiche ambientali. Quest'ultime comprendono, a titolo esemplificativo, lo sfruttamento del suolo, gli agenti inquinanti immessi nell'atmosfera e i prodotti chimici o farmaci utilizzati nelle coltivazioni e negli allevamenti. Tali preoccupazioni sono condivise globalmente. A dimostrazione di ciò, al World Economic Forum del 2020, dove le maggiori potenze mondiali discutono sul modo di affrontare i dieci rischi ritenuti più probabili e impattanti sull'economia globale ed il sistema finanziario, hanno ricoperto le prime cinque posizioni problematiche legate all'ambiente, spodestando i rischi di furto di dati e di cyber-attacchi presenti l'anno precedente [39].

Le tematiche sopracitate rientrano nel più ampio tema della sostenibilità, che ha registrato una sempre maggiore attenzione da parte dell'end-customer così come da parte delle aziende. L'agenzia di monitoraggio pubblicitario The Easy Way, in collaborazione con il Politecnico di Milano, ha evidenziato nel primo quadrimestre del 2019 un uso da parte dei media di keywords correlati alla sostenibilità del 34% maggiore rispetto all'anno precedente [40]. Questa maggiore stimolazione a cui è sottoposto il consumatore comporta necessariamente un aumento dell'impegno profuso dalle imprese in tale ambito. La sostenibilità è tuttavia un concetto ben più ampio rispetto alla percezione dei consumatori, e racchiude al suo interno più aspetti che permettono di valutare il prodotto lungo il suo intero ciclo di vita. Alcuni degli ambiti della sostenibilità da prendere in considerazione sono, a titolo esemplificativo, tecnologico, energetico, ambientale, economico e sociale. In particolare il primo aspetto richiama la scelta lungimirante di materiali tecnologici in riferimento a come gli stessi potranno essere smaltiti in seguito all'uso. L'energetica riguarda la tipologia di fonti energetiche impiegate per l'alimentazione delle attività dell'impresa, ossia se le stesse sono o meno rinnovabili. L'ambientale si base sull'assunto che le risorse presenti sul pianeta non sono inesauribili e riguarda, pertanto, lo sfruttamento oculato delle stesse al fine della preservazione. L'economica riguarda invece pratiche di vendita e di acquisto che non impattino negativamente o migliorino l'ambiente nel lungo periodo. Infine la sostenibilità sociale è volta alla diffusione di un mindset orientato ad un consumo critico al fine di migliorare le condizioni di welfare generali. L'impegno profuso dalle imprese sul tema della sostenibilità è notevole: secondo il report GreenItaly 2019, realizzato con il patrocinio del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, la quota dei cosiddetti eco-investimenti delle imprese nel 2018 è stata 21,5%, rispetto al 14,3% del 2011 [41]. È tuttavia da citare il fenomeno del *greenwashing* che

consiste in azioni di marketing ingannevoli perpetuate al fine di presentare al consumatore l'azienda come sensibile alle tematiche ambientali per migliorare la propria immagine, senza che le stesse abbiano reali fondamenti.

La risposta delle imprese ai sopracitati bisogni emergenti è più o meno marcata e sollecita a seconda del settore e del core business aziendale. È tuttavia certo che la dedizione con cui le stesse cercano di soddisfare le necessità dei clienti è notevole, in quanto tale attitudine può rivelarsi un fattore di differenziazione rispetto ai competitor. Non è nota a priori la strategia per far fronte a tali nuovi sfide che possa garantire di emergere nel mercato, o perlomeno di rimanere a galla. È infatti da tenere a mente che un'impresa, nella scelta degli investimenti, deve valutare i trade-off tra tali nuovi obiettivi ed i tradizionali, quali il mantenimento dei costi e del lead time bassi, la varietà dell'offerta, la gestione dei trasporti e delle scorte, il continuo perfezionamento della qualità del prodotto e la necessità di risultare up-to-date con le tecnologie emergenti. In particolare la capacità di individuare quest'ultime in anticipo rispetto alla media può comportare il successo di un'impresa. La Supply Chain è infatti un campo in cui l'innovazione è fondamentale per il miglioramento dell'efficienza e quindi delle performance globali. Le tecnologie che maggiormente potranno impattare in tal senso sono descritte nella sezione seguente.

2.2 Digitalizzazione delle Supply Chain moderne

I primi anni della scorsa decade hanno determinato l'avvento della quarta rivoluzione industriale. L'Industria 4.0 è un concetto che racchiude l'ottimizzazione della produzione industriale tramite nuove tecnologie pensate per raggiungere, grazie all'ausilio di infrastrutture informatiche volte all'integrazione dei diversi processi intra e inter aziendali, la collaborazione tra le macchine e gli operatori, tramite i sistemi ciberfisici (*CPS – cyber-physical system*). Condizione imprescindibile per il raggiungimento di tale progetto è la digitalizzazione delle imprese, ossia il passaggio da una gestione della produzione in locale, manuale o tramite fogli di calcolo, ad una totale registrazione dei dati su dei file visualizzabili a computer. A tal fine è necessaria l'interazione e la collaborazione dei vari sistemi fisici e informativi. Per portare a termine questa transizione è fondamentale la presenza in aziende di figure professionali con competenze tecniche adeguate. Il problema maggiormente riscontrato nelle imprese odierne nelle prime fasi della trasformazione digitale è chiamato, dalla società di consulenza Deloitte, *chicken-and-egg* [42]. Si è riscontrata l'esistenza di un gap tra il grado di digitalizzazione delle imprese e il grado di competenze tecniche medie possedute dalle risorse. Il problema consiste

nella difficoltà nel colmare tale gap in quanto meno un'impresa è matura digitalmente e maggiore sarà la ricerca da parte della stessa di figure professionali qualificate, le quali però non saranno attratte da tale realtà ma ricercheranno impieghi presso imprese digitalmente più mature.
Secondo l'*Annual Industry Report* redatto nel 2019 da MHI, associazione operante nel settore del material handling, logistica e supply chain, in collaborazione con Deloitte, sono undici le tecnologie emergenti che guideranno la nuova generazione industriale in un arco temporale futuro di 3-5 anni [42]. Di seguito si fornisce un elenco delle stesse, ordinate in base alla percentuale di utilizzo ad oggi nelle Supply Chain:

Cloud computing and storage. Il cloud computing permette lo sfruttamento, tramite la rete Internet, delle risorse informatiche presenti in rete. L'erogatore del servizio dispone di un set di risorse che possono essere assegnate ai diversi utenti che ne richiedono l'utilizzo in base alla disponibilità. Una volta terminata la fruizione del servizio, sono reimpostate in automatico le condizioni iniziali di tali risorse. Le principali applicazioni di tale tecnologia sono il trasferimento, l'elaborazione ed il salvataggio dei dati. In particolare quest'ultima funzionalità, detta cloud storage, consistente nel record di informazioni in rete, mira a sostituire la tradizionale modalità di archiviazione in locale allo scopo di garantire sincronizzazione e delocalizzazione. Grazie alla diffusione del cloud computing, si sono evolute nuove forme di fornitura dei servizi. Tradizionalmente i modelli di distribuzione predominanti sono stati i cosiddetti *on-premise*, consistenti nell'istallazione del software su dispositivi locali, in un ambiente circoscritto come un'azienda. Il modello di distribuzione emergente è invece il *SaaS* (*Software as a Service*): il servizio è messo a disposizione dal provider tramite una piattaforma on-line, sfruttando quindi il cloud. I benefici sono un abbassamento dei costi di implementazione e dei successivi aggiornamenti del software. Tuttavia al contempo si riscontra un aumento del rischio per la sicurezza dei dati, in quanto gli stessi sono più facilmente accessibili rispetto ad una soluzione on-premise in cui lo storage degli stessi avviene in locale. A dimostrazione della vulnerabilità del sistema, uno studio di Statista dimostra come il 36% degli attacchi di *pishing* globalmente effettuati nel 2019 avesse come obiettivo i SaaS, insieme al Webmail [43].

Inventory/network optimization tools. Sono strumenti di supporto alla modellizzazione di un'intera Supply Chain o di singoli processi che valutano trade-off tra costi e value-added.

Sensor and automatic identification. Strumenti quali Barcode, NFC, RFID e GPS utilizzati per l'identificazione ed il monitoraggio degli spostamenti e delle condizioni al contorno del pezzo fisico, al fine di migliorare il sistema di tracking and tracing, il controllo di processo e l'inventory management aziendale. In particolare gli RFID (Radio Frequency IDentification) mirano a sostituire la tradizionale modalità di identificazione tramite Barcode basata su codici grafici leggibili tramite scanner. I tags RFID non necessitano infatti di essere fisicamente visti dai reader, condizione che evita per esempio l'esigenza di depalletizzazione e la scomposizione in colli singoli, ed al contempo le distanze operative possono raggiungere le decine di metri. A seconda dell'oggetto di identificazione, l'RFID può essere apposto al singolo item (*item tagging*) o ad un set degli stessi (*box tagging*).

Robotics and automation. Tale tecnologia riguarda l'ingegnerizzazione di robot finalizzata alla collaborazione e graduale sostituzione delle risorse umane aziendali. I robot sono infatti programmati per rispondere a determinati input eseguendo attività precise, riducendo quindi la percentuale di errore. Inoltre è possibile la sostituzione di robot in ambienti ostili o pericolosi per l'essere umano, in mano da garantire, oltre ad un aumento dell'efficienza, un miglioramento delle condizioni di sicurezza.

Predictive analytics. Tale strumento sfrutta metodi di modellazione statistica combinati al *machine learning* al fine di analizzare i dati storici, individuarne dei trend ed effettuare previsioni. In particolare l'input è costituito da enormi moli di dati difficilmente elaborabili in quanto derivanti dall'aggregazione di informazioni relative a fattori differenti, quali politici, economici, sociali, ambientali e operativi. Tramite le tecniche di predictive analytics sono comparati scenari caratterizzati da condizioni al contorno simili e sono dedotti statisticamente finali alternativi.

Industrial Internet of Things. L'IoT consiste nella connessione in rete degli oggetti al fine di una interazione tra gli stessi ed al contempo una migliore collaborazione con le risorse umane, tramite sistemi di sensoristica ed elaborazione dati. L'evoluzione tecnologica sospinge l'IoT verso l'*Internet of Everything* (*IoE*). Esso consiste nell'espandere la connessione alla rete dai soli oggetti, a processi, persone e dati. I campi applicativi potrebbero in potenza essere la totalità dei settori. Tramite il supporto di una rete smart, si potrebbe per esempio assicurare un risparmio energetico derivante dall'accensione degli impianti di illuminazione pubblica

limitatamente al passaggio degli utenti, o in ambito medico garantire un monitoraggio continuo delle condizioni di salute dei pazienti tramite l'upload dei dati derivanti da apparecchi per la misurazione della glicemia o della saturazione di ossigeno.

Wearable/mobile technology. Tale tecnologia comprende tutti i device pensati per essere direttamente indossati dall'utente.

3D printing (additive manufacturing). L'additive manufacturing comprende l'insieme di tecnologie che permettono di ottenere degli oggetti reali in 3D a partire da un modello computerizzato degli stessi.

Autonomous vehicles and drones. Al fine di ottimizzare il sistema dei trasporti, in particolare per fronteggiare le maggiori problematiche odierne quali la *last-mile* e la *city logistics*, sono state sviluppate tali nuove tecnologie. Esse permettono un flusso più efficiente in quanto sono in grado di ottimizzare algoritmicamente il percorso in base all'ora del giorno ed alle condizioni meteorologiche e di traffico. È presumibile il risvolto positivo derivante dall'unione di tali caratteristiche con tecniche di analisi statistica, sistemi di sensoristica e machine learning. I veicoli autonomi ed i droni sono in una fase avanzata di sviluppo da un punto di vista tecnologico, ma è ancora deficitaria la regolamentazione riguardante l'interazione con i veicoli comuni e le limitazioni sullo sfruttamento dello spazio aereo.

Artificial intelligence. L'AI mira alla sostituzione delle macchine nei task generalmente svolti da risorse umane in quanto richiedenti l'uso della ragione. A differenza delle applicazioni tradizionali che sono progettate per l'adempimento di un compito specifico, l'intelligenza artificiale mira all'apprendimento progressivo da parte della macchina (*machine learning*). La stessa spesso ha inizialmente a disposizione informazioni limitate e perfezione la propria conoscenza tramite fasi di training basate sul concetto del *learning by doing*. La nuova frontiera del machine learning è il *deep learning*, campo in cui il processo di apprendimento è realizzato tramite reti neurali (*ANN – Artificial Neural Network*) composte da diversi layer in cui ogni strato aggrega i dati del precedente e restituisce i nuovi dati di input dello strato successivo.

Blockchain/distributed ledger. Tale tecnologia è stata descritta nel dettaglio nella sezione 1.2 Blockchain Technology.

Come è possibile osservare dalla Figura 2.1, si stima che in un orizzonte temporale maggiore di sei anni la quota di adozione delle seguenti tecnologie crescerà significativamente, determinando altresì delle variazioni nell'ordinamento date dalle previsioni di successo nell'applicazione delle tecnologie stesse. Al fine del seguente elaborato di tesi, è interessante notare come la BCT ad oggi sia la tecnologia che riscontra una minore percentuale di impiego, appena il 10%, ma sia destinata a crescere fino a raggiungere il 76% di adoption rate, ottenendo quindi una crescita del 660%.

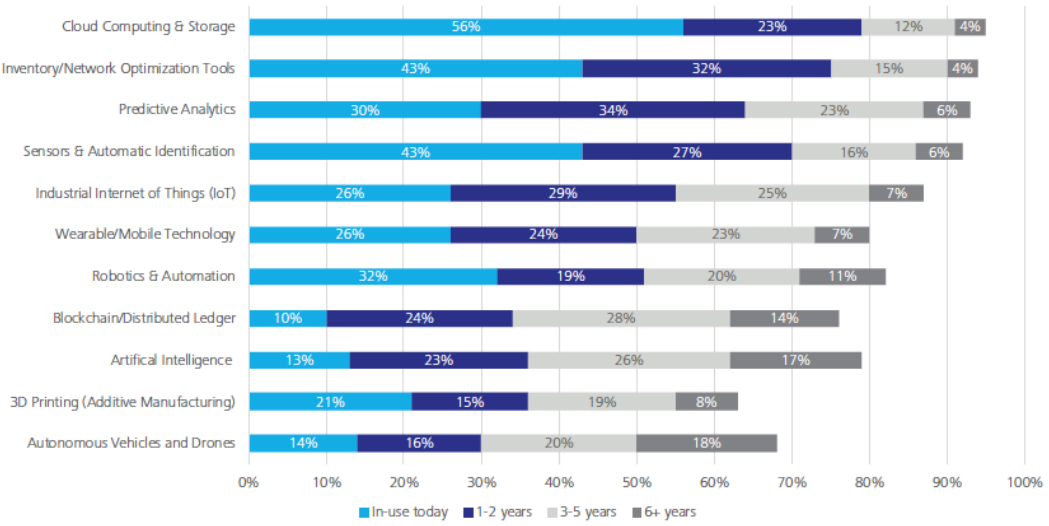

Figura 2.1 - Adoption rate delle tecnologie in un orizzonte temporale di sei anni [42].

Non tutte le tecnologie sopracitate, tuttavia, avranno lo stesso impatto sulla Supply Chain. Come mostrato nella Figura 2.2, talune permetteranno l'ottenimento di un vantaggio competitivo derivante dall'applicazione delle stesse, mentre talaltre si distingueranno per il loro carattere altamente innovativo e disruptive. In particolare si nota come il fattore che maggiormente permette la differenziazione di un'impresa rispetto ai competitor sia l'utilizzo della tecnologia Predictive analytics. Grazie alle previsioni di andamento del mercato, infatti, è possibile un perfezionamento della gestione delle scorte e dei trasporti ed una migliore programmazione dei periodi di carico quindi di allocazione dello spazio produttivo, condizione che permette una sensibile riduzione di costi legati allo stock out, tecniche di crashing e reperimento di over-capacity. Le tecnologie che, invece, risultano essere maggiormente disruptive sono Robotics and automation e Artificial intelligence. Si prevede, infatti, che le stesse modificheranno radicalmente la struttura e le modalità di organizzazione delle Supply Chain attuali. Entrambe le tecnologie mirano ad una sempre maggiore collaborazione tra le

risorse umane e le macchine, avendo però come scopo ultimo la sostituzione delle prime con le seconde. Tale soluzione senza dubbio avrà impatti positivi sull'efficienza e sulla percentuale di errore, ma modificherà le modalità di organizzazione del lavoro e le competenze tecniche richieste alle nuove figure professionali che si affacciano nel mercato del lavoro.

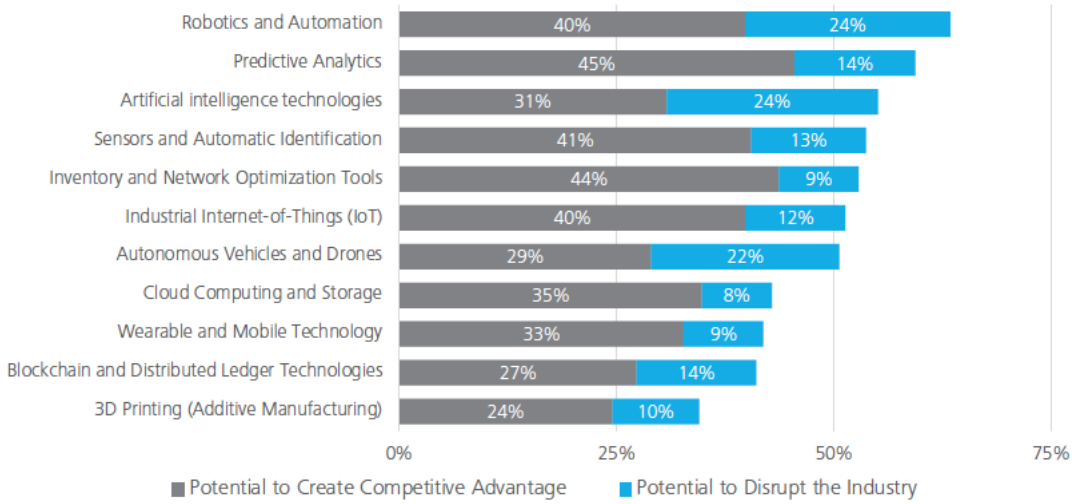

Figura 2.2 - Potenzialità di creazione di vantaggio competitivo e natura disruptive delle tecnologie [42].

Secondo il report *How blockchain is revolutionizing supply chain management* redatto nel 2017 dalla società di consulenza Ernest & Young e pubblicato sul D!gitalist magazine, il maggiore ostacolo presente sulla strada per il raggiungimento della completa digitalizzazione può essere riassunto con la frase "Oceans of digital data, but only islands of useful information" [44]. Nelle imprese che stanno affrontando il periodo di transizione in cui i dati da cartacei divengono digitali, il problema più significativo che si riscontra è la mancanza di integrazione tra i diversi dati digitalizzati. L'archiviazione dei dati in formato digitale generalmente non è un processo continuo, bensì discreto. A titolo esemplificativo si pensi al trasferimento di un pacco: in assenza di tracking tramite GPS in real-time, si conoscerebbe solo l'istante di spedizione e di arrivo a destinazione, ignorando le dinamiche intercorse tra i due istanti di tempo. Un altro aspetto problematico è l'assenza di interoperabilità tra i diversi sistemi gestionali, o più in generale tra le modalità di archiviazione, in cui sono registrati i dati, il ché comporta la necessità di un trasferimento manuale degli stessi tra i vari nodi. Il passaggio cartaceo di informazioni tra i diversi stadi digitalizzati rischia di vanificare la precisione e affidabilità delle stesse, in quanto permane la possibilità di commettere errori di trascrizione. Inoltre, con una tale modalità di trasferimento dei dati, si configura uno scenario in cui vi è assenza di sincronizzazione e dati

non up-to-date. La gestione manuale e paper-based del lavoro non è attualmente un fenomeno marginale. Secondo le stime del 2017, in UK ogni risorsa destina a tali attività 55 ore settimanali. Le stesse sono da sommare alle 39 deputate alla risoluzione di errori e allineamento delle discrepanze interne, alle 23 necessarie a rispondere alle richieste dei fornitori ed alle cinque necessarie all'allineamento delle fatture. Il superamento delle friction causate da questi ed altri comportamenti o pratiche inefficienti, necessita in totale 6.500 ore uomo [19].
La sfida imposta dal contesto odierno alle Supply Chain è pertanto il superamento di tali gap esistenti al fine di poter beneficiare a pieno delle tecnologie emergenti implementabili solamente data una piena digitalizzazione.

2.3 Stato dell'arte delle Supply Chain moderne

L'*Annual Industry Report* di MHI e Deloitte evidenzia altresì quali sono le challenge da fronteggiare al fine di poter ottenere e mantenere un vantaggio competitivo nel contesto odierno [42]. Identifica come più sfidante l'obiettivo di reperimento di figure professionali qualificate tecnicamente per fronteggiare il cambiamento digitale e tecnologico in atto, come già accennato. Il contesto odierno in cui operano le imprese, infatti, è cambiato drasticamente rispetto al passato. Con il progredire delle rivoluzioni industriali si è osservata la traslazione del focus delle filiere: inizialmente sulla produzione, poi sul prodotto e infine sull'end-customer. Basti pensare a realtà quali Amazon, la quale ha identificato come il primo dei valori aziendali la *customer obsession*. L'obiettivo delle Supply Chain moderne è il soddisfacimento dei bisogni e dei desideri del cliente tramite un aumento della customizzazione dell'offerta e una diminuzione del response time, mirando quindi ad un incremento continuo del service level. Le strategie aziendali, pertanto, non sono necessariamente l'ottimo assoluto, ma sono studiate in modo da bilanciare il trade-off tra l'adattamento dell'operatività dell'impresa alle necessità del cliente e l'efficienza. Un esempio di come le imprese cerchino di avvicinare i desideri del cliente a discapito dell'ottimizzazione dei costi è la crescente frammentazione delle consegne. La soluzione più efficiente maggiormente utilizzata nel passato è stata l'effettuare spedizioni verso centri di distribuzione, magazzini e negozi, ad intervalli più o meno lunghi e regolari di tempo, in modo da ottenere mezzi di trasporto viaggianti a pieno carico (*FTL - full truck load*). Tale modalità di consegna non può, nel contesto odierno, essere la sola utilizzata. Agli operatori logistici, infatti, è richiesta una sempre più elevata frequenza di consegna delle merci presso un crescente numero di nodi di destinazione interni alle città: tale condizione ha portato alla nascita

della *city logistic*. Secondo il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, essa può essere definita come il ramo della logistica che si occupa di:

"programmare, gestire e coordinare i flussi delle merci nelle città, assicurando il movimento di beni, attrezzature e rifiuti verso, da, per o attraverso un'area urbana, il rifornimento di esercizi e punti vendita, la riparazione delle attrezzature, la consegna a domicilio delle merci, la fornitura di servizi di manutenzione a gli edifici nonché il prelevamento dei rifiuti urbani per il loro conferimento nei luoghi deputati al loro smaltimento" [45].

Tale branca della logistica ha come effetti collaterali il peggioramento della congestione del traffico cittadino e dell'inquinamento acustico e l'incremento delle emissioni di agenti inquinanti. Nonostante tali limiti e la crescente difficoltà nel raggiungere il cliente finale nel luogo e nel tempo richiesto e il conseguente incremento dei costi logistici, si è osservato un trend crescente nei profitti del settore. La piattaforma Statista compara le revenue di FedEx, uno dei logistic provider leader di mercato negli USA, in un decennio: ha registrato 69,69 miliardi di dollari, quasi duplicando i 35,5 miliardi del 2009 [46].
La domanda crescente di servizi logistici è dovuta in primis alla diffusione del mercato dell'e-commerce. Esso rappresenta su scala globale la nuova frontiera della compra-vendita di prodotti, sia nelle transazioni commerciali tra imprese (*B2B – business to business*) che tra imprese e privati (*B2C – business to consumer*), tra cui è da citare il modello emergente *D2C, direct to consumer*, riguardante la vendita di beni da parte di un'azienda attraverso i propri canali di distribuzione direttamente al cliente finale. Un'indagine condotta da Statista stima che nel 2024 saranno 5,06 miliardi gli utenti che acquisteranno on-line, a fronte dei 3,9 miliardi, ossia circa il 50% della popolazione, del 2019 [47]. Nello stesso anno le revenue del mercato e-commerce globale hanno raggiunto 1.704 miliardi di euro, e si stima che il valore divenga 2.620 miliardi nel 2024. Secondo la società di consulenza digitale SMC Consulting, il fatturato prodotto nel 2018 dalle vendite on-line in Italia ha raggiunto 41,5 miliardi di euro ed hanno contribuito 42,3 milioni di utenti. Il settore che ha registrato una maggiore quota di mercato, più del 40%, è stato il tempo libero, seguito da turismo (28%) e centri commerciali (14,5%). A livello europeo, invece, il settore trainante è la moda (circa il 25%), seguito da elettronica e tempo libero [48]. Nel 2019, secondo Forbes, dieci e-retailer hanno insieme raggiunto un market share pari al 15,1% del totale. Tra di essi il primo è Amazon, seguito da JD.com e Suning, entrambe aziende cinesi operanti principalmente nella vendita al dettaglio nel mercato

nazionale [49]. Si può dire che l'e-commerce abbia modificato il paradigma tradizionale di interazione tra venditore e acquirente e, di conseguenza, l'intera esperienza di acquisto. Prima della possibilità di acquistare on-line, il negozio fisico, anche detto *brick and mortar*, era il luogo in cui il consumatore era solito recarsi per esperire il prodotto, testarne concretamente le caratteristiche e istaurare interazioni personali con il venditore. Con la vendita on-line decade necessariamente la fisicità dell'esperienza, pertanto i rivenditori sono costretti ad affidarsi ad altri fattori. Diviene importante trasmettere al cliente l'idea di non essere acquirente solamente del dato prodotto fisico, ma in generale di un servizio. Nella vendita on-line sono fattori strategici di differenziazione la varietà dell'offerta, i tempi e le modalità di consegna e di reso. È divenuta, pertanto, di fondamentale importanza la *last-mile logistic*, definita come:

"movimentazione di persone o merci da un transportation hub alla loro destinazione finale".

L'importanza della stessa deriva dalla necessità di combinare differenti modalità di consegna, spesso all'interno della stessa area urbana. Ciò che le imprese cercano di offrire ai clienti è l'omnicanalità, ossia la possibilità di scegliere l'esperienza e la modalità di acquisto più adatta alle proprie esigenze, ottenendo il medesimo livello di servizio. Oltre al tradizionale brick and mortar, il consumatore può scegliere di acquistare un prodotto on-line e ricevere la merce direttamente a domicilio (modalità *click and buy*) o ritirarla presso un negozio o un hub (modalità *click and collect*). Quest'ultima possibilità è preferita dalla quotaparte di clienti che per esigenze, lavorative e non, non possono garantire la propria presenza presso l'abitazione nei consueti orari di consegna; per incontrare le esigenze di tali clienti, infatti, alcune imprese hanno ipotizzato, e messo in pratica in alcune città, consegne serali e in giorni festivi. È fondamentale pertanto, l'affidabilità dell'operatore logistico, combinata all'attendibilità delle informazioni sulle quantità e caratteristiche dei prodotti presenti a magazzino.
Questi numerosi sforzi da parte delle imprese mostrano quanto il contesto odierno sia caratterizzato dall'importanza del service level. Rispetto al passato, infatti, il cliente è meno affezionato al brand specifico, in quanto è in grado autonomamente e senza sforzo di reperire informazione sui prodotti offerti dai vari competitor, confrontandone caratteristiche e funzionalità; tale affermazione non è tuttavia valida per i settori i cui prodotti, se di scarsa qualità, potrebbero arrecare danni per la salute o la sicurezza del consumatore. Data la *brand loyalty* in diminuzione, sono fondamentali i programmi di fidelizzazione della clientela. Secondo Crowdtwist, azienda americana che offre una piattaforma per la fidelizzazione del

consumatore, le società che nel 2019 meglio sono riuscite nell'intento di coltivare l'affetto dei propri clienti sono Apple, agevolata dall'effetto *lock-in* del proprio sistema operativo, Amazon e Starbucks [50]. È però da tenere a mente che spesso i consumatori tendono a preferire un prodotto ad un altro per lo status symbol che esso evoca. Tuttavia i programmi di fidelizzazione, per la stragrande maggioranza delle imprese, non bastano per invertire il trend. È pertanto fondamentale evitare rotture di stock, ritardi nelle consegne, o ogni altra azione implicante lo shifting delle preferenze del cliente a vantaggio di un altro brand.
Da ciò si desume quindi che, nonostante l'evoluzione delle Supply Chain, permangano, parallelamente ai nuovi, i problemi che hanno caratterizzato le filiere multilivello fin dalla loro origine. È doveroso a tal proposito citare l'*effetto bullwhip*, descritto come:

"l'aumento progressivo e non proporzionale della variabilità della domanda lungo i livelli upstream della filiera in seguito ad una variazione della domanda a valle".

I fattori che alimentano tale effetto sono principalmente il deficitario scambio di informazioni tra i vari attori della Supply Chain e la mancanza di visibilità sui livelli di inventory e della domanda dei nodi upstream e downstream appartenenti alla filiera. Com'è noto, tale condizione potrebbe implicare, tra le altre cose: elevati costi di magazzino data una gestione non ottimale (sia *over*-stock che *stock*-out), diminuzione della fiducia riposta negli altri player, assenza di bilanciamento del *work-load* delle risorse (sia *under* che *over-capacity*). Negli anni si sono susseguite modalità di incentivazione dei vari attori e di gestione delle scorte finalizzate a contenere tale fenomeno, ma non sono risultate essere completamente risolutive.
Un comportamento delle imprese finalizzato alla collaborazione, quindi l'istaurazione di un regime di trust tra le stesse, è stato dimostrato aver un impatto positivo sulle performance dell'intera Supply Chain. La mancanza di cooperazione restituisce al cliente un'immagine di non coesione della filiera e di assenza di trasparenza nella comunicazione. Tale percezione negativa potrebbe indurre il cliente a modificare le proprie preferenze.
Come già accennato infatti, l'end-customer può facilmente accedere all'ampia varietà di offerta presente sul mercato. Il rischio a cui però va incontro il consumatore medio è la contraffazione. Essa è definita dalla Guardia di Finanza come "la violazione di un diritto di proprietà intellettuale perpetrata attraverso la riproduzione illecita di un bene e la relativa commercializzazione uti originalis, in violazione di un diritto di proprietà intellettuale e/o industriale" [51]. Secondo stime dell'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo

Economico) pubblicate nel report *Il commercio dei beni contraffatti e l'economia italiana*, il l'import del contraffatto ha raggiunto il valore di 12,4 miliardi di euro in Italia nel 2016. I settori maggiormente interessati sono risultati essere l'abbigliamento, gli accessori e l'elettronica, ed i principali Paesi da cui con una più elevata probabilità provengono i beni sono la Cina (in cui è compreso Hong Kong), Grecia e Emirati Arabi Uniti [52]. La proliferazione della commercializzazione di prodotti illegali è imputabile all'aumento delle vendite on-line, in quanto risulta maggiormente difficoltoso accertarsi della provenienza e dell'autenticità dei prodotti. A tal fine, Amazon ha lanciato *Project Zero* negli USA ad inizio 2019 ed ha avviato un progetto pilota per l'Europa. Tale progetto si pone l'obiettivo di eliminare la commercializzazione tramite il portale e-commerce di prodotti contraffatti grazie all'ausilio di avanzate tecnologie di analisi, machine learning e segnalazioni effettuate dalle aziende produttrici facenti parte del progetto [53]. L'acquisto di prodotti contraffatti comporta ingenti danni economico-sociali ad ogni stakeholder coinvolto. La contraffazione provoca, infatti, mancati introiti fiscali per il governo, diminuzione delle vendite e dei profitti (e conseguente diminuzione dei posti di lavoro) per le imprese e rischi per la salute e la sicurezza per i consumatori. La Coldiretti stima che il valore del mercato del falso Made in Italy nel solo settore agroalimentare abbia superato il valore di 100 miliardi nel 2018, registrando un aumento del 70% negli ultimi dieci anni. La portata del fenomeno è dovuta al tentativo riuscito di confusione del consumatore sul luogo di provenienza tramite l'utilizzo di nomi di località, colori e immagini che abbiano un cosiddetto *Italian sounding* [54]. Basti pensare al noto caso del prosciutto Made in Parma, dove però Parma si è scoperta essere una località nella provincia cinese di Gansu, a sud-ovest di Pechino [55], o ancora alla multa inflitta dalla Antitrust nel gennaio 2020 alla catena di supermercati Lidl per aver indotto i consumatori a considerare erroneamente italiana l'origine della pasta a marchio "Italiamo" [56]. Oltre ai danni di immagine riscontrabili dalle reali aziende produttrici, le imitazioni rappresentano un rischio per la salute dei consumatori in quanto non sottostanno alle normative garanti della sicurezza alimentare vigenti.

3. Blockchain e Supply Chain

La BCT è presentata come una tecnologia disruptive, ossia capace di stravolgere i business model esistenti. Non tutte le innovazioni così denominate, tuttavia, si sono affermate nel tempo come tecnologie dominanti di uso comune a causa della difficoltà riscontrata da utenti, infrastrutture preesistenti e mercato in generale di fronteggiare il cambiamento necessario.
Secondo l'*Harvard Business Review* [57] l'iter affrontato da ogni nuova tecnologia che si appresta a divenire di uso comune dipende principalmente da due fattori: la novità e la complessità della stessa. La novità della tecnologia emergente si riferisce a quanto la stessa è o meno in linea con le attuali modalità di gestione e di operatività, quindi la sua natura disruptive. Tale aspetto impatta necessariamente sulla capacità dei potenziali users di comprenderne a pieno il funzionamento, le potenzialità e le criticità. La complessità della nuova tecnologia riguarda invece la facilità di implementazione, termine generale che comprende al suo interno: il grado di digitalizzazione necessario, l'eventuale presenza di barriere all'ingresso, la necessità di economie di rete per la diffusione della tecnologia, il numero di attori e di risorse necessariamente coinvolte e, di conseguenza, la collaborazione e il coordinamento degli stessi.
La tecnologia emergente che con ogni probabilità ha maggiormente rivoluzionato lo stato dell'arte delle comunicazioni e del trasferimento di dati è stata la *stack* di protocolli TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol), sui quali si basa il funzionamento della rete Internet. Lo sviluppo della stessa, come già accennato nell'introduzione al capitolo 1. Blockchain, era inizialmente finalizzato all'interconnessione di diversi computer allo scopo di scambio di messaggi, verifica dell'arrivo a destinazione e della correttezza degli stessi e notifica alla controparte di errori riscontrati nella trasmissione. È evidente quanto si siano moltiplicate le applicazioni ed i settori di interesse di tale tecnologia. Lo studio della diffusione della Blockchain Technology suggerisce che anche questa tecnologia seguirà lo stesso processo di evoluzione.
Marco Iansiti e Karim R. Lakhani, professori presso l'Università di Harvard, hanno proposto un framework, visibile graficamente nella Figura 3.1 in cui è effettuato un confronto tra i protocolli TCP/IP e la Blockchain.

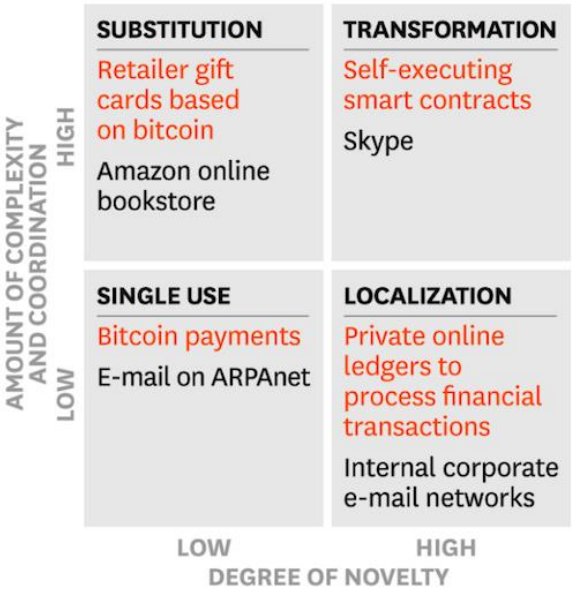

Figura 3.1 - Framework confronto protocollo TCP/IP e Blockchain [57].

Tale framework unisce le due dimensione sopra descritte proprie di una tecnologia emergente, novità e complessità, individuando quattro quadranti, ognuno dei quali corrispondente ad una diversa fase di maturità della tecnologia. I quattro step affrontati [57] nel corso dell'evoluzione sono nell'ordine:

Single use. Tale quadrante rappresenta la fase embrionale della tecnologia. Le applicazioni possibili sono quelle per cui la stessa è stata sviluppata, sono pertanto altamente settoriali e focalizzate su di un ristretto numero di utenti.

Localization. Con la diffusione della nuova tecnologia è possibile trovare applicazioni sempre più innovative. Tuttavia la conoscenza e la comprensione del funzionamento della stessa spesso non crescono alla stessa velocità, pertanto l'utilizzo ne rimane limitato ad una cerchia ristretta di users.

Substitution. Molti degli sviluppi di una qualsiasi tecnologia non possono prescindere dall'utilizzo di massa della stessa, in quanto per la corretta operabilità sono fondamentali le economie di rete. Basti pensare banalmente ad un social network: fintantoché il numero di utenti non raggiunge una soglia critica, si può godere di una limitata utilità. Solo all'aumentare degli attori interessati alla tecnologia, quindi, è possibile introdurre soluzioni basate sulla tecnologia emergente più complesse. È da sottolineare, al contempo, la crescente difficoltà di coordinamento tra i diversi utenti che comporta l'istaurazione di sistemi di governance.

Transformation. Questo quadrante identifica la fase di maturità della tecnologia. Le applicazioni possibili spaziano in diversi settori e l'utilizzo è esteso ad un'ampia fascia di popolazione. La natura profondamente disruptive per i business model esistenti richiede necessariamente un cambiamento politico/legislativo, tramite nuove regolamentazioni, e sociale. È infatti fondamentale diffondere la consapevolezza del funzionamento e delle potenzialità della nuova tecnologia, in modo tale da contrastare la naturale inerzia al cambiamento e favorirne l'adozione.

La Figura 3.1 mostra come a circa un decennio dalla nascita della tecnologia Blockchain, si può notare come la stessa sia stata in grado di evolversi attraversando i vari step diffondendosi in svariati campi. Al fine di tale elaborato si analizzerà nel dettaglio l'interazione tra la BCT ed il vasto campo delle filiere aziendali.

3.1 Stato dell'arte delle implementazioni della Blockchain nella Supply Chain

Il SCM risulta essere un terreno fertile, ma ancora in gran parte inesplorato, per possibili applicazioni della Blockchain Technology (BCT). Al fine di verificare lo stato dell'arte dell'interazione tra la nuova tecnologia e la filiera logistica, un team proveniente dall'Università di Hassan (Marocco) in collaborazione con l'Institute for Forecasting and Futuristics, ha analizzato la letteratura presente sull'argomento, identificandone i trend topics [58]. Il campione esaminato è composto da quaranta paper, selezionati mediante il metodo *systematic mapping study*. Lo studio ha evidenziato come l'aspetto considerato maggiormente innovativo e caratterizzante la BCT sia la tracciabilità, in particolare l'applicazione della stessa nelle Supply Chain dei settori food, pharma e dangerous goods. È infatti evidente come la necessità dell'identificazione puntuale di provenienza, posizione e condizioni al contorno è tanto più importante quanto la merce trasportata risulta avere particolari esigenze correlate alla sicurezza di tutti i gli attori della catena logistica, quali produttori, trasportatori e cliente finale. Dallo studio è altresì emersa l'attenzione per l'effettiva applicabilità della tracciabilità tramite la BCT al SCM. Diversi sono stati infatti i paper riguardanti lo sviluppo di un sistema ciberfisico, ovvero un sistema informatico in grado di interagire in modo continuo con il sistema in cui è operante, finalizzato all'analisi del flusso dei materiali ed al *life cycle assessment*. Lo studio evidenzia inoltre come la presenza di letteratura riguardante la Blockchain sia aumentata esponenzialmente dalla nascita della tecnologia ad oggi.

3.1.1 Hype

Uno strumento per valutare la crescita di interesse nel tempo per nuove tecnologie è l'Hype Cycle teorizzato dalla società di consulenza Gartner [59]. Esso rappresenta graficamente come variano nel tempo le aspettative nei confronti di una nuova tecnologia Figura 3.2.

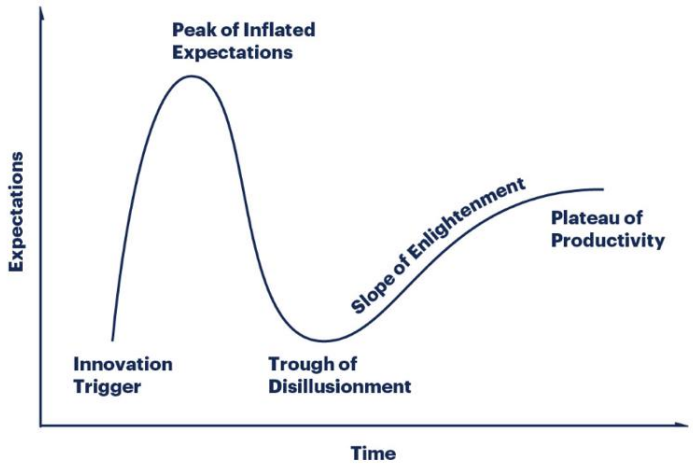

Figura 3.2 - Hype cycle [59].

La curva mostra l'iniziale fermento all'interno di un settore a seguito del rilascio di una nuova tecnologia che si riflette in un aumento esponenziale delle aspettative (*innovation trigger*). In tale step non sono ancora stati sviluppati casi applicativi, ma solamente proof-of concept i quali, insieme alla pubblicità operata dai media, sono responsabili dell'elevato hype. Il punto di massimo per le aspettative è raggiunto in concomitanza con le prime applicazioni pratiche della tecnologia, che ne mostrano i reali benefici e criticità (*peak of inflated expectations*). A seguito dei primi fallimenti, infatti, vi è un periodo di *disillusionment* che porta al minimo della curva, ovvero il punto di minime aspettative da parte del pubblico nei confronti della tecnologia. Con il passare del tempo si comprendono i reali campi di applicazione della tecnologia e si diffondono i feedback riguardanti i primi successi. Le aspettative subiscono quindi un rialzo, detto *enlightenement*, per poi tendere a stabilizzarsi, nel momento in cui è stata determinata la tecnologia dominante, le modalità di implementazione e i reali benefici ottenibili (*plateau of productivity*). La BCT compare per la prima volta nell'Hype Cycle of emerging technologies nel 2016 e, a distanza di un anno, le aspettative sulla Blockchain risultano aver già superato il loro massimo (è però da tenere a mente che tale tecnologia è strettamente legato alla criptovaluta Bitcoin, la quale, essendo quotata in borsa, non ha un valore costante). Tale

volatilità potrebbe riflettersi sulla fiducia riposta nell'intera tecnologia Blockchain). Nel 2019 la società di consulenza Gartner ha pubblicato un intero Hype Cycle dedicato alla BCT e alle sue possibili applicazioni, visibile nella Figura 3.3.

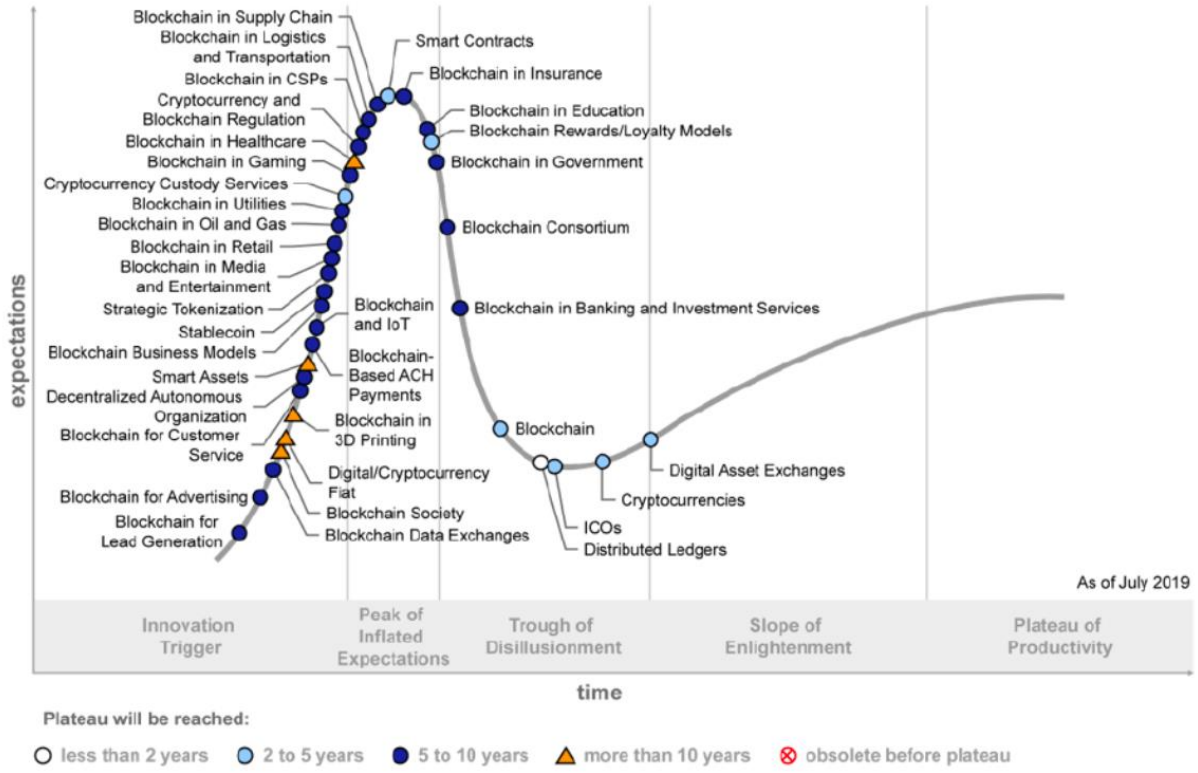

Figura 3.3 - Hype cycle per la Blockchain nel 2019 [60].

Il grafico mostra come la Blockchain possa essere alla base di applicazioni differenti per settore e grado di maturità: dall'ambito giuridico con gli smart-contract, alla finanza con le criptovalute. Quest'ultima in particolare è il campo in cui la BCT ha fatto la sua comparsa, infatti si può notare come le aspettative nei confronti di tale applicazione abbiano già superato la gola, quindi la fase di disillusionment, per avviarsi verso una fase di equilibrio. Per quanto riguarda l'applicazione della Blockchain alla Supply Chain, oggetto di tale elaborato di tesi, si può osservare come la stessa sia attualmente nel momento di maggiore hype: si ipotizza che la stessa possa risolvere o comunque migliorare le criticità delle filiere esistenti. Sono stati effettuate le prime prove di implementazione e alla lettura si stanno aggiungendo sempre più case study che mettono in luce le difficoltà, ma al contempo i benefici riscontrabili nella Supply Chain grazie alla BCT. Il proliferare di numerosi casi applicativi è lo scenario tipico presente in concomitanza alla diffusione di una tecnologia emergente, tuttavia, come è consueto che

accada, solo alcuni progetti si rivelano di successo: si stima che solamente l'8% dei pilot riguardanti la BCT possano considerarsi riusciti, mentre i restanti tramontino in breve tempo [61].

3.1.2 Business value della Blockchain nei diversi settori applicativi

La società di consulenza McKinsey&Company ha condotto nel 2018 un'analisi volta ad identificare lo stato dell'arte delle applicazioni della BCT all'interno dei diversi settori, pubblicata sotto il nome di *Blockchain beyond the hype: what is the strategic business value?* [27]. In particolare, a partire da un campione di novanta case study, si è quantificato il risvolto economico dell'implementazione della tecnologia emergente nel breve periodo e si è valutato se lo stesso fosse o meno sostenibile nel lungo periodo, tramite un focus sulla fattibilità dell'implementazione nei vari campi.

Dallo studio è emerso che il ritorno monetario è divisibile in quattro fattori, elencati per percentuali di impatto decrescenti: costi, ricavi, benefici sul capitale e sociali. La Figura 3.4 mostra l'entità dell'impatto monetario in base ai differenti settori industriali. È emerso che il valore aggiunto apportato dalla Blockchain sia dovuto per oltre il 70% dalla riduzione dei costi, aspetto che impatta su ogni campo. Come precedentemente accennato, la riduzione dei costi è dovuta all'efficientamento dei vari processi coinvolti. Esempi sono la digitalizzazione delle informazioni, condizione che permette lo snellimento delle operazioni e tempistiche burocratiche, oppure l'identificazione univoca ed il tracing/tracking degli item, aspetto che permette una localizzazione e monitoraggio più precisi dei singoli prodotti in modo da evitare gli sprechi o orientare precisamente le eventuali campagne di recall dei prodotti. Il terzo settore per importanza è il beneficio sul capitale: esso si riferisce alle agevolazioni fiscali o agli sgravi patrimoniali concessi alle imprese che, in un'ottica di raggiungimento dell'Industria 4.0, implementano nuove tecnologie. In particolare in Italia è stata varata la Manovra Digitale 2019 che concede incentivi e possibilità di iperammortamento alle imprese che investono nell'innovazione digitale: i fondi stanziati per Blockchain, AI e IoT sono stati 15 milioni nel 2019, e altrettanti sono stati stanziati per il 2020 [62]. Infine non è da sottovalutare il risvolto sociale dell'implementazione della Blockchain. Data la crescente attenzione del consumatore finale per la sostenibilità dell'intero ciclo di vita del prodotto e la conseguente maggiore oculatezza nell'acquisto, la visibilità sui diversi processi a cui è sottoposto il prodotto e l'affidabilità delle informazioni veicolate potrebbe indirizzare la scelta del consumatore verso un brand specifico.

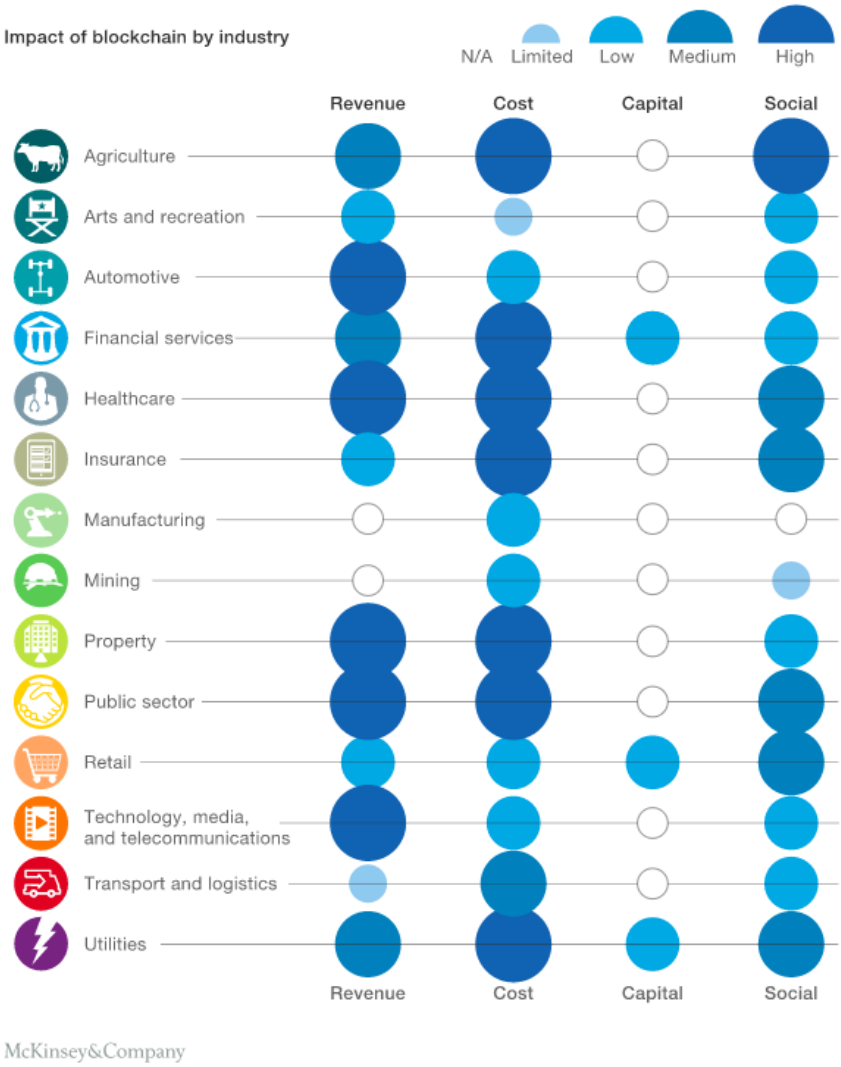

Figura 3.4 - Entità dell'impatto dell'introduzione della BCT per settore industriale [27].

Il vantaggio di lungo periodo non può prescindere dalla compatibilità della nuova tecnologia con il business model dell'impresa. È un campo ancora parzialmente inesplorato, in quanto la natura disruptive della BCT e la conseguente capacità di adattamento della realtà aziendale può palesarsi solo in un orizzonte temporale di anni. Inoltre vi è un'ulteriore difficoltà nell'identificare la correlazione diretta tra l'utilizzo della tecnologia e i benefici riscontrati in quanto mutano le condizioni al contorno. È infine da considerare che la capacità di adattamento dipende, oltre che dall'abilità della singola impresa, dal grado di innovazione introdotto dalla tecnologia rispetto al business model preesistente e dal grado di maturità della realtà aziendale e del settore in cui opera in riferimento a quattro aspetti: asset, technology, standards and regulations, ecosystem. *Asset*: possibilità di digitalizzazione degli asset trattati

(tokenizzazione). *Technology*: grado di scalabilità della tecnologia nel dato settore, da un punto di vista di capacità di storage, consumo di energia e ammontare di transazioni. *Standars and regulations:* standard comuni per la redazione e fruizione dei dati e conseguente interoperabilità tra i diversi sistemi. *Ecosystem*: relazioni tra i vari player appartenenti al network, influenzate dal cosiddetto coopetition paradox affrontato nella sottosezione 3.6.1 Coopetition paradox .Tenendo in considerazione gli aspetti sopracitati, McKinsey&Company ha condotto uno studio di fattibilità dell'implementazione della Blockchain nei vari settori industriali, riassunto graficamente nella Figura 3.5. È interessante sottolineare come per il fattore asset sia avvantaggiato il settore finanziario, data la natura digitale della maggioranza dei servizi offerti e la conseguente facilità di associazione degli stessi ai token. Per quanto concerne invece l'ambiente esterno, sono penalizzati i mercati altamente frammentati, in cui storicamente è mancata la collaborazione tra gli attori per il raggiungimento di vantaggi di costo globali.

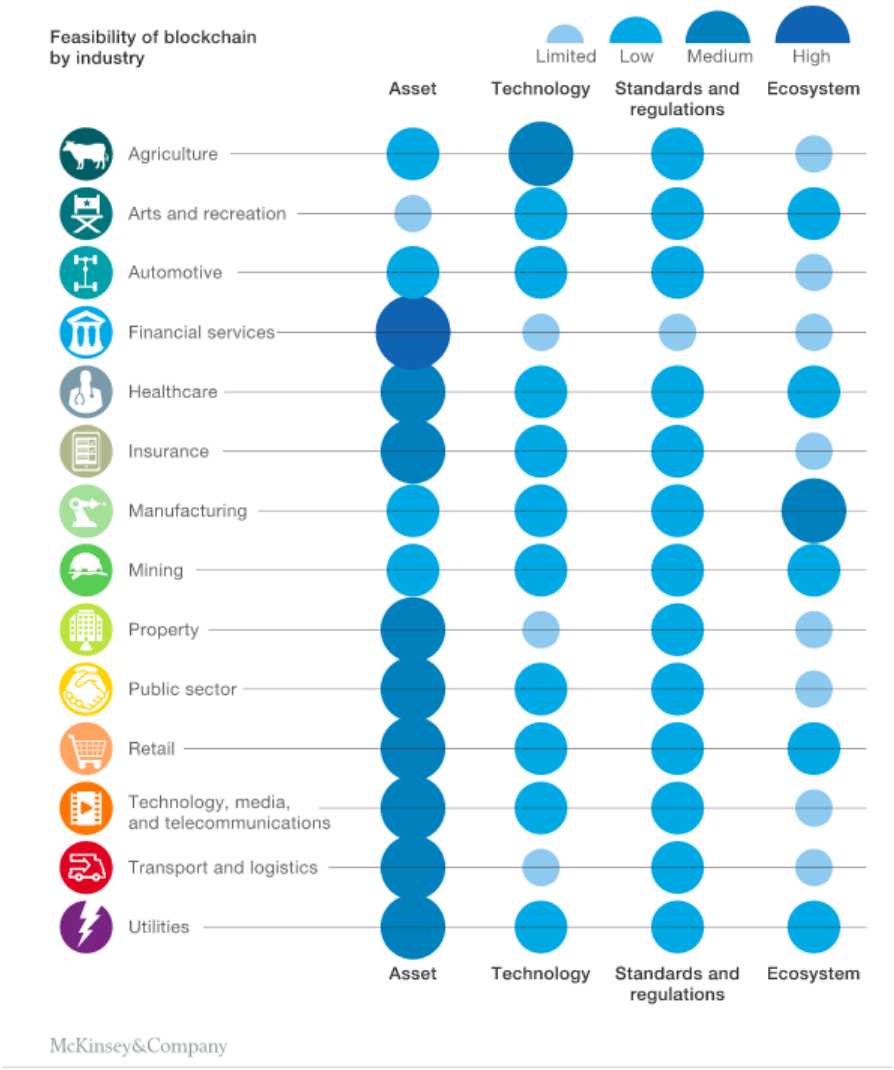

Figura 3.5 - Fattibilità dell'implementazione della BCT per settore industriale.

3.2 Criticità risolvibili

Lo studio *Supply Chain Management based on Blockchain: A Systematic Mapping Study* [58] identifica le ripercussioni sui tre stakeholder principali di ogni Supply Chain, l'impresa, il governo e il cliente finale, dei benefici apportati dalla BCT, articolati su tre livelli: fisico, informativo e finanziario. Al fine di ottenere i benefici illustrati nella Tabella 3.1, la Supply Chain analizzata deve possedere un grado di digitalizzazione tale da permettere la perfetta operabilità della BCT. Le tecnologie ed i modus operandi necessari a garantire tale condizione saranno in tale stadio considerate come un assunto.

	Fisico	Informativo	Finanziario
Impresa	- Affidabilità delle informazioni - Rischio di contraffazione ridotto - Stato delle spedizioni in pseudo real-time - Tracciabilità in real-time - Trasparenza - Visibilità lungo la filiera	- Accesso delocalizzato alle informazioni - Gestione efficiente dei dati - Immutabilità dei dati - Sicurezza dei dati	- Affidabilità dei dati ai fini di prestiti e finanziamenti - Riduzione dei costi associati alle fee degli intemerdiari - Semplificazione attività contabili grazie a smart-contract - Semplificazione e maggiore sicurezza delle transazioni commerciali
Governo	- Monitoraggio, tracciabilità e audit	- Affidabilità delle informazioni per ispezioni	- Affidabilità dei dati ai fini fiscali
Cliente finale	- Affidabilità delle informazioni - Qualità e sicurezza del prodotto - Rischio di contraffazione ridotto	- Privacy e sicurezza dei dati personali	- Riduzione dei costi associati alle fee relative alle transazioni

Tabella 3.1 - Ripercussioni sui tre stakeholders principali della Supply Chain per tipologia.

Basandosi sui benefici apportabili, è possibile dedurre le criticità che maggiormente impattano su operabilità e efficienza della Supply Chain, che, in quanto tali, sono di interesse per i vari stakeholders.

Da un punto di vista informatico, data la diffusione di tecnologie atte alla condivisione dei dati in rete, vi è una crescente preoccupazione per la sicurezza dei dati e la privacy degli utenti. Il trasferimento di informazioni tra i vari attori è tuttavia fondamentale, in quanto tramite la condivisione oculata dei dati sulla domanda cliente si otterrebbe una riduzione dell'effetto bullwhip, con benefici sia sulla gestione operativa aziendale che sul service level.

Per le stesse finalità è fondamentale per un'impresa conoscere nel dettaglio lo stato della merce processata o movimentata, sia internamente che esternamente l'azienda. Le tecnologie hanno un ruolo preponderante per il raggiungimento della tracciabilità in pseudo real-time: sono utilizzati come ausilio alle risorse umane diversi sistemi di sensoristica o di identificazione semi o completamente automatica.

Una delle criticità delle filiere moderne più dannose per tutti gli attori coinvolti è l'affidabilità delle informazioni. Questa tematica può avere differenti interpretazioni a seconda dello stakeholder considerato. Per l'impresa significa possedere dei dati certi riguardo all'effettiva quantità, ubicazione e caratteristiche dei beni stockati in magazzino. Per il governo rappresenta l'ottenimento di panoramiche realistiche sulla reale situazione finanziaria delle imprese ed al contempo la salvaguardia del consumatore da frodi. Infine per il cliente finale l'affidabilità delle

informazioni esprime la garanzia della provenienza dei prodotti, in termini di riduzione della contraffazione, di rischi per la salute dei consumatori e di rispetto e tutela per l'ambiente.
Infine la grande innovazione della BCT è la possibilità di bypassare l'intermediazione di una *trusted third party* (*TTP*) nelle transazioni finanziarie e non, generalmente garante dell'affidabilità delle parti coinvolte e della correttezza da un punto di vista formale e legale dello scambio.

3.2.1 Sicurezza e privacy dei dati

Nel luglio del 2016 è stata emanata dal parlamento europeo la direttiva UE 2016/1148, la quale tratta delle "misure per un livello comune elevato di sicurezza delle reti e dei sistemi informativi nell'Unione" [63]. Data la natura di direttiva, le linee guida sui comportamenti da adottare non sono vincolanti. Tuttavia l'Italia, a fine 2018, ha stilato una lista di aziende italiane cosiddette OSE (operatori di servizi essenziali) e ha imposto loro il rispetto degli standard di cybersecurity descritti, in quanto si è ritenuto che le stesse trattassero dati sensibili per la sicurezza del Paese. Gli OSE sono aziende, pubbliche o private, che garantiscono i servizi fondamentali per i cittadini, quali luce, gas, acqua, telecomunicazioni, trasporti e banche. La lista non è stata resa pubblica in modo tale da garantire la salvaguardia del nome delle imprese, in particolare le medio-piccole, le quali risultano essere più difficilmente oggetto di attacco ma al contempo più facili da attaccare a causa dei minori livelli di sicurezza [64]. Una delle best practice presentate dalla direttiva è la sollecita denuncia dell'attacco alle autorità competenti. Grazie alle comunicazioni da parte delle aziende colpite, è stato possibile stimare la vastità del fenomeno.
Secondo il rapporto del Clusit sulla *sicurezza dell'ICT in Italia* [65], le principali categorie di attacchi hacker sono quattro e si dividono in:
Cybercrime: "attività criminali effettuate mediante l'uso di strumenti informatici". Tale categoria raggruppa più dei tre quarti della totalità degli attacchi.
Espionage/ Sabotage: "attività di spionaggio effettuate mediante l'uso di tecniche informatiche illecite".
Hacktivism: "azioni, compresi attacchi informatici, effettuate per finalità politiche o sociali".
Information warfare: "insieme di tecniche di raccolta, elaborazione, gestione, diffusione delle informazioni, per ottenere un vantaggio in campo militare, politico, economico".
Le più frequenti modalità di attacco sono l'utilizzo di *malware,* lo sfruttamento delle debolezze della rete e i tentativi di pishing. Una particolare tipologia di malware è il *ransomware*: in seguito all'attacco, l'utente è inabilitato all'accesso del dispositivo o delle informazioni presenti

nello stesso in quanto criptate, e spesso per il ripristino della corretta operatività è richiesto un riscatto. Il pishing consiste invece nel persuadere un soggetto a ritenere affidabile l'ente da cui proviene la richiesta e indurre lo stesso al trasferimento di dati sensibili, personali o aziendali. Il fenomeno del pishing è esteso ad ogni settore: secondo un'analisi di Statista l'ambito più colpito del 2019 è stato il Webmail, il 36% del totale degli attacchi, seguito dal settore economico-finanziario, suddiviso in Payment 22% e Financial 18% [66].

L'aggressione attraverso il *cyberspazio* di aziende e privati è attualmente un fenomeno molto diffuso e si appresta a crescere ed evolversi. Le finalità dietro agli attacchi informatici tenderanno infatti a modificarsi. Fenomeni quali l'estorsione e la truffa, aspetti preponderanti al giorno d'oggi tenderanno a diminuire gradualmente (grazie alla maggiore regolamentazione e attenzione da parte dei governi) e ad essere sostituiti con l'influenza e la manipolazione dell'opinione pubblica. Tale interesse per l'opinione pubblica è riconducibile al fatto che, anche nel caso in cui sia provato l'attacco hacker e quindi per esempio la non autenticità di una dichiarazione, l'immagine del brand nella mente dei consumatori permane traviata. Infine tenderanno a rimanere costanti in percentuale gli attacchi finalizzati all'intrusione/spionaggio e all'interruzione del servizio [67].

Da un punto di vista di settore, nel 2019 i principali destinatari degli attacchi sono stati, nell'ordine: istituzioni, healthcare e finance [65]. La situazione risulta pertanto essere critica, in quanto potrebbe essere compromessa la sicurezza non solo delle informazioni aziendali, ma anche dei dati personali dei cittadini. Ad aggravare il fenomeno vi è il trend crescente di digitalizzazione. Esso si riscontra sia nelle aziende che nelle vite private, tramite dispositivi quali Google Home o Amazon Echo che concorrono alla creazione delle cosiddette *smart home*. Il rischio crescente è pertanto il *cloud weaponization,* consistente nell'individuazione da parte dell'hacker di un primo punto di accesso nell'infrastruttura cloud della vittima dal quale espandere l'attacco agli altri dispositivi.

È fondamentale, pertanto, per la sicurezza dei dati aziendali avere a disposizione un complesso e efficiente sistema di *cybersecurity*, ossia un insieme di tecniche e best practice, informatiche e non, volte alla salvaguardia degli asset materiali e immateriali di proprietà o cooperanti con l'organizzazione. Tale sistema non può prescindere da un'oculata formazione dei dipendenti: deve diffondersi la consapevolezza che la sicurezza delle reta può essere compromessa anche solamente da un download di un file o l'apertura di una e-mail di pishing. Il successo del sistema di cybersecury e della formazione della formazione dei dipendenti determina la *cyber resilience*

aziendale, ossia il grado di resistenza preventiva e di recovery postuma ad eventuali attacchi esterni dell'organizzazione.

Perché la Blockchain

La BCT risulta essere un alleato fondamentale per il perseguimento della cybersecurity, in quanto garantisce contemporaneamente i tre requisiti necessari per definire i dati sicuri da un punto di vista informatico: riservatezza, integrità e disponibilità degli stessi [68]. I dati risultano essere riservati quando non sono accessibili da terze parti non autorizzate. Tale condizione è garantita da uno dei fondamenti della Blockchain: la crittografia end-to-end (E2E). Essa consiste nella trasmissione di dati crittografati e nella possibilità di decriptaggio degli stessi solo da parte degli utenti in possesso della chiave privata. Le informazioni in transit non sono leggibili nemmeno dal gestore della piattaforma stessa. Tale condizione ridurrebbe pertanto i tentativi di intromissione ed estorsione dei dati sensibili. Si genererebbero tuttavia nuovi rischi, quali la salvaguardia delle chiavi private da parte dei singoli utenti. L'integrità dei dati consiste invece nella garanzia dell'assenza di cancellazione o alterazione degli stessi. L'immutabilità e la tracciabilità delle informazioni salvate sulla Blockchain è una caratteristica intrinseca della tecnologia stessa. Ad ogni transazione è infatti associato un time stamp che attesta l'esatto istante in cui la stessa è stata effettuata, ed ogni modifica o alterazione della medesima deve sottostare alla validazione da parte dei nodi mediante l'algoritmo di consenso e, nel caso di approvazione, la versione aggiornata del registro perviene ad ogni attore tramite broadcasting. Vi è pertanto altresì la garanzia della terza caratteristica, ossia la disponibilità, in quanto ogni attore dispone in ogni istante dello stesso livello di informazioni di ogni altro soggetto, pertanto possiede lo stesso grado di conoscenza.

3.2.2 Track and Trace

Un problema riscontrato da molte azienda è l'impossibilità di disporre informazioni in real-time. Dalle giacenze dei magazzini allo stato delle spedizioni spesso i dati sono aggiornati al giorno precedente, in quanto i sistemi gestionali sfruttano la notte per il backup e l'aggiornamento dei dati inseriti o modificati durante il giorno. Ciò comporta asincronia e disallineamento tra i vari attori e stadi della filiera. Fenomeno avente come effetto collaterale la necessità di comunicazioni verbali tra le parti e temporaneo salvataggio delle informazioni in locale, operazioni soggette a probabili errori ed inesattezze. Il contesto sempre più dinamico in cui operano le Supply Chain moderne sprona le aziende ad una maggiore flessibilità e

responsiveness, data per esempio la diffusione di nuove soluzioni quali il *same-day delivery* o la consegna in giorni festivi. Non è quindi ammissibile possedere dei dati aggiornati al giorno precedente, ma è necessario disporne in real-time.

A tale fine sono stati sviluppati i processi di *track and trace*. Essi consistono nell'identificazione univoca di ogni singolo item e nell'aggiornamento in itinere dei dati riguardanti l'ubicazione, lo stato e le caratteristiche dello stesso, mantenendone uno storico, in modo tale da ottenere una panoramica dell'intero life-cycle. I termini track e trace possono essere tradotti come tracciabilità e rintracciabilità, il loro significato è pertanto leggermente diverso. Il primo consiste nella capacità di identificare univocamente il cammino percorso da un item, dall'istante di produzione o presa in consegna all'istante di consegna al cliente, registrandone lo stato e le caratteristiche nei punti più sensibili interni ed esterni l'azienda, in modo tale da monitorare il processo di produzione e la rete di distribuzione. La rintracciabilità, invece, consiste nella capacità di risalire a posteriori ai vari spostamenti e/o processi a cui è stato sottoposto l'item e le risorse umane e non con cui lo stesso è entrato in contatto, in modo tale da identificare il tempo, il luogo e la responsabilità dell'eventuale criticità insorta.

Tecnologie abilitanti

I trasferimenti di materiali e prodotti finiti tra le varie aziende ha evidenziato il bisogno di un allineamento tra i vari sistemi di identificazione degli item vigenti nelle varie azienda tramite l'istituzione di uno standard comune. Negli anni '70 diverse realtà aziendali, al fine di una più agevole collaborazione, hanno introdotto il sistema di tracciabilità tramite barcode seguendo le linee guida definite dall'associazione GS1. Il barcode è una rappresentazione grafica dei dati; il più comune è composto da un insieme di linee parallele, che differiscono per lo spessore e lo spazio tra le stesse, e un'alternanza di caratteri alfanumerici. Tale stringa ha composizione e lunghezza variabile secondo lo standard GS1. Tuttavia, data l'esiguità spaziale e di caratteri, il barcode ha una capacità di storage ridotta. Il barcode presenta limiti in termini di operabilità in quanto necessita di essere fisicamente "visto" da uno scanner ad una distanza ravvicinata. Inoltre tale tecnologia presenta come criticità la facilità di riproduzione. È infatti sufficiente una fotografia ed una ristampa del barcode per ottenere un duplicato identico al codice d'origine. Tale condizione costituisce una problematica in quanto, nel caso in cui l'item originario e l'item contraffatto siano stockati presso aziende diverse, quindi con due sistemi di archiviazione dei dati separati, risulta impossibile accorgersi dell'esistenza del clone.

Per sopperire a tali deficit, si è sviluppata una nuova tecnologia: l'RFID. Come già accennato, i tag RFID dialogano con il reader tramite onde elettromagnetiche, pertanto non necessitano di essere fisicamente "visti" e mantengono un elevato livello di operabilità anche a distanze maggiori. Grazie a tali caratteristiche possono essere inseriti internamente al prodotto, condizione che riduce il rischio di duplicazione del tag e di conseguenza di contraffazione. Inoltre il tag RFID ha una capacità di storage notevole, possono infatti essere salvate informazioni aggiuntive riguardante l'item e le stesse possono essere aggiornate nel tempo. Le caratteristiche operative della tecnologia RFID ne ha permesso l'ampia diffusione. Un'analisi di Statista mostra l'espansione del market size di tale tecnologia nel tempo: da una revenue annuale globale di circa 9,56 miliardi di dollari nel 2014, si stima possa raggiungere i 41,3 miliardi entro il 2027 [69].

I processi di track and trace non possono prescindere da un massiccio utilizzo delle tecnologie sopradescritte. Per una perfetta operabilità è di fondamentale importanza la compatibilità tra i vari sistemi aziendali. Ogni realtà aziendale deve essere munita di dispositivi in grado di supportare la lettura dei vari codici di identificazione univoca del prodotto, condizione ottenibile tramite l'elaborazione di una strategia comune e di un sistema di governance al fine di garantire l'integrazione all'interno della filiera e aumentarne di conseguenza l'efficienza ed il ritorno sull'investimento.

QR code

Merita una particolare considerazione una tipologia di codice grafico di identificazione: il QR code. Lo stesso può essere agilmente letto da uno smartphone, tale scansione rimanda ad un URL. Il QR code tradizionale consiste in una stringa fissa, propria di ogni categoria di prodotto, ma non di ogni singolo item. La pagina web derivante dalla scansione è pertanto generalmente il sito dell'azienda produttrice o una piattaforma finalizzata ad acquisti on-line. Con il diffondersi della volontà da parte del consumatore di conoscere con esattezza tutte le tappe del percorso effettuato da un prodotto, dalle materie prime alla casa del cliente, e la conseguente diffusione dei sistemi Track and Trace, si è registrato un notevole aumento dell'utilizzo dei QR code da parte delle aziende. I motivi fondamentali sono la facilità di fruizione di tale tecnologia dalla quasi totalità dei consumatori, grazie alla diffusione capillare degli smartphone (lo smartphone penetration rate in Europa è oltre il 70% [70]) e l'evoluzione tecnologica del QR code. È nato infatti il cosiddetto QR code serializzato [71]. Esso, a differenza del tradizionale, è costituito da un codice seriale univoco proprio di ogni item. Nel momento in cui lo stesso è

scannerizzato tramite l'apposita App, è effettuata una verifica su tale codice univoco: il QR code è autenticato ed è associato all'acquirente. Il cliente, secondo volontà, può aggiungere ulteriori informazioni personali utilizzate per finalità statistiche e di marketing, tramite targetizzazione della clientela. La scansione comporta inoltre la disattivazione del codice univoco. Tale aspetto concorre alla lotta alla contraffazione e al plagio, problema emergente data la facilità di duplicazione del QR code. A causa di tale limite, infatti, per particolari classi merceologiche particolarmente delicate, al QR code è preferito l'NFC. La condizione sine qua non è pertanto l'identificazione univoca di ogni item, obiettivo raggiungibile tramite l'assegnazione univoca di un token digitale ad ogni asset fisico, ossia il completo allineamento tra item digitali e fisici possibile con la BCT. Il QR code serializzato, identificando univocamente ogni item, può rispondere alle esigenze di tracciabilità della clientela. Presso l'indirizzo web a cui il codice l'impresa può mostrare al cliente le informazioni più disparate, quali video, immagini, descrizioni del processo, recensioni sui prodotti, tempi e metodologie di spedizione, provenienza della merce. Il QR code può ovviamente essere apposto ai prodotti di ogni azienda, il vantaggio che riscontrano le realtà che utilizzano la BCT è la maggiore facilità nella redazione dei contenuti, in quanto tutte le informazioni sono già completamente digitalizzate, condizione necessaria all'inserimento delle stesse sulla Blockchain.
Le linee guida a livello mondiale sui procedimenti da seguire per identificare un item mediante codici grafici sono normate dallo standard ISO 28219:2017 (*Packaging - Labelling and direct product marking with linear bar code and two-dimensional symbols*). Esso definisce le regole di formattazione e di scrittura e le modalità di applicazione tali da soddisfare i requisiti minimi richiesti ad un codice identificativo [72].

Perché la Blockchain

L'origine della BCT è da imputare alla volontà di bypassare gli intermediari, garantendo al contempo la sicurezza della transazione, quindi eliminare il rischio già citato del double spending. Parallelamente, il principale rischio responsabile della diffusione della BCT come supporto ai processi interni ad una Supply Chain è il *double inventory*. Le modalità classiche di gestione sopra descritte comportano necessariamente un disallineamento delle informazioni note ai vari attori della filiera. Un esempio di tale problematica, riscontrata ampiamente nelle aziende mediamente digitalizzate, è la spedizione di merce tra i vari nodi della filiera: l'impresa A spedisce dei colli all'impresa B ed accompagna l'azione con la trasmissione via mail del pdf relativo al ddt (documento di trasporto) al proprio contatto presso l'azienda B, il quale a sua

volta inoltra il pdf al reparto logistica inbound. È ovvio che, anche nel caso ideale in cui tali operazioni siano effettuate, non è prescindibile l'esistenza di un gap temporale tra gli istanti in cui gli aggiornamenti pervengono ai vari attori e di un'asincronia tra il magazzino virtuale e fisico. La società di consulenza Accenture [73] battezza tale condizione *hall of mirrors* data la contemporanea presenza di più copie degli stessi documenti e file, differenti per il grado di up-to-date delle informazioni. La BCT eliminerebbe tale problema in quanto ogni singolo aggiornamento salvato sulla Blockchain riguardante la modifica dello stato o delle caratteristiche della merce risulterebbe essere immediatamente fruibile da ogni attore che avente accesso al registro distribuito: ad ogni nodo in ogni istante è garantito lo stesso livello di conoscenza, il concetto alla base è il *you see what I see*.

Il salvataggio di informazioni immutabile nel tempo sulla Blockchain favorisce lo scambio delle merci in quanto possono essere associati ad ogni item documenti riguardanti le analisi effettuate sui prodotti stessi, che ne garantiscono quindi la qualità e, di conseguenza, salvaguardano la sicurezza del consumatore. Questi documenti si suddividono in in due macrocategorie: *Certificate of Conformance* (*CofC*) e *Certificate of Analysis* (*CofA*) [74]. In particolare tramite il CofC il produttore attesta che la merce risultano essere conforme alle specifiche richieste, per esempio da norme ISO o igienico-sanitarie. I CofA invece attestano che la merce è stata sottoposta a test e analisi da parte di terze parti ed è risultata conforme. Questa modalità di accompagnamento della merce da parte dei documenti ad essa connessi è di fondamentale importanza in un contesto internazionale, in quanto possono essere associati ad un singolo item i vari documenti richiesti dai vari Paesi.

Riassumendo, i sistemi Track and Trace risultano avere un ruolo fondamentale nella creazione dell'intera *Chain of Custody* (*CoC*). Essa è l'insieme delle documentazioni che attestano la sequenza dei trasferimenti, dei controlli e delle analisi effettuate sul singolo item. La CoC ha tre obiettivi fondamentali: customer trust, product integrity, brand reputation. È infatti possibile, tramite la stessa, risalire dal prodotto finale alle caratteristiche accertate delle materie prime e le condizioni al contorno delle diverse fasi produttive. Al fine del raggiungimento dei sopracitati obiettivi, la Chain of Custody è regolamentata da normative ISO, generali o proprie di settore, che ne permettono l'armonizzazione e la standardizzazione tra le varie realtà aziendali.

3.2.3 Credibilità dei dati

L'obiettivo dell'utilizzo dei sistemi track and trace precedentemente descritti è la conoscenza esatta dell'on-hand inventory: i benefici per le imprese derivanti da tale condizione sono

svariati. In primis si ridurrebbero le attività di riallineamento tra magazzino virtuale e magazzino fisico, dette *reconciliation.* Tali attività sono generalmente effettuate periodicamente, ad intervalli di tempo tanto più piccoli quanto più l'azienda si affida ad una gestione manuale o ha un basso grado di digitalizzazione. Le modalità studiate per ridurre il mismatch sono l'automazione industriale o logiche ispirate al "poka-yoke", principio cardine della Lean Manufacturing e del Lean Thinking che mira a soluzioni atte ad eliminare ogni tipologia di errore casuale e/o involontario, quali ad esempio la diversa colorazione degli scaffali dei magazzini in base ai reparti. Con l'accuratezza delle informazioni riguardanti i livelli di inventory sarebbe possibile ridurre altresì gli sprechi, grazie ad il monitoraggio dettagliato della *shelf life* degli articoli deperibili o ad alto rischio di obsolescenza. Per le medio-grandi imprese che dispongono di più magazzini o negozi, l'accuratezza delle condizioni dello stock è indispensabile per favorire lo shifting orizzontale, ossia il trasferimento di beni tra le varie sedi, al fine di bilanciare i livelli di inventory e di soddisfare con un response time minore gli ordini cliente. Il service level infatti giova dell'affidabilità dei dati, in quanto è ridotto il rischio di stock out data la possibilità di intervento preventivo tramite riordini.

La credibilità dei dati è altresì l'aspetto maggiormente interessante per il governo. La motivazione è la necessità di ottenere dati certi e reali sull'operato delle imprese, per monitorarne il comportamento da un punto di vista legale e per verificare la correttezza dei dati dichiarati all'erario. Dato l'esorbitante numero di imprese esistenti sul territorio, è impossibile svolgere tale attività in modo capillare. Basti infatti pensare che nel 2018, secondo fonti della C.G.I.A. [75], i controlli svolti sono stati dell'ordine di: 152 mila controlli ordinari da parte del fisco, 1.900 mila domande di chiarimenti su potenziali o effettive irregolarità individuate, 250 mila accertamenti automatizzati, 530 mila controlli mirati da parte della Guardia di Finanza. Nonostante l'ingente sforzo, che ha portato ad un recupero di 19,2 miliardi di euro, si presume che l'evasione fiscale sia un fenomeno profondamente diffuso, in particolare nelle grandi aziende, di cui l'entità dell'evasione è stata stimata essere sedici volte maggiore rispetto alle PMI. Le principali frodi imputate alle stesse riguardano compensazioni indebite, frodi doganali e frodi carosello, ossia trasferimenti di merce tra aziende di stati differenti al fine dell'evasione dell'IVA. L'accesso ad un registro in cui sono archiviati in modo permanente e immutabile ogni transazione o trasferimento di materiale effettuati da un'impresa, pertanto, sicuramente comporterebbe semplificazione, velocizzazione e snellimento delle attività di monitoraggio e controllo, e rappresenterebbe un grande passo per la lotta all'evasione. Gli audit frequenti e accurati gioverebbero alle imprese, oltre che da un punto di vista etico, sotto il profilo

finanziario. Le banche e in generali gli istituti di credito avrebbero a disposizione dati certi e affidabili, in quanto filtrati da istituzioni governative, a garanzia della stabilità e solidità dell'impresa al fine della valutazione del merito creditizio. Tale condizione, oltre ad aumentare la probabilità di prestiti e finanziamenti alle imprese, ridurrebbe anche le fee associate in quanto le risorse e le tempistiche necessarie per gli audit sarebbero ridotte. Si ridurrebbe altresì il costo di intermediazione associato alle transazioni tra le imprese stesse.

3.2.4 Trusted Third Party

L'interazione di qualsiasi genere tra due soggetti necessita di fiducia tra le parti. In mancanza di conoscenza diretta, spesso tale condizione viene a mancare ed è necessario ricorrere ad un soggetto terzo che svolga la funzione di garante della correttezza e della sicurezza della transazione, denominato trusted third party. L'affidamento ad una TTP comporta tuttavia il pagamento di una fee, detta costo di intermediazione, e l'impossibilità di immediatezza della transazione a causa delle tempistiche burocratiche e operative. Per quantificare l'importanza del fenomeno basti prendere a titolo esemplificativo Morgan Stanley: secondo un'analisi di Statista l'ammontare delle revenue derivanti da commissioni e fee ottenute dalla banca è risultata essere negli ultimi dieci anni maggiore di quattro miliardi l'anno [76]. Per quanto invece concerne le tempistiche burocratiche, si stima, a titolo esemplificativo, che una nave container impieghi mediamente 36 ore effettive per raggiungere il porto di Jakarta (Indonesia) da Singapore, ma le tempistiche burocratiche legate allo scambio di informazioni e ai pagamenti comportino una dilatazione del tempo di viaggio fino ad una settimana [19]. Al fine di limitare ulteriormente le fee destinate alle third-party garanti della sicurezza delle transazioni ed al contempo ridurre le tempistiche necessarie al ricorso agli intermediari, si è diffuso l'utilizzo degli *smart-contract*. Gli stessi si adattano perfettamente in contesti, quali le Supply Chain, in cui non sempre è garantito un rapporto fiduciario tra i diversi partecipanti, poiché garantiscono automatismi nell'esecuzione e di conseguenza non si prestano a controversie dettate da diverse interpretazioni.

Smart contract

Il termine smart-contract è stato coniato da Nick Szabo nel 1997, quindi ben prima dell'invenzione della Blockchain, tuttavia questa tecnologia è risultata essere il terreno perfetto per la crescita di tali modalità di regolamentazione di una transazione. Gli smart-contract sono definiti dall'ideatore come:

“a computerized transaction protocol that executes the terms of the contract. The general objectives of smart contract design are to satisfy common contractual conditions (such as payment terms, liens confidentiality and even enforcement), minimize exceptions, both malicious and accidental, and minimize the need for trusted intermediaries” [19].

La peculiarità degli smart-contract è la completa digitalizzazione degli stessi. Essi sono in pratica delle righe di codice, redatte con la supervisione di avvocati e notai, che affiancano o sostituiscono i contratti tradizionali. A seconda delle tipologie di smart-contract e dei sistemi normativi in cui l’azienda opera, essi possono o meno essere considerati contratti da un punto di vista giuridico. Spesso nei protocolli informatici sono solamente inserite delle funzioni *if/then*: esse fanno sì che il contratto si perfezioni, ossia che le parti adempiano agli obblighi contrattuali, nel momento stesso in cui si verificano specifiche condizioni di input. Dal punto di vista delle normative vigenti in Italia a tal proposito, è stata promulgata l’11 febbraio 2019 la legge n.12 contenente “disposizioni urgenti in materia di sostegno e semplificazione per le imprese e per la pubblica amministrazione” [77]. Dalla stessa si evince che “l’esecuzione (dello smart contract) vincola automaticamente due o più parti sulla base di effetti predefiniti dalle stesse” e che gli stessi “soddisfano i requisiti della forma scritta previa identificazione informatica delle parti interessate”. Lo smart contract sembrerebbe pertanto godere di tutti i requisiti necessari per essere considerato un vero e proprio contratto, con tutte le conseguenze che derivano da tale condizione. Permane tuttavia il grande impedimento responsabile della limitata diffusione degli smart contract: la capacità di trasposizione dei concetti giuridici in concetti informatici, ossia la traduzione di parole del linguaggio verbale in righe di codice.
Il settore in cui maggiormente gli smart-contract si sono diffusi è l’assicurativo. A titolo esemplificativo, se il rimborso al cliente per il ritardo del treno è regolato da uno smart-contract, non appena il ritardo supera il valore soglia prestabilito per contratto è erogato il rimborso, senza la necessità di una TTP come supervisore e senza la necessità di un intervento umano. È chiaro quindi l’entità dello snellimento della procedura. Gli smart-contract potrebbero apparire come un rischio per alcune categorie professionali, quali avvocati e notai, ma è da evidenziare come il trend attuale sia l’affiancamento del contratto smart al tradizionale, e non la sostituzione. Per alcune tipologie di contratto, sulla Blockchain sono registrati solo alcune parti direttamente eseguibili o i termini generali, in modo che sia associato il time stamp alle stesse e ne sia garantita l’immutabilità, mentre i dettagli mantengono la forma scritta tradizionale dei contratti.

Data la natura digitale degli smart-contract non è escludibile l'esistenza di bug. Un caso emblematico è stato il progetto The DAO [78]. Nel maggio del 2016 è stato registrato su Ethereum uno smart-contract con le funzionalità di un fondo di investimento: in una fase precedente al lancio gli utenti possedevano la facoltà di inviare criptomonete ad uno specifico wallet, ricevendo in cambio dei token. I possessori degli stessi acquisivano al contempo il diritto di voto, quindi la facoltà di investire nei progetti proposti. Il progetto di crowdfunding registrò un elevato successo: furono raccolti 12,7 milioni di Ether, equivalenti al tempo a circa 150 milioni di dollari. Il problema emerse in seguito ad un comportamento fraudolento perpetrato da un nodo: sfruttando un loop originato da un errore di scrittura del codice sorgente, l'hacker è stato in grado di veicolare le criptovalute verso il proprio wallet, raccogliendo quasi 70 milioni di dollari prima che il bug fosse risolto. Questo episodio ha comportato come effetto diretto la perdita della somma in criptovalute trasferite dai potenziali investitori a The DAO, e come effetto indiretto la diminuzione della fiducia nel sistema stesso. La quotazione in borsa della piattaforma Ethereum ha infatti registrato un calo significativo: il valore dell'Ether è passato da 19 a 10 dollari, comportando quindi una diminuzione del valore dell'investimento. Questo evento ha evidenziato il rischio derivante dall'impedire la modifica degli smart contract registrati sulla Blockchain. La piattaforma Ethereum ha infatti implementato la funzionalità *kill*, la quale permette il recovery in caso di errata immissione. L'aspetto emerso maggiormente è stato la criticità nella gestione di un sistema che non si affida ad una TTP e che non dispone di regole di governance. In un contesto del genere non vi è infatti la possibilità di intervento da parte di un'autorità super partes al fine di una limitazione dei danni. Inoltre è impossibile imputare ad un soggetto/ente specifico la responsabilità dell'accaduto. Questo aspetto è parzialmente limitato nelle Blockchain private, in quanto generalmente provviste di un gestore della piattaforma o di un service provider, mentre per quelle pubbliche, dove per condizione intrinseca tutti i nodi sono uguali da un punto di vista di poteri e responsabilità, vi è tuttora un vuoto legislativo, da colmare in breve tempo al fine di promuovere la diffusione degli smart contract e più in generale della BCT.

Nonostante le iniziali problematiche, si stima un grado crescente di adozione degli smart-contract, perlomeno per alcune tipologie di transazione. Come già accennato, le assicurazioni che prevedono il rimborso del cliente si prestano bene all'esecuzione dello stesso tramite gli smart-contract. In Italia, a titolo esemplificativo, fino a dicembre 2019 è stato possibile sottoscrivere la polizza Fizzy con la compagnia di assicurazioni Axa che prevedeva il rimborso automatico in caso di ritardo aereo [79]. L'insieme dei dati di input che comunicano alla

Blockchain le variazioni delle condizioni esterne volte ad influenzare l'esecuzione dello smart contract è detta oracolo. Prendendo come esempio la polizza Fizzy, vi è un'autorità esterna quale la compagnia aerea o l'aeroporto che avrà la responsabilità della trasmissione dei dati: all'atterraggio è registrato sulla Blockchain l'orario di arrivo, il quale è confrontato con l'orario di arrivo teorico, nel caso in cui il delta di tempo sia maggiore alle due ore l'indennizzo è accreditato sul conto corrente del sottoscrittore della polizza. È bene accertarsi della completa affidabilità dell'oracolo dato il suo ruolo determinante nell'immediata esecuzione dello smart contract. Sono da monitorare oculatamente i contratti che sfruttano come dati di input le informazioni provenienti da sensori IoT. Gli stessi sono facile oggetto di manomissione, riprogrammazione o semplice interruzione del segnale.
Da un punto di vista pratico, uno smart-contract è un insieme di dati e di codice in grado di manipolare tali dati. Al fine di ottenere l'output desiderato, sono necessarie due fasi: creazione ed esecuzione.
Creazione. Gli smart-contract possono essere registrati su qualunque Blockchain, Ethereum è tuttavia il registro che meglio si presta alla redazione e all'archiviazione degli stessi. Tali contratti, su questa piattaforma, sono scritti in un linguaggio object-oriented simile a C+ o Javascript, chiamato Solidity. A titolo esemplificativo, di seguito è riportato un esempio del semplice smart contract denominato "SimpleStorage" [80]:

```
pragma solidity ^0.4.0;

contract SimpleStorage {
   uint storedData;

   function set (uint x) public {
      storedData = x;
   }

   function get () public view returns (uint) {
      return storedData;
   }
}
```

Nella prima riga compare la keyword "pragma": la stessa rappresenta un'istruzione per il compilatore per come trattare il codice sorgente, in questo caso lo stesso è stato scritto per una versione di Solidity almeno pari a 0.4.0. Dalla keyword "contract" ha origine il vero e proprio codice dello smart-contract. Sono dichiarate in ordine le variabili e le funzioni. Nella parentesi

che segue il nome delle funzioni sono elencate le variabili di input necessarie all'esecuzione della funzione stessa, mentre all'interno delle graffe il codice descrive i passaggi necessari al raggiungimento dell'output desiderato. In particolare questo semplice smart-contract permette di salvare sulla Blockchain un dato sotto la variabile "StoredData", di modificarlo tramite la funzione "set", inserendo come variabile di input "x", o di osservarne il valore tramite la funzione "get".

Una volta programmato, affinché lo smart-contract posso essere fruibile dagli utenti, deve essere salvato sulla Blockchain. Questo passaggio avviene tramite una transazione effettuata dall'utente programmatore dello smart-contract: una volta che la transazione è validata tramite i noti meccanismi di consenso, lo smart-contract diviene visibile da tutti gli attori, acquisisce un proprio indirizzo ed è pertanto eseguibile.

Esecuzione. Ogni nodo che desidera interagire con lo smart-contract deve inviare una transazione all'indirizzo proprio del contratto, inviando altresì indicazioni sulla funzione da richiamare e i parametri di input necessari all'esecuzione della stessa. Lo smart-contract può essere quindi eseguito e restituisce l'output richiesto.

Entrambe le fasi richiedono l'aggiunta alla Blockchain di nuovi blocchi contenenti le transazioni. Questo processo ha un costo al fine di permettere la remunerazione dei miners validatori. In Ethereum tale fee è detta *gas*, ed è prezzato in frazioni di Ether. L'ammontare di gas necessario dipende dall'operazione da processare, in particolare ad ogni tipologia di transazione è associato un determinato ammontare di gas regolato dall'Ethereum yellow paper [81]. Le operazioni che necessitano di una quantità maggiore di gas sono quelle che implicano il salvataggio o la modifica di dati sulla Blockchain. È da tenere a mente che, in fase di ottimizzazione, è conveniente rendere più efficiente la fase di esecuzione, in quanto la transazione da cui prescinde la creazione è eseguita solamente una tantum [82].

3.3 Silver bullet

"Use a suitable technology, not a technology suitably."

Come già accennato descrivendo l'Hype Cycle, al giorno d'oggi alcuni dei preliminari *proof-of-concept* riguardanti le possibili modalità di implementazione della BCT nella Supply Chain si sono concretizzati in applicazioni reali. È tuttavia da evidenziare come una parte non indifferente dei case study presenti nella letteratura interessi start-up o aziende le cui implementazioni delle BCT sono limitate, ossia non sono sfruttate a pieno o sono sfruttate in

modo sbagliato le potenzialità della tecnologia. Di per sé tale situazione è perfettamente normale per una tecnologia nascente, ma per la Blockchain potrebbe non essere una condizione temporanea. L'elevato hype che contorna la BCT concorre ad acuire e/o dimostra la credenza diffusa di avere trovato il silver bullet per la Supply Chain, capace di eliminare ogni criticità. Vi è infatti una tendenza da parte delle imprese a non ricercare la tecnologia che meglio risponda alle esigenze aziendali, bensì a modificare le proprie dinamiche interne e modalità operative al fine di adattarsi alla tecnologia stessa. Il primo passo da compiere per giungere ad una corretta implementazione della Blockchain consiste nel porsi la domanda: "è utile tale tecnologia per la realtà aziendale considerata?". Secondo un articolo pubblicato dal Berlin Institute of Technology [83], svariate singole imprese o intere Supply Chain hanno implementato la BCT a causa del cosiddetto *bandwagon effect*, ossia sono state indotte all'utilizzo di tale tecnologia emergente a causa dell'elevato hype intorno alla stessa e alla diffusione dei primi casi di successo. È tuttavia importante la valutazione del caso specifico, in particolare è bene valutare se l'esistente dotazione tecnologica sia in grado di soddisfare le esigenze del cliente in termini di trasparenza e tracciabilità dei prodotti, e se ci siano particolari punti interni alla filiera presentanti friction causate dalla mancanza di correttezza o affidabilità dei dati. Inoltre secondo un rapporto di BCG, risulta superflua l'implementazione della BCT in un network di dimensioni ridotte, all'interno del quale vi è fiducia reciproca e conoscenza diretta tra i vari player, ossia nelle Supply Chain in cui è intrinsecamente possibile identificare univocamente il reale stato dell'arte e i diversi passaggi che hanno portato allo stesso [84]. Questa premessa è utile per indurre il rispetto del principio cardine da prendere in considerazione ogni qualvolta si affrontano decisioni riguardanti una tecnologia emergente: *use a suitable technology, not a technology suitably* [83].

L'implementazione della Blockchain avviene infatti spesso per finalità di marketing, ossia per presentare l'azienda come digitalizzata e al passo con le tecnologie emergenti. Il duplice beneficio che ne deriva è un miglioramento dell'immagine agli occhi del cliente finale e delle figure professionali tecnicamente competenti in cerca di occupazione: l'impresa acquista pertanto vantaggio competitivo sia nel settore del proprio core business che nel mercato del lavoro. Una delle peculiarità della BCT che maggiormente attira le aziende in cerca di visibilità è la capacità del prodotto, la cui filiera è salvata sulla Blockchain, di "auto-pubblicizzarsi". I produttori e i rivenditori, infatti, necessitano di un minore dispendio di energia e risorse per veicolare le informazioni sulla provenienza e modalità di lavorazione, stoccaggio e trasporto al cliente finale, in quanto tali dati sono già salvati sulla Blockchain. Inoltre le aziende possono

migliorare il proprio ritorno sull'investimento: i fondi stanziati per l'R&D e per l'innovazione tecnologica divengono indirettamente strumento di marketing. Sistemi di tracking e traceability, geolocalizzazione e sensori IoT, la cui istallazione è generalmente finalizzata al miglioramento dell'efficienza della filiera, ricoprono un ruolo attivo nella *customer experience*, in quanto aumentano l'affidabilità, la credibilità e la velocità di trasmissione delle informazioni fornite ai consumatori. L'utilizzo della BCT diviene infatti una sicurezza per il cliente poiché, con i dovuti requisiti di autorizzazione, può accedere a dei dati che risultano essere immutabili e, in molti casi, in real-time. La certezza dell'immutabilità dei dati inseriti sulla Blockchain non è tuttavia, come già accennato, una garanzia della correttezza degli stessi. La combinazione di libero accesso alle informazioni e immodificabilità delle stesse risulta però essere una sicurezza per il consumatore. L'inserimento di dati falsati, errati o contraffatti, oltre a costituire un reato, comporterebbe ingenti danni di immagine e perdita di quota di mercato. Difficilmente le aziende sono disposte a rischiare, data la posta in gioco. Per ridurre al minimo il rischio è necessario eseguire un'attenta fase di *vetting*, ossia di scelta dei nodi partecipanti alla Blockchain privata. La decisione dev'essere presa tenendo in considerazione in primis l'affidabilità dell'azienda, ed al contempo il grado di cyber resilience e la capacità di salvaguardia della propria identità digitale: il network risulta essere tanto vulnerabile quanto l'anello più debole della catena [19].

Pertanto, al fine di effettuare una decisione consapevole e non incorrere in errori di valutazione riguardanti la bontà dell'implementazione della BCT dettati dall'hype intorno alla stessa, è bene effettuare una valutazione razionale delle caratteristiche della tecnologia in questione e della fattibilità di tale scelta all'interno del contesto aziendale e dell'intera Supply Chain.

3.3.1 Analisi della tecnologia

La valutazione delle caratteristiche della tecnologia secondo Peter Verthoeven, et al. dev'essere effettuata seguendo due principi cardine: *mindfulness* e *task/tech fit theory* [83]. Il concetto di mindfulness si riferisce alla consapevolezza da parte del C-level, responsabile della decisione, della presenza ed entità dei risvolti positivi e negativi dell'introduzione della tecnologia ad ogni livello, quindi dell'impatto sia sulle operations e le modalità di gestione che sulle risorse umane, ed al contempo della valutazione di valide alternative. La teoria task/tech fit si riferisce invece all'analisi delle operazioni svolte quotidianamente dalle varie funzioni aziendali, con particolare riguardo ai differenti input/output ed alle competenze richieste alle risorse umane incaricate dello svolgimento delle stesse. È necessario quindi ricercare i cambiamenti apportati

in potenza dalla BCT e verificare l'esistenza di un fitting tra gli stessi e i requisiti delle diverse operazioni, in quanto l'ipotesi di fondo di tale teoria è l'impatto positivo dell'implementazione di una nuova tecnologia sulle performance di un task qualora le funzionalità della tecnologia siano allineate con i requisiti del task stesso.
In particolare lo studio di Peter Verthoeven, et al. analizza i diversi case study di implementazione della BCT ponendo l'attenzione su cinque aspetti:

"*Engagement with technology".* Grado di dettaglio con cui è compresa la nuova tecnologia. Come è ovvio, maggiore è il livello di approfondimento e maggiore è la probabilità di effettuare scelte coerenti agli obiettivi della singola realtà aziendale e al contempo prevedere eventuali friction emergenti.

"Technological novelty seeking". Strettamente correlata alla comprensione della tecnologia è la ricerca di novità nella tecnologia da adottare: è bene essere consapevoli del fine ultimo dell'implementazione ed essere certi che la tecnologia ne permetta il raggiungimento.

"Awareness with local context". Tale aspetto è approfondito nel dettaglio nella sottosezione 3.3.2 Analisi delle condizioni al contorno.

"Cognizance of alternative technologies". Il confronto tra la tecnologia da implementare e le esistenti sul mercato è fondamentale per un'implementazione consapevole al fine di verificare la presenza di alternative meglio adattabili al contesto in cui l'impresa opera.

"Anticipation of technology alteration". In un mondo in cui l'innovazione tecnologica è il principale oggetto di investimento e il grado di digitalizzazione è in continua crescita non è pensabile ritenere che il processo di sviluppo si arresti una volta implementata una nuova tecnologia seppur altamente innovativa. È fondamentale ipotizzare i possibili cambiamenti futuri interni al settore o globali è chiedersi se la tecnologia che si è in procinto di implementare sarà in grado di fronteggiarli adeguatamente.

3.3.2 Analisi delle condizioni al contorno

Le peculiarità del network in cui l'impresa sono un fattore decisionale preponderante nella scelta di implementazione della BCT. Case study di successo sarebbero potuti risultare

fallimentari se implementati con diverse condizioni al contorno, e viceversa. La Figura 3.6 mostra tramite un diagramma di flusso le domande da porsi per effettuare una corretta valutazione dell'ambiente.

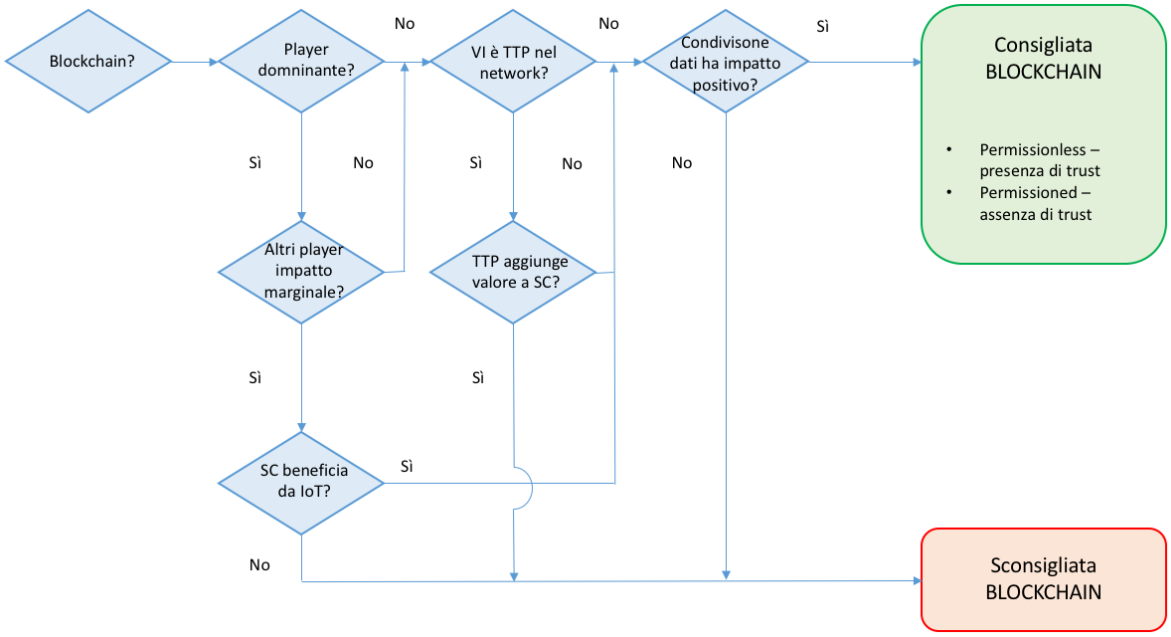

Figura 3.6 – Quesiti per la valutazione dell'ambiente esterno [19].

Nell'analisi delle condizioni al contorno è necessario ampliare la visione limitata relativa alla singola realtà aziendale e analizzare l'insieme di tutti gli attori coinvolti direttamente e indirettamente nel life cycle di un prodotto, partendo da un livello di astrazione maggiore fino a scendere nel dettaglio dei rapporti tra i vari player. L'indagine dell'adeguatezza del network all'implementazione della BCT ha origine dal rapporto tra i nodi della filiera: essi sono allo stesso livello da un punto di vista di autonomia decisionale e di impatto delle proprie azioni sugli altri player, oppure vi é un attore che emerge sugli altri, dominanti per dimensioni, potere economico e contrattuale? Nel secondo caso si parla di player dominante. A titolo esemplificativo si possono citare le Supply Chain delle case automobilistiche: in tale contesto vi è l'azienda produttrice che è il player dominante mentre i fornitori sono i player marginali. Spesso i supplier hanno linee, se non stabilimenti, dedicati e adattati all'azienda produttrice. Il potere contrattuale di quest'ultima è pertanto molto forte e c'è un elevato rischio di comportamenti opportunistici, detto rischio di hold-up. Al fine di implementare la BCT, è consigliata la parità tra i diversi player. Ciò è perfettamente in linea con le basi della Blockchain,

tecnologia nata per permettere gli scambi e le interazioni tra peer senza la presenza di autorità centrali super partes alle cui regole sottostare. È però possibile adottare con successo la Blockchain anche nel caso in cui non vi sia l'equità, ma in cui il potere contrattuale e l'impatto delle decisioni degli attori marginali detengano comunque un ruolo rilevante. Ovviamente quelle evidenziate dalla Figura 3.6 sono linee guida: talvolta la presenza di un player dominante può essere positiva in quanto permette un rapido raggiungimento di accordi riguardanti modalità di gestione/operabilità e meccanismi di governance, e guida i vari player verso l'adozione della tecnologia: questo è il caso del *network orchestrator*. È indubbio però che nel caso in cui sia disincentivata la collaborazione e la fiducia reciproca a causa di una figura troppo forte e predominante, ossia non sia stato superato con successo il coopetition paradox, l'adozione della BCT sia altamente sconsigliata. Questa affermazione prescinde però dalla condizione secondo cui all'intero network pervengano ingenti benefici da un utilizzo di piattaforme condivise abilitanti tecnologie quali l'IoT. Deve pertanto essere valutato attentamente il trade-off tra perdita di autonomia dei singoli attori a vantaggio del player dominante e benefici economico-operativo-sociali apportabili, quali track and trace e snellimento e velocizzazione contabile e operativa.

Il secondo macro-aspetto da prendere in considerazione è la presenza di una TTP, trusted third party, all'interno del network. Il paradigma tradizionale nella stragrande maggioranza dei settori consiste nella presenza di un'autorità superiore che regola le interazioni tra i diversi utenti, garantendone la legittimità e la correttezza tramite regole di governance. Il trend riscontrato negli ultimi anni è un progressivo shifting da tale paradigma ad uno nuovo per cui i singoli interagiscono tra loro direttamente senza intermediari. È però bene notare come in alcuni settori la presenza di un'autorità garante sia fondamentale e imprescindibile al fine della corretta operatività. Ci sono settore come l'healthcare ed il food in cui non è pensabile uno scambio diretto tra i singoli nodi senza l'accompagnamento di documentazioni a garanzia della corretta esecuzione del processo finalizzai alla salvaguardia della salute e della sicurezza dei consumatori. Nonostante questo si stanno diffondendo embrionali soluzioni ibride tali per cui la TTP passa dall'essere un'autorità super partes ad essere uno degli n nodi interni al network e, come tale, può interagire con i restanti attori scambiando documentazioni e fornendo approvazioni.

Infine non è da sottovalutare l'impatto della condivisione dei dati. Come accennato, nelle Supply Chain esiste il paradosso della coopetition secondo cui tra i diversi player i rapporti risultano difficoltosi a causa della duplice natura degli stessi di collaborazione e competizione.

Non è pertanto scontato che la condivisione dei dati abbia sempre un impatto positivo, benché com'è noto lo scambio di informazioni comporta tangibili benefici, in primis la riduzione dell'effetto bullwhip. Sono infatti ipotizzabili scenari quali la riproduzione di business model di successo di un altro attore o i comportamenti opportunistici perpetrati da alcuni player a discapito di altri. È pertanto fondamentale valutare il trade off tra l'uno e l'altro aspetto in riferimento allo specifico network considerato.
Una volta appurata l'adeguatezza della tecnologia al raggiungimento degli obiettivi predeterminati, il fitting della stessa con le attuali modalità operative e aver analizzato la fattibilità all'interno del singolo network e settore, l'impresa può dare inizio al processo di implementazione della Blockchain. Tale percorso è da preventivare come lungo e ricco di ostacoli.

3.4 Ostacoli all'implementazione

"*Give a small boy a hammer, and he will find thet everything he encounters needs pounding*"
Abraham Kaplan, filosofo delle scienze comportamentali.

Dato l'elevato hype esistente attorno a tale tecnologia, il trend attuale è l'adozione della Blockchain da parte di ogni settore e ad ogni costo. È tuttavia necessario considerare caso per caso, in quanto non sempre l'implementazione della BCT è la migliore soluzione per un'impresa: nonostante i numerosi benefici ottenibili nella gestione e nell'operatività all'interno della Supply Chain, non sono da sottovalutare le criticità riscontrabili nell'implementazione della stessa.
Prima tra tutte è l'**inerzia al cambiamento** [58]. Le risorse umane interne ad un'azienda con il tempo acquisiscono esperienza e know-how relativamente alle attività e ai processi in cui le stesse sono coinvolte quotidianamente. Il cambiamento comporta in sé un passaggio da una condizione in cui le competenze assodate permettono di svolgere in modo ottimale i task assegnati ad una situazione in cui l'apprendimento del nuovo metodo operativo o di gestione si è perfezionato, passando tuttavia da una necessaria fase di training. L'effort profuso in tale periodo di transizione, sia a livello mentale che di tempo impiegato, è variabile a seconda del grado di innovazione da raggiungere e dell'età ed esperienza della risorsa considerata. È tuttavia, per ogni soggetto, un periodo di instabilità, condizione per cui l'essere umano prova avversione per natura. Il cambiamento è agevolato dal cosiddetto processo di *sensemaking*, ossia il meccanismo psicologico che si origina nel momento in cui i dati esperiti non sono

allineati con le aspettative teoriche. In seguito a tale condizione, il soggetto prende coscienza della necessità del cambiamento: è fondamentale pertanto, al fine dell'implementazione della Blockchain, che gli attori coinvolti percepiscano di avere un bisogno potenzialmente risolvibile dal cambiamento che si apprestano ad affrontare. A tal fine è bene individuare le criticità esistenti ed i potenziali benefici derivanti.

Analizzando l'intero network costituito dai vari player, emergono ulteriori difficoltà. La diffusione delle BCT nel campo della Supply Chain non può ancora essere considerata capillare. Come per ogni innovazione, è necessario che vi siano diverse aziende first mover che per prime diano fiducia alla tecnologia emergente affinché la stessa si diffonda, si raggiunga la cosiddetta massa critica e si concretizzino **economie di rete** [57]. Lo scoglio all'adozione su larga scala di tale tecnologia, a questo proposito, è la mancanza di standard comuni e la conseguente difficoltà di integrazione B2B. In particolare l'assenza di standard si riscontra nella deficitaria interoperabilità tra i diversi sistemi operativi e gestionali delle differenti realtà aziendali, condizione che ostacola un lineare flusso di informazioni e scambio di dati e comporta pertanto un disallineamento tra i diversi livelli della filiera. La difficoltà nel raggiungimento di standard comuni ha radici nella complessità intrinseca di collaborazione tra i diversi player all'interno di una filiera logistica. Spesso i vari attori presentano obiettivi disallineati e un mismatch tra le corporate philosopies, oppure vi è in generale un clima di **mistrust**. Tale condizione è influenzata dal grado di maturità della Supply Chain, ossia dalla stabilità e durevolezza dei rapporti tra le singole realtà aziendali. L'implementazione ottimale della BCT necessita dell'esistenza di un rapporto fiduciario alla base tra le diverse imprese, in quanto presuppone trasparenza nello scambio di informazioni interaziendali talvolta sensibili. Affinché tale processo avvenga è indispensabile che ogni attore sia conscio del reale beneficio ottenibile tramite la nuova tecnologia e che tale beneficio sia significativo per ogni singolo player. In caso contrario è ipotizzabile che molte imprese non abbiano interesse nel trasferire i propri dati rischiando in tal modo di **perdere parte del loro vantaggio competitivo** derivante da una condizione di asimmetria informativa [84]. È infatti possibile che lo scambio di informazioni con i diretti competitors possa portare alla rivelazione di strategie di business e agevoli quest'ultimi, o ancora che lo scambio di informazioni con i diversi livelli della filiera possa comportare indirettamente un passaggio di conoscenze e acquisizione di competenze ed il rischio di integrazione verticale. Altro ostacolo alla condivisione dei dati e di conseguenza all'adozione della Blockchain è il rischio di **cyberattacchi**. Gli stessi, come nel dettaglio descritto nella sottosezione 3.2.1 Sicurezza e privacy dei dati, hanno registrato negli ultimi anni

un aumento sia da un punto di vista di quantità che di gravità. Le imprese sono consapevoli che la maggiore esposizione agli attacchi comporta mettere in pericolo non solo i dati sensibili aziendali, ma anche i dati personali e la sicurezza dei clienti o la continuità del servizio. Per mitigare tale rischio è bene compiere azioni volte al miglioramento della cyber-resilience aziendale, quali ad esempio l'utilizzo della crittografia E2E.

L'implementazione della BCT comporta altresì ulteriori criticità dovute alla forte componente disruptive della stessa. È considerabile un notevole ostacolo il sovracitato problema denominato **chicken and egg** [42], ossia la presenza in media all'interno delle realtà aziendali di un gap tra le competenze tecnologiche richieste dall'innovazione digitale e le effettive competenze di cui l'impresa dispone in-house, fenomeno particolarmente evidente nelle PMI. Tale aspetto è mitigato dai servizi offerti dalle società di consulenza che generalmente accompagnano l'impresa nel processo di implementazione offrendo training alle risorse coinvolte.

Infine dato l'elevato grado di digitalizzazione necessario all'implementazione della BCT sono necessari diversi **costi di set up**, differenti per tipologia e entità a seconda della condizione di partenza dell'impresa [61]. In primis sono da citare i costi progettuali, quali lo studio di fattibilità, le risorse umane impiegate (tecnici IT e project manager), l'acquisizione di infrastrutture hardware e software e lo sviluppo di modalità di integrazione e interfacce tali per cui quest'ultime risultino essere compatibili con l'ERP esistente. Tra tali infrastrutture possono essere annoverate quelle atte al reperimento e allo storage (fisico o virtuale) dei dati raccolti durante i processi al fine dell'inserimento sulla BCT, quali rete RFID o sensori IoT, e quelle atte alla memorizzazione in locale della copia del ledger, anche in questo caso fisiche o virtuali quali hard disk, server o cloud. A seconda della funzione dell'impresa all'intero del network, è da valutare altresì l'influenza del costo dell'energia elettrica necessaria al funzionamento della BCT, in particolare per il meccanismo di convalida delle transazioni, ed eventualmente il gas cost associato alla creazione ed esecuzione degli smart-contract. Infine ai sopracitati costi è da sommare la manutenzione: la stessa risulta essere fondamentale non solo per il mantenimento del livello di efficienza, ma anche per la salvaguardia della sicurezza, pertanto ricopre un ruolo importante la manutenzione preventiva insieme alla predittiva. L'insieme dei costi annoverati mostrano in modo evidente la presenza di **barriere all'ingresso** ai mercati in cui è diffusa la BCT, percepite in particolare dalle PMI o da imprese in paesi emergenti/poco sviluppati in cui il grado di digitalizzazione di partenza è mediamente più basso. Tali realtà genericamente, al fine dell'adozione della BCT, entrano a far parte di una rete in cui è presente un network orchestrator con capacità di investimento e innovazione tali da colmare i gap dei restanti player.

È tuttavia da sottolineare quanto emerge dallo studio condotto dal Politecnico di Torino in collaborazione con il CIRRELT [61], ossia che il costo di implementazione della BCT risulta essere sostenibile, in particolare in riferimento ai benefici ottenuti. È da evidenziare infatti che ai costi di set up è da sottrarre il costo di mancata implementazione della tecnologia, consistente a titolo d'esempio in sprechi, campagne di richiamo e maggiore tempistica burocratica, impiego di risorse e dispute tra diversi player.

3.5 Grado di digitalizzazione necessario

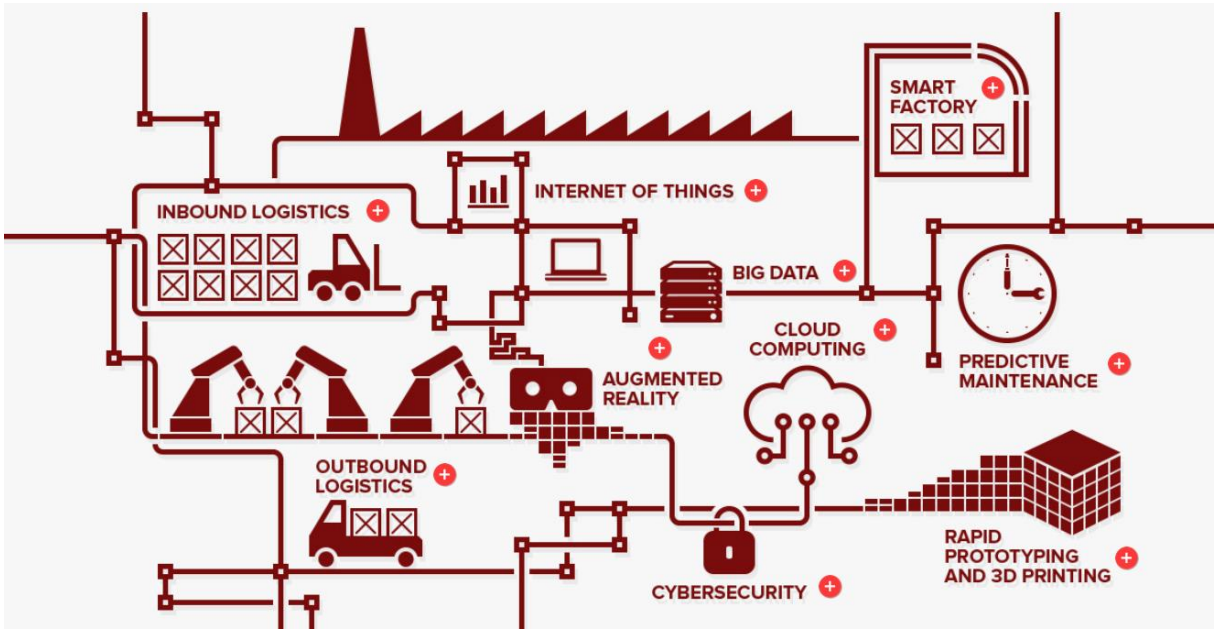

Figura 3.7 - Tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 [85].

Come si evince dalla Figura 3.7, con il passaggio all'Industria 4.0 la Supply Chain si è evoluta da una catena lineare di processi, ad un'interconnessione di diversi attori, tecnologie, strumenti e risorse che devono essere strettamente connessi ed integrati tra loro. Il grado di digitalizzazione target non è uniforme per ogni azienda, ma dipende da diversi fattori quali il mercato d'appartenenza, "la multinazionalità" e il livello dei peer. Vi è tuttavia la certezza che il trend riscontrato negli ultimi anni e previsto per il futuro è l'apertura alle nuove tecnologie, pertanto è bene iniziare per tempo il processo di cambiamento del mindset aziendale: anche nel caso in cui non si voglia affrontare il rischio di adottare una tecnologia nascente, ed essere quindi first mover, è necessario iniziare la fase di training dei dipendenti e di innovazione tecnologica, in modo tale da poter essere pronti a ricoprire il ruolo di first follower.

Al fine di poter considerare il grado di digitalizzazione globale di un'impresa in riferimento alle competenze e tecnologie necessarie per l'implementazione della Blockchain vi sono due aspetti da considerare: le risorse umane e le risorse fisiche dell'impresa, quali infrastrutture e strumenti.

3.4.1 Grado di digitalizzazione HR

La tendenza delle moderne realtà aziendali è il graduale affiancamento e/o sostituzione delle risorse umane con le macchine, a causa del maggiore livello di efficienza sia a livello di velocità nell'operatività che in incidenza degli errori. Ciò non comporta necessariamente una diminuzione del numero dei dipendenti, bensì un reindirizzamento degli stessi verso funzioni che siano trasversali o di livello superiore. Allo stato attuale è riscontrata l'elevata rilevanza delle risorse umane, in particolare nelle PMI, di conseguenza è fondamentale la formazione delle stesse tramite opportuni training al fine dell'implementazione di tecnologie di natura disruptive.

Con la già citata Manovra Digitale 2019, grazie all'intervento di Confindustria, le imprese possono usufruire del credito d'imposta per gli investimenti in formazione del personale, con limiti dettati dalla grandezza della realtà aziendale [62]. Ciò dimostra come il problema sia sentito ad ogni livello.

Da un punto di vista pratico, le capacità da acquisire per le risorse umane si dividono in due macro-categorie: conoscenza di base della tecnologia in procinto di essere implementata e competenze relative ai nuovi sistemi gestionali e strumenti informatici adottati come supporto alla Blockchain.

Conoscenza della nuova tecnologia. Nell'implementazione di una nuova tecnologia un aspetto fondamentale da tenere in considerazione è l'inerzia al cambiamento delle figure presenti all'interno dell'impresa data dall'interiorizzate dimestichezza e familiarità con gli usuali modus operandi e processi. Deve essere indirizzato alle stesse quindi un corso di training dedicato finalizzato alla comprensione della BCT, con un livello di approfondimento differente in base al ruolo ed al livello di interazione con la stessa. Fondamentale è la consapevolezza di quali siano le motivazioni del cambiamento, al fine di una maggiore motivazione dei dipendenti, e di quali siano i rischi alla stessa collegati. La formazione di una Supply Chain coesa necessita, infatti, come input la condivisione di dati aziendali sensibili, pertanto è di fondamentale importanza la consapevolezza di quali potrebbero essere gli effetti collaterali di un comportamento non attento o errato, quale per esempio il lasciare incustodita la propria chiave privata di accesso, in quanto le ripercussioni potrebbero essere gravi per la sicurezza sia

aziendale che, indirettamente, dei consumatori. Tale fine dev'essere perseguito tramite un allineamento degli obiettivi lungo tutti i livelli dell'organizzazione. Un esempio è il ruolo fondamentale svolto dagli addetti alla manutenzione: in una Blockchain che utilizza sensori IoT come garanti dell'affidabilità delle informazioni inserite come dati di input, un malfunzionamento potrebbe comportare nel migliore dei casi uno spreco di prodotti conformi e nel peggiore una distribuzione di merce non idonea.

Apprendimento dei nuovi sistemi gestionali e operativi. L'inerzia al cambiamento è altresì presente in questa fase di evoluzione. Tale cambiamento deve pertanto essere necessariamente accompagnato da un training specifico avente come finalità l'insegnamento delle novità in ambito di modalità operative, funzionalità e logiche di processo. Questa transizione necessita per natura di un periodo di tempo in cui è probabile che il rendimento delle risorse umane subisca una decrescita. È però da evidenziare come la peculiarità dei più moderni sistemi gestionali di essere user-friendly e intuitivi agevola e riduce le tempistiche di tale cambiamento. Per entrambe le macro-aree di training è stata considerata come necessaria solamente una conoscenza superficiale della tecnologia emergente, in quanto si è presupposto che, come generalmente avviene, la stessa sia implementata in una realtà aziendale mediante l'ausilio dei servizi offerti da società di consulenza. Pertanto non si sono considerate competenze informatiche, quali la programmazione dei software dedicati e delle modalità di integrazione machine-machine e machine-infrastructure, o giuridiche per la redazione di smart-contract. È tuttavia da sottolineare che più è approfondita la conoscenza da parte delle risorse umane della tecnologia utilizzata e maggiore è il value-added estraibile dalla stessa, in quanto risulta essere minore il tempo per il rilevamento ed il fitting di eventuali criticità o bug nel sistema e, di conseguenza, maggiore l'efficienza dei processi.

3.4.2 Grado di digitalizzazione infrastrutture e processi

Il grado di digitalizzazione necessario delle infrastrutture ed i processi aziendali è difficilmente definibile a priori, in quanto vi è una forte dipendenza dal settore di appartenenza, lo scopo dell'implementazione e le infrastrutture hardware e software di cui dispongono i rimanenti partecipanti del network. In generale è possibile affermare che sono da considerare due macro-categorie di hardware/software: infrastrutture costituenti la Blockchain stessa e gli strumenti di supporto ad essa. Anche per quanto riguarda le infrastrutture ed i processi aziendali le società di consulenza possono offrire servizi di supporto nella fase di implementazione, processo facilitato dall'esistenza di diversi service provider che permettono la fruizione di SaaS (software

as a service) altamente user-friendly tali per cui è possibile appoggiarsi a piattaforme condivise senza la necessità di sviluppare il software in-house.

Blockchain. Una delle società più avanguardistiche nel campo della Blockchain è IBM. L'impresa ha partecipato alla fondazione del progetto Hyperledger, finalizzato allo sviluppo cooperativo di BCT in modalità open source, avente come clientela target le imprese [86]. I servizi di supporto all'implementazione della Blockchain offerti da tale impresa sono esemplificativi delle modalità con cui una realtà aziendale può approcciare il cambiamento tecnologico, a seconda delle competenze in-house e grado di digitalizzazione posseduti ed al livello di autonomia rispetto a società esterne che si desidera mantenere. IBM offre tre differenti possibilità per un'impresa: entrare a far parte di un network IBM esistente, utilizzare la piattaforma a disposizione ma creare una soluzione personale, co-creare con IBM una soluzione per la particolare impesa. Un esempio della prima possibilità è il network FoodTust, a cui sono ammesse solo realtà appartenenti al settore alimentare [87]. Il network in questo caso è già strutturato e perfettamente operante; l'azienda può decidere di entrare a farne parte ad un costo proporzionale alla grandezza dell'impresa (da circa 50 milioni a più di un miliardo). Il costo comprende l'annessione di moduli finalizzati alla tracciabilità E2E e alla gestione della documentazione. L'implementazione può altresì essere "self-guided" o "virtually-guided", a seconda se l'impresa richiede o meno l'ausilio di consulenti IBM nel processo. La seconda possibilità offerta ad un'impresa nell'implementazione della BCT è l'utilizzo della piattaforma IBM in modo autonomo: la stessa è stata pensata per essere integrata ai sistemi gestionali esistenti in modo tale da richiedere il minor numero di adattamenti possibile degli stessi. Essa è infatti multi-cloud, ossia non necessita di un'unica piattaforma cloud, ma è in grado di istaurare un dialogo tra cloud diversi. L'erogazione di tale servizio ha invece un costo proporzionale all'utilizzo: 0.29 dollari per Allocated CPU-Hour. Infine IBM dà la possibilità di supporto allo sviluppo di una soluzione ad hoc per l'impresa, come ad esempio un'espansione del network o un'interazione della BCT esistente con i sistemi IoT, o ancora una creazione di proof-of-concept o progetti pilot in imprese in una fase di trasformazione digitale. La varietà di tali soluzioni proposte mostra come non sia necessario un determinato grado di digitalizzazione dell'impresa di input, in quanto esistono società finalizzate al supporto a tale transizione proporzionale alle necessità aziendali.

Strumenti di supporto. Il panorama degli strumenti utilizzabili come supporto all'implementazione della BCT è molto ampio. A secondo della tipologia di informazioni da inserire nella Blockchain, le tecnologie utilizzate per la raccolta e lo storage delle stesse possono

essere le più svariate. Tuttavia la diffusione di alcune tecnologie più di altre ha registrato negli ultimi anni un trend crescente. Un esempio di tali tecnologie è l'IoT, i sistemi di sensoristica intelligente in grado di interagire tra loro e con l'infrastruttura. La motivazione è semplice: i dati salvati all'interno del ledger distribuito sono immutabili e ne è reperibile lo storico, tuttavia non vi è alcuna garanzia che le informazioni inserite siano corrette di per sé, pertanto l'utilizzo di sensori come provider di dati di input permette l'oggettività, l'accuratezza e l'affidabilità degli stessi. Al fine di un'efficiente implementazione è bene identificare le tre principali modalità di interazione [88] tra i sensori IoT e la BCT, evidenziate dalla Figura 3.8. Le interazioni possono avvenire solamente tramite il passaggio dalla registrazione dei dati sulla Blockchain al fine di tracciare ogni singola transazione oppure i diversi dispositivi possono dialogare direttamente tra loro e non salvare ogni dato sulla Blockhain in modo che vi sia una maggiore gestibilità in termini di storage. Infine i diversi dispositivi possono interagire tramite una soluzione ibrida: quest'ultima consiste in un dialogo tra i dispositivi IoT in parte diretto e in parte tramite la Blockchain, combinato all'utilizzo del fog computing, ossia la tecnologia, evoluzione del cloud computing, che permette lo sfruttamento della potenza di calcolo altresì di dispostivi distribuiti in un'ottica di condivisione delle risorse e di fruizione delle stesse in base alla richiesta.

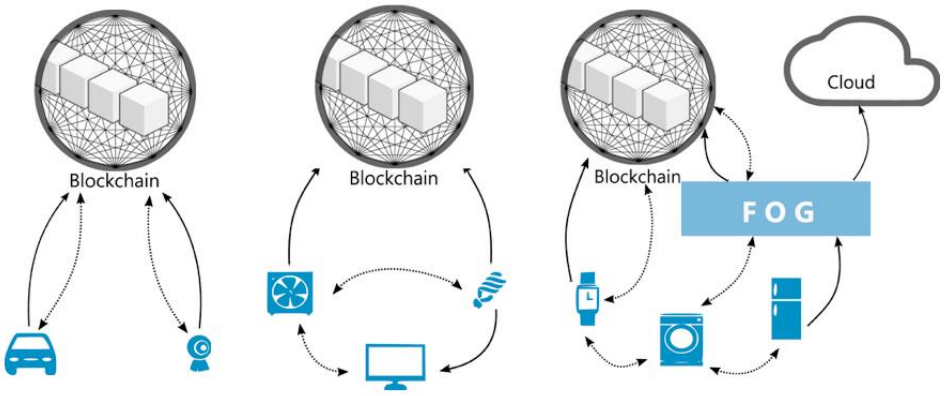

Figura 3.8 - Tre tipologie di interazione tra IoT e BCT [88].

La seconda tecnologia che ha registrato una crescente diffusione come supporto alla Blockchain è l'AI. I campi di applicazione di tale tecnologia sono molto vasti, uno di essi a titolo esemplificativo è l'utilizzo di algoritmi finalizzati ad analizzare i dati quand'essi risultano ancora essere crittografati. Tale processo risponde alla necessità di salvaguardia delle

informazioni sensibili scambiate tra i diversi nodi da attacchi informatici, volti per esempio allo spionaggio.

3.6 Implementazione della Blockchain

Una volta effettuato lo studio di fattibilità, ossia valutato attentamente se i benefici proposti dalla BCT siano allineati agli obiettivi dichiarati, se le condizioni al contorno del proprio mercato siano favorevoli all'implementazione tramite l'albero degli eventi riportato nella sottosezione 3.3.2 Analisi delle condizioni al contorno, e se il cambiamento tecnologico sia economicamente conveniente nel lungo periodo, l'impresa potrebbe dare concretamente il via alla fase di implementazione della Blockchain. È tuttavia da sottolineare come la fattibilità teorica non corrisponda necessariamente ad una reale. L'implementazione della BCT ha infatti come input la condivisione trasparente dei dati tra i differenti attori della filiera, i quali tuttavia spesso risultano essere competitors: tale situazione di stallo è detta *coopetition paradox*. Se all'intero del network prevale la collaborazione e si converge a punti di incontro sulle tematiche costituenti le fondamenta della BCT, si può dar inizio alla reale fase di implementazione.

3.6.1 Coopetition paradox

Nello studio *Resolving the Blockchain paradox in trasportation and logistics* pubblicato nel 2019 da Boston Consulting Group [84] è descritto l'esistente paradosso alla base dell'implementazione della BCT all'interno delle Supply Chain attuali. L'adozione della tecnologia Blockchain all'interno di una filiera comporta un aumento di trasparenza all'interno della stessa, grazie alla condivisione e immutabilità delle informazioni; questa condizione è da considerarsi un fattore mitigante della mancanza di fiducia presente intrinsecamente tra i vari player. Il paradosso emerge con la consapevolezza che, per arrivare ad implementare la Blockchain e quindi mitigare la mistrust esistente, è fondamentale la cooperazione tra i vari attori della Supply Chain al fine di creare un unico ecosistema con regole e modalità operative comuni. Tale paradosso è anche denominato *coopetition paradox*, nome che evidenzia l'intrinseca difficoltà di cooperazione tra attori tra cui vige un rapporto di competizione.

La mancanza di collaborazione presente intrinsecamente nelle filiere moderne può essere imputata principalmente a due fattori: frammentazione e mistrust. È diffuso tra i vari player, seppur gli stessi siano parte di un network, un comportamento atomistico tale per cui risulta essere ostacolata la formazione di standard comuni e di conseguenza la compatibilità e l'integrazione tra i nodi, condizione aggravata dalla presenza di regolamentazioni differenti a

seconda dei Paesi d'origine. La diffidenza reciproca tra i vari player comporta, invece, una riluttanza nello scambio di informazioni data dal timore della perdita di vantaggio competitivo e, talvolta, dei vantaggi derivanti da una condizione di asimmetria informativa. La modalità più comune di risoluzione di tale paradosso è lo sforzo unilaterale da parte di un player, il quale agisce da *network orchestrator* spronando altri attori della Supply Chain a partecipare ad un progetto condiviso tale per cui ogni nodo possa trarre benefici concreti, identificati chiaramente da un punto di vista di immagine di brand, esperienza e ritorno economico.
La collaborazione può essere raggiunta, e di conseguenza il paradosso può essere superato, se le imprese che per prime intraprendono la strada comune dell'implementazione, ossia i *first mover* accompagnati dai *first follower*, raggiungono un accordo su punti fondamentali [84], ossia:

Governance. È bene identificare a priori le modalità di accesso al network (public/private Blockchain), i ruoli impersonati dai vari player presenti nella Supply Chain, le responsabilità, le autorizzazioni e le limitazioni all'accesso (permissionless/permissioned Blockchain). Con l'avanzare del progetto si definiscono altresì regole di governance riguardanti l'errata immissione dei dati, la possibilità di recovery e/o cancellazione. Come già accennato, non è rara la presenza di un network orchestrator, il quale influenza l'istaurazione di standard comuni volti alla collaborazione.

Elementi chiave della tecnologia. Identificati i principali deficit esistenti nell'attuale filiera e gli obiettivi di miglioramento, è necessario analizzata nel dettaglio la tecnologia responsabile del miglioramento desiderato. In primis è da capirne il funzionamento e gli elementi chiave al fine di ottenere una completa comprensione e valutare quindi le risorse e le competenze richieste. In particolare le decisioni chiave sono la scelta della modalità tramite cui raggiungere il consenso tra i partecipanti e la validazione delle transazioni (esempi sono PoW, PoS, PoET, Po), compito non necessariamente attribuibile a tutti gli attori, ma da valutare in base alla capacità computazionale necessaria e disponibile. Fondamentale è anche la scelta del set informativo da salvare on-chain e off-chain, aspetto impattante a livello operativo sulle dimensioni del ledger e di conseguenza sulla facilità di storage in locale dei dati, e a livello gestionale sulla visibilità dei dati quindi sulla trasparenza ma, al contempo, sul rischio di compromissione della privacy.

Policies. Vista la tuttora limitata diffusione della Blockchain, è fondamentale il raggiungimento di una conoscenza approfondita della nuova tecnologia da parte di ogni singola risorsa umana che si interfaccerà con la stessa. In particolare è necessario che l'intero network si accordi su pratiche di comportamento da adottare al fine di una corretta e sicura operatività. Un aspetto fondamentale da regolare sono le modalità di autenticazione dei vari nodi, in particolare nel caso di Blockchain private dove di norma non è permesso l'anonimato. Inoltre al fine del record dei dati, è necessario altresì trovare e imporre l'utilizzo di standard comuni di redazione dei dati allo scopo di ottenere uniformità nella tipologia di informazioni salvate e di conseguenza favorire l'integrazione e l'interoperabilità tra le diverse realtà aziendali appartenenti al network.

Aspetti economico-finanziari. È bene in una fase embrionale di proof of concept comprendere il gap tecnologico, digitale e di competenze tra lo stato dell'arte del network ed i requisiti necessari all'implementazione della tecnologia. Tale studio di fattibilità permette di identificare a priori i costi di set up stimati per il passaggio all'utilizzo a regime della nuova tecnologia Blockchain. L'analisi è da effettuare a priori in quanto è necessario la valutazione dei benefici riscontrabili da parte di ogni attore in conseguenza all'implementazione della tecnologia, al fine di effettuare un'oculata suddivisione dei costi da sostenere e dei potenziali ricavi derivanti.

4. Case study

Le Supply Chain moderne presentano molteplici criticità che comportano perdita di efficienza, sprechi, costi elevati o mancati profitti. Sono state identificate le dieci friction principali esistenti nelle Supply Chain moderne sulla base degli obiettivi maggiormente sfidanti identificati dalle maggiori società di consulenza [42] [73], paper dedicati all'innovazione tecnologica [58] o analizzanti la Supply Chain [89], convegni di settore [90] [91]. Le stesse si differenziano per la gravità dell'impatto prodotto, in quanto i danni spaziano da un aumento del lead time a rischi per la salute dei consumatori. Le stesse sono:

1. Inventory control: consapevolezza delle corrette quantità e ubicazioni della merce in magazzino, al fine di un perfetto allineamento tra magazzino fisico e virtuale.
2. Condizioni di stockaggio e trasporto: monitoring delle condizioni al contorno presenti durante le fasi di movimentazione interne ed esterne all'impresa del prodotto.
3. Contraffazione: certezza dell'originalità e autenticità del prodotto offerto.
4. Burocrazia: documentazione necessarie per i processi e le movimentazioni a cui è sottoposto il prodotto, tempistiche necessarie alla redazione ed al controllo delle certificazioni associate ad ogni item.
5. Tracciabilità: conoscenza istantanea dell'ubicazione corrente dell'item (track) e capacità di risalire agli step passati percorsi dallo stesso (trace).
6. Ethical sourcing e Fair trade: consapevolezza dell'impatto sociale ed ambientale di ogni processo in cui è coinvolto l'item.
7. Affidabilità dei dati: possibilità di comunicare dati certi a cui sono associate delle fonti attendibili, bypassando la necessità della sola fiducia.
8. Post-sales: servizi offerti al cliente per incontrare i bisogni dello stesso che vanno oltre il solo acquisto del prodotto.
9. Flusso finanziario: modalità di scambio del denaro finalizzato ad una velocizzazione e ad uno snellimento contabile.
10. Previsione della domanda: capacità di prevedere i trend futuri di domanda in termini di quantità per ogni item, in modo da limitare l'effetto bullwhip.

Si consideri una Supply Chain esemplificativa. La stessa è costituita da cinque attori principali, rappresentati nella Figura 4.1: il produttore di materia prima, il produttore responsabile della trasformazione in prodotto finito, il distributore, il retailer ed il consumatore.

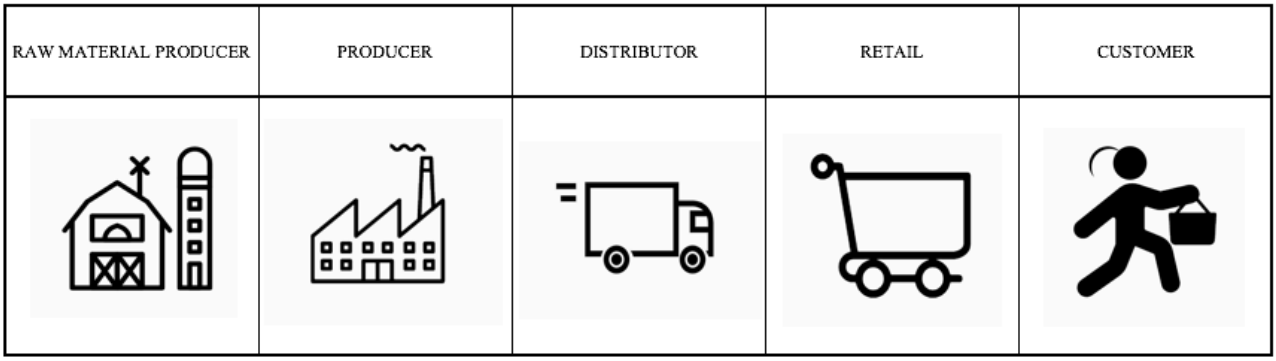

Figura 4.1 - I cinque attori principali di una Supply Chain.

Ognuna delle problematiche citate impatta su ognuno dei differenti livelli della Supply Chain, tuttavia alcune friction sono considerabili il tallone d'Achille per alcuni attori mentre condizionano solo marginalmente altri. La seguente Tabella 4.4.1 indica il grado di impatto: in particolare il colore verde indentifica un impatto diretto, la cui entità è evidenziata dall'intensità del colore, mentre il colore giallo indica un impatto indiretto.

	RAW MATERIAL PRODUCER	PRODUCER	DISTRIBUTOR	RETAIL	CUSTOMER
Inventory control					
Condizioni di stockaggio e trasporto					
Contraffazione					
Burocrazia (documentazione e tempistiche)					
Tracciabilità					
Ethical sourcing e Fair trade					
Affidabilità dei dati					
Post-sales					
Flusso finanziario					
Previsione della domanda					

Tabella 4.4.1 - Impatto delle dieci friction sui cinque attori principali della Supply Chain.

Il presente capitolo si pone l'obiettivo di analizzare le soluzioni implicanti l'utilizzo della Blockchain attualmente implementate da imprese reali finalizzate al superamento delle principali friction esistenti nelle Supply Chain moderne. È stato selezionato un campione di dieci case study differenti per settore d'appartenenza, grandezza dell'impresa (in termini di fatturato e/o numero di dipendenti) e periodo di tempo intercorso dall'implementazione. Gli stessi sono:

1. TradeLens. La partnership tra le due imprese Maersk e IBM ha portato alla creazione della piattaforma TradeLens, grazie alla quale è possibile un più agevole, sicuro e trasparente scambio di dati sulla merce movimentata tra gli operatori logistici nel settore del commercio internazionale.

2. Walmart. Uno tra i maggiori retailer mondiali, in collaborazione con IBM, ha lanciato un progetto pilot al fine di aumentare la tracciabilità lungo tutto la filiera e di conseguenza la customer experience.

3. ShipChain. L'impresa è una service provider di soluzioni basate sulla Blockchain applicabili nel settore logistico e dei trasporti finalizzate ad un miglioramento della tracciabilità degli item ed al monitoring delle condizioni di stockaggio e trasporto.

4. Bext360. L'azienda è operante nel settore della produzione e compravendita di caffè: tramite l'implementazione della BCT punta ad una maggiore consapevolezza del luogo di provenienza della merce salvaguardando altresì i lavoratori coinvolti.

5. Everledger. Tale piattaforma Blockchain opera nel settore della compravendita di diamanti e mira all'eliminazione della contraffazione per tale prodotto ad alto valore unitario e alla salvaguardia dell'ethical trade.

6. Planet. App rilasciata da NetEase che tramite gamification si pone l'obiettivo di tracciare i comportamenti aggregati degli utenti da un punto di vista preferenze d'acquisto.

7. Faizod. L'azienda leader tra i service provider di software Blockchain-based ha portato avanti un progetto per testare l'impatto e le modalità di implementazione della BCT nel settore del tessile.

8. Pointinfinity. L'azienda multinazionale conglomerata Hitachi ha creato, tramite la piattaforma Blockchain NEM, PointInfinity, soluzione finalizzata al miglioramento della gestione dei pagamenti tramite monete elettronica e tramite cui è possibile la creazione di programmi di fidelizzazione specifici.

9. Fluent. Grazie a tale piattaforma i differenti attori possono trovare modalità alternative per un più sicuro scambio di denaro e gestione dei finanziamenti.

10. Provenance. Il progetto pilot della piattaforma Blockchain Provenance si pone l'obiettivo di tracciare il percorso compiuto dal tonno dal luogo di pesca (Maluku, Indonesia) al point of sale. Il fine è il maggior controllo della Chain of Custody, unito all'eliminazione della contraffazione e alla salvaguardia dell'ambiente e dei lavoratori.

Nonostante ogni implementazione sia finalizzata e dedicata al perfezionamento solamente di alcuni degli aspetti descritti, l'adozione della Blockchain comporta di per sé il parziale superamento di ognuna delle problematiche sovradescritte.
Per ogni case study è stato identificato il grado con cui l'attuale implementazione risolve le dieci friction presentate. In particolare è stato effettuato un ranking utilizzando una scala ordinale a quattro valori (da 0 a 3), in cui tali valori rappresentano le condizioni di seguito descritte:

- 0: all'interno del case study non è presentata tale friction come finalità ultima e non è presentata come risultato indiretto.
- 1: il superamento di tale friction è stato raggiunto indirettamente.
- 2: il superamento della friction rappresenta un obiettivo secondario.
- 3: il superamento della friction rappresenta un obiettivo primario.

Date le proprietà della scala ordinale non è possibile valutare il grado di superamento medio delle friction della Supply Chain da parte della singola realtà, bensì è solamente possibile effettuare un confronto tra il grado di superamento delle diverse imprese per la stessa friction.
La valutazione è stata effettuata sulla base di report riguardanti i case study [92] [93] [94] e di testimonianze ad opera del C-level aziendale [95] [96, 96] [97] o da terze parti, quali partner [98] [99] [100] [87] [101] e esperti di settore [102] [89].
Si analizzano quindi di seguito nel dettaglio per ognuna delle dieci friction le modalità di superamento delle stesse maggiormente adottate, comparando i vari approcci utilizzati e sottolineandone le peculiarità.

4.1 Inventory control

La Figura 4.2 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** mostra il grado di superamento della friction Inventory control da parte di ognuno dei dieci case study.

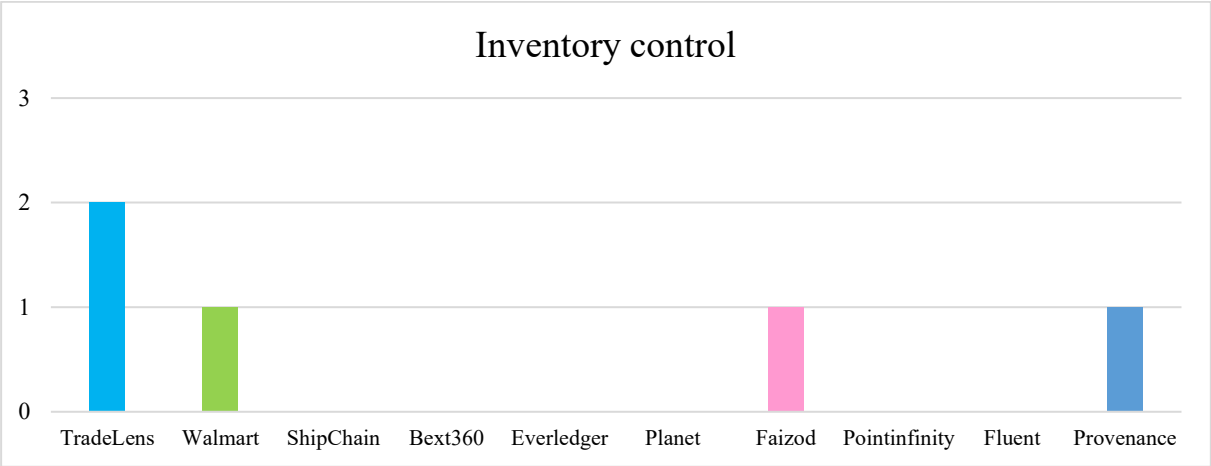

Figura 4.2 - Livello Inventory control per case study.

La gestione efficiente del magazzino comporta come vantaggi non tanto un aumento delle revenues ma una diminuzione dei costi. I costi derivanti da una mala gestione sono lo stockout, l'over-stock e gli sprechi derivanti dal rischio di obsolescenza e di scadenza dei prodotti deperibili. La BCT permette di detenere una panoramica accurata non solo delle quantità presenti nel singolo magazzino, caratteristica che già di per sé agevola le politiche di riordino e permette una responsiveness maggiore ma che può essere raggiunta anche con tecnologie meno innovative e già diffuse, ma che dà altresì la possibilità di analizzare lo stato delle giacenze lungo tutta la filiera, di cui i benefici si rivelano essere: identificare per tempo gli eventuali nodi non in grado di sopperire alla domanda cliente e procedere quindi preventivamente al riordino, comprendere meglio le strategie aziendali dietro ad un ordine e non sbagliare le previsioni sulla domanda quindi non incorrere, o ridurre, il bullwhip effect, o ancora programmare trasferimenti orizzontali finalizzati ad equilibrare i diversi livelli di giacenza dei vari nodi. Ovviamente ad i costi precedentemente citati si aggiungono gli errori umani che comportano inaccuratezze ed un conseguente disallineamento tra magazzino fisico e virtuale (double-inventory).

L'inventory control non è tra i punti di forza della Blockchain, di conseguenza la stessa svolge un ruolo prettamente di supporto e di record dei dati relativi alle operazioni di inbound e outbound, tramite la registrazione sul ledger degli item in ingresso e in uscita e delle ubicazioni degli stessi. Non sono infatti emerse dallo studio dei case study motivazioni valide per

l'integrale sostituzione dei database tradizionali con la BCT se, come è possibile anche se improbabile che sia, tale criticità risulta essere l'unica riscontrata all'interno della Supply Chain in esame. È tuttavia da evidenziare come la stessa garantisca data integrity e la possibilità non solo di vedere lo stato as-is, ma anche di risalire a tutti gli istanti precedenti in modo tale da trovare l'eventuale punto in cui è subentrato l'errore e superarlo. Un esempio del supporto fornito dalla BCT alle operazioni di inbound e outbound si può riscontrare grazie alla piattaforma **Faizod** ed al pilot dalla stessa condotto nel settore tessile [89]. Faizod ipotizza l'inserimento in ogni capo di un tag RFID: il processo consiste nello specifico nell'accoppiamento da parte del produttore dell'ID identificativo del tag RFID all'asset digitale relativo al capo fisico al momento del salvataggio del prodotto sulla Blockchain. Tale soluzione permette una notevole semplificazione e velocizzazione dello stoccaggio data la superfluità dell'apertura di ogni collo, a meno di particolari necessità di controllo, e la scansione dei singoli item in ingresso e uscita. Grazie alla Blockchain si registra un decremento delle tempistiche necessarie al controllo della conformità degli articoli per quanto riguarda i certificati e la documentazione necessari e dell'autenticità degli stessi tramite controlli sulla provenienza.
Traendo le conclusioni si può affermare che l'adozione della BCT comporterebbe un beneficio nella gestione e controllo del magazzino. L'entità del beneficio non è tuttavia tale da giustificare da sola lo shifting verso l'adozione della BCT, in particolare considerando gli svariati ostacoli all'implementazione, in primis l'inerzia al cambiamento, e la difficoltà di salvataggio in locale della copia dell'intera Blockchain data dalla mole raggiunta nel caso in cui fossero salvati su di essa anche informazioni riguardanti l'ubicazione ed ogni movimentazione interna al magazzino di ogni item.

4.2 Condizioni di stockaggio e trasporto

La Figura 4.3 mostra il grado di superamento della friction Condizioni di stockaggio e trasporto da parte di ognuno dei dieci case study.

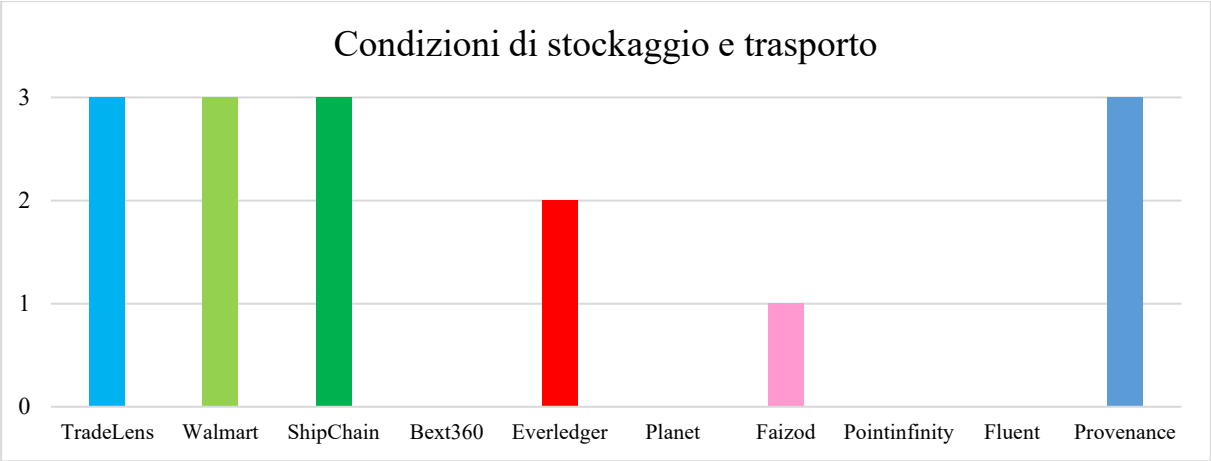

Figura 4.3 - Livello Condizioni di stockaggio e trasporto per case study.

Nessun Paese è in grado di provvedere tramite il solo autosostentamento al soddisfacimento della domanda interna, è pertanto da sempre stato necessario l'istaurazione di rapporti commerciali internazionali tramite import/export. La globalizzazione ha portato tale fenomeno ad un livello successivo: ogni consumatore ha la possibilità di acquistare prodotti provenienti da ogni parte del mondo e ciò ha comportato un totale superamento delle barriere nazionali. Il commercio internazionale di beni su scala globale vale 16 trilioni di dollari l'anno, di cui l'80% viaggia tramite container [96]. Lo spostamento dei beni è tuttavia ad oggi una fase molto delicata per ogni azienda. Spesso infatti le imprese non dispongono di una flotta di mezzi di trasporto interna, ma si affidano ad operatori logistici esterni (*third party logistics -3PL*), in particolare quando le destinazioni necessitano di trasporti intermodali o multimodali: hanno di conseguenza una scarsa visibilità sulle modalità con cui avvengono le spedizioni. Nel caso in cui siano poi riscontrate problematiche più o meno gravi riguardanti la merce all'arrivo, dalla rottura dei colli alla non adeguata conservazione dei prodotti, i danni ricadono sull'impresa produttrice, se non quelli legati perlomeno quelli di immagine. Pertanto è fondamentale che gli operatori logistici siano scelti in base all'affidabilità ed ai servizi offerti per il monitoring del loro operato. La piattaforma **TradeLens** è nata da una partnership tra Maersk, uno dei top player per le spedizioni effettuate via container, e IBM, la quale permette l'avanguardia della piattaforma da un punto di vista di servizi offerti al cliente [92]. Ogni container è provvisto di sensori IoT per monitorare le condizioni di viaggio. Il sistema di sensoristica comprende la rilevazione di temperatura, umidità e ovviamente della posizione tramite GPS. La piattaforma TradeLens rende visibili tali dati a tutti gli attori che ne necessitano ed al contempo, tramite differenti livelli di autorizzazione, li oscura a coloro che non sono abilitati alla lettura. I dati rilevati dal sistema IoT rappresentano una garanzia per le condizioni della merce durante il

trasporto. Non è infatti necessario effettuare all'arrivo controlli a campione sull'idoneità della merce in quanto la stessa è monitorata in real-time. Tale controllo rappresenta altresì un supporto alla prevenzione da manomissioni e/o furti della merce durante il trasporto, in particolare per i mezzi a temperatura controllata: il rilevamento di una repentina variazione della temperatura/umidità del mezzo o l'interruzione della trasmissione di dati da parte di un sensore possono dare inizio a un processo di verifica del carico.

Una piattaforma similare a TradeLens é offerta da **ShipChain** [93]. Tramite la stessa sono gestiti i trasporti effettuati mediante diverse modalità, quali camion, treni, aerei e navi (di entità ridotta rispetto alle navi cargo gestite da TradeLens). Obiettivo fondamentale nel trasporto delle merci è la sicurezza delle stesse, da un punto di vista di salvaguardia da urti o rotture dei colli, di prevenzione da furti e di condizioni di trasporto conformi alle necessità dei singoli prodotti, quali ad esempio temperatura e umidità: Shipchain sfrutta la tecnologia IoT per il monitoraggio di tali condizioni al contorno durante le spedizioni. Al fine di incrementare ulteriormente la sicurezza delle stesse ed al contempo dei trasportatori, l'impresa ha stipulato nel febbraio 2020 una partnership con l'impresa KeepTrucking [98]. La stessa è leader nella fornitura di sensori IoT per le flotte dedicate ai trasporti. L'offerta riguarda sensoristica volta al monitoraggio delle condizioni di trasporto, quali velocità media e massima del mezzo, idle time ed eventuali decelerazioni/accelerazioni brusche. Grazie a tale partnership, gli attori utilizzanti i dispositivi forniti da KeepTrucking possono automaticamente importare su ShipChain, e di conseguenza condividere con tutto il network, i dati riguardanti la spedizione, il percorso effettuato e le caratteristiche dello stesso. Hanno registrato un incremento notevole il livello di visibilità sull'intera filiera, data da una maggiore condivisione di informazioni, l'efficienza delle spedizioni, dato da un più accurato controllo sui processi precedentemente non tracciati, e infine sull'affidabilità delle informazioni inserite nella Blockchain, in quanto derivanti da dispositivi registranti in automatico le informazioni al contorno e non da inserimenti manuali.

4.3 Contraffazione

La Figura 4.4 mostra il grado di superamento della friction Contraffazione da parte di ognuno dei dieci case study.

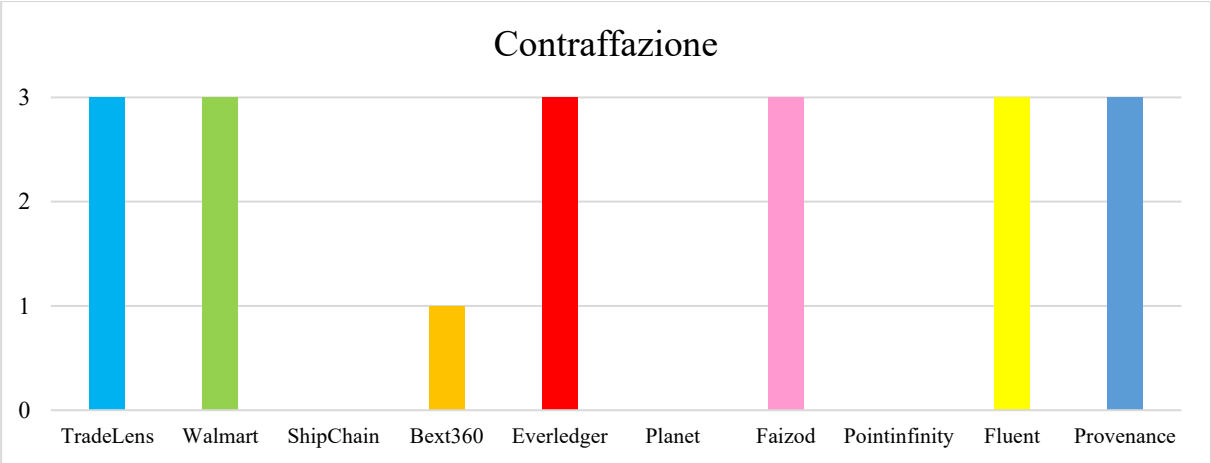

Figura 4.4 - Livello Contraffazione per case study.

Il rischio di contraffazione e frode all'interno di una filiera produttiva è notevole ed interessa tutti e tre i principali flussi tra gli attori del network: fisico, informativo e finanziario. Da tale rischio non è possibile escludere nessun settore, è infatti visibile la preoccupazione per tale criticità in ognuno dei case study analizzati. È tuttavia da sottolineare come i prodotti maggiormente soggetti alla contraffazione siano quelli ad alto valore unitario e per i quali vi sia un elevato incentivo finanziario alla creazione di sostituti.

Nel settore della produzione e compra-vendita di diamanti è un fenomeno assai diffuso, dato il valore unitario del prodotto, e facilitato dalla discreta semplicità di sostituzione del pezzo con diamanti sintetici o di modifica dei documenti, prevalentemente paper-based in particolare per il first mile. La piattaforma **Everledger** [99] si pone l'obiettivo di ridurne l'entità al fine di portare benefici all'economia, settore bancario e assicurativo, ed all'intera società, mediante la limitazione del fenomeno del *blood diamond* (problematica approfondita nella sezione 4.6 Ethical sourcing e Fair trade) .

Per quanto riguarda il settore food, è da citare la diffusione dello scambio di merce IUU, ossia illegal, unreported e unregolated, che comporta una mancanza di sicurezza per il cliente in primis, oltre che evasione fiscale e assenza di correttezza burocratica. La piattaforma **Provenance**, grazie alla BCT, permette di eliminare la possibilità di double-spending dei certificati, rischio tradizionalmente presente in quanto gli stessi sono spesso cartacei e scambiati a mano [94]. Una volta inserito sul ledger un certificato ad esso è associato un corrispettivo digitale, comprendente il codice di identificazione univoca, ed è legato indissolubilmente ad un lotto di prodotto. Questa modalità di salvataggio dei dati rende impossibile il riutilizzo del medesimo certificato per merce differente.

La Blockchain non è senza dubbio la prima tecnologia tramite cui si è cercato di arginare tale fenomeno, si pensi infatti a tutti i sistemi di identificazioni univoca come i barcode o i tag RFID. Purtroppo anche gli RFID, benchè molto più sicuri dei tradizionali barcode, corrono il rischio della contraffazione, in quanto possono essere clonati o riprodotti ad hoc. A tal proposito l'attività di monitoring teorizzata da **Faizod**, ma estendibile ad ogni realtà, è la possibilità di controlli incrociati grazie all'utilizzo dell'RFID integrato alla Blockchain. Il caso più semplice di identificazione di una contraffazione consiste nella lettura di un tag RFID che non risulta presente nella banca dati. Il numero seriale di ogni RFID è infatti salvato sulla Blockchain e legato indissolubilmente all'asset digitale relativo all'item fisico in cui è inserito il tag fisico. La complicazione nell'identificazione della manomissione subentra nel caso in cui l'RFID sia regolarmente salvato, grazie alla Blockchain è tuttavia possibile ridurre la possibilità di frode. Nel caso in cui uno specifico item sia prodotto in un determinato plant e i vari step del trasporto siano salvati sul ledger è possibile stimare il luogo in cui con maggiore probabilità può trovarsi. Deriva necessariamente che la lettura contemporanea di due tag RFID aventi la stessa origine in luoghi discretamente lontani tra loro può far dubitare dell'autenticità di entrambi e può permettere l'identificazione preventiva di frodi.

Oltre che alla contraffazione dei prodotti fisici, esiste il rischio di contraffazione dei documenti e dei certificati, ossia delle informazioni legate ai prodotti. La piattaforma **TradeLens** consente l'upload o la pubblicazione di documenti visibili in tempo reale da coloro che possiedono l'autorizzazione. Al fine di garantire l'autenticità degli stessi, ogni qualvolta un documento è uploadato o pubblicato sulla Blockchain viene altresì salvato un hash crittografico dello stesso sul ledger [96]. Con tale modalità l'attore che visualizza un documento ha la possibilità di verificare autonomamente l'eventuale contraffazione creando l'hash del documento in questione e comparando lo stesso con l'hash salvato sulla Blockchain relativo. Tale peculiarità è fondamentale nel commercio internazionale, si pensi a titolo esemplificativo alle autorità doganali, per il controllo della veridicità delle informazioni riportate. Ovviamente ciò non assicura in generale l'assenza di contraffazione. A titolo esemplificativo si consideri una spedizione di cui i documenti pervenuti nel porto di destinazione si possano considerare autentici, grazie al controllo incrociato tramite gli hash crittografici, e dove si possa ipotizzare che il documento iniziale rispecchi il reale stato della spedizione (a livello di tipologia della merce, quantità,..), non può a priori essere esclusa la manomissione manuale della spedizione o il furto della merce. Questo è uno dei motivi per cui la piattaforma TradeLens è perfettamente integrata con il sistema IoT, i cui sensori possono registrare e segnalare variazioni significative

delle condizioni interne al container. Per raggiungere una totale trasparenza e facilità di scambio e lettura dei documenti. Mike White, Head di TradeLens, prevede per il futuro la sostituzione dell'upload dei file (effettuata tramite scansione del documento cartaceo) con la compilazione del documento direttamente sulla piattaforma Blockchain tramite dei form standardizzati. Questa soluzione comporterebbe un giovamento nella comprensione degli stessi da parte di ogni attore e limiterebbe le differenze esistenti nell'impostazione dei file provenienti da realtà diverse per settore e Paese.

Infine un esempio di impresa volta all'obiettivo di limitare le frodi e migliorare la gestione dei flussi di denaro tra i diversi attori operanti in una filiera è la piattaforma **Fluent** [102]. L'innovazione apportata da tale impresa è la tokenizzazione delle fatture: di ogni singola fattura è salvato all'interno del registro distribuito un corrispettivo digitale. Tale modalità di gestione, consentendo una maggiore tracciabilità dei pagamenti e visibilità delle operazioni lungo la filiera, funge da azione preventiva e di controllo su eventuali frodi. La tokenizzazione infatti limita fortemente il rischio di frode perpetuata da parte dei fornitori dei prodotti/servizi oggetto della fattura stessa. Tramite il factoring, la più classica modalità di finanziamento in una Supply Chain (approfondita nella sezione 4.9 Flusso finanziario), vi è la possibilità che il fornitore riesca a farsi finanziare da due soggetti diversi la stessa fattura, ottenendo quindi illegalmente del profitto. Tale possibilità risulta essere scongiurata grazie all'identificazione univoca di ogni fattura e alla visibilità e immutabilità dei dati salvati sulla Blockchain.

4.4 Burocrazia

La Figura 4.5 mostra il grado di superamento della friction Burocrazia da parte di ognuno dei dieci case study.

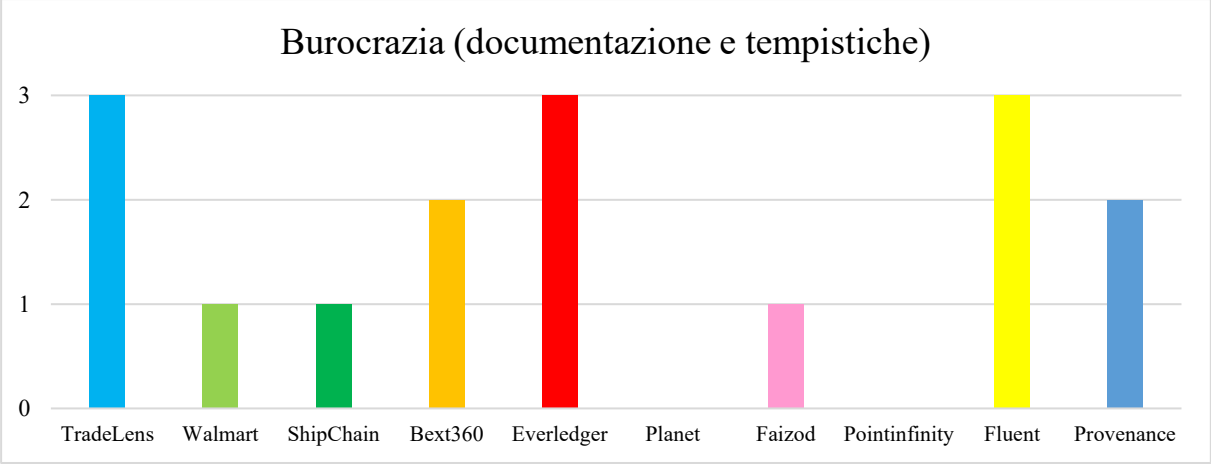

Figura 4.5 - Livello Burocrazia (documentazione e tempistiche) per case study.

A differenza della visione originaria della Blockchain-Bitcoin di Satoshi Nakamoto, all'interno della Supply Chain è difficilmente mettere in atto la totale eliminazione delle TTP. La natura delle interazioni presenti all'interno di una filiera infatti non è C2C, bensì B2B o al massimo B2C. Non sono pertanto presenti all'interno del network i consumatori finali, e nel caso in cui lo siano sono presenti in sola modalità lettura, senza possibilità di interazione. Non possono pertanto scegliere autonomamente i player con cui interfacciarsi e di cui fidarsi, e spesso non avrebbero in ogni caso le competenze per effettuare tale scelta. Sono pertanto necessarie delle autorità super-partes a garanzia della sicurezza e salute dei consumatori e del rispetto delle regolamentazioni internazionali, che forniscano quindi autorizzazioni e certificazioni. Ovviamente a tale necessità è legata la controindicazione dell'attesa della documentazione, che spesso è responsabile del rallentamento dei processi interni ed esterni.

Uno degli obiettivi principali della partnership tra IBM e Maersk perpetuati tramite la piattaforma **TradeLens** è lo snellimento e velocizzazione burocratica. Secondo un test effettuato da Maersk [100], a titolo esemplificativo, il trasporto di un container di fiori dal Kenya al porto di Rotterdam necessita lo scambio di duecento documenti e il coinvolgimento di almeno cinque entità, quali il produttore, l'operatore logistico, la dogana e le autorità detenenti il potere di approvare l'inport/export. In particolare l'export dev'essere autorizzato da tre differenti attori al fine di controllare la presenza della documentazione necessaria alla spedizione, quali il certificato d'origine, di qualità del prodotto e dei trattamenti chimico-fisici subiti dallo stesso, accompagnati dalla licenza di export, la ricevuta di pagamento delle tasse doganali e il bill of lading. Una volta eseguita l'approvazione, la stessa è registrata sulla Blockchain quindi immediatamente visibile da tutti gli attori coinvolti nella Supply Chain. Il tempo di trasmissione delle informazioni è pertanto notevolmente ridotto rispetto all'attuale modus operandi, il quale implica le tempistiche di trasferimento dell'avvenuta approvazione dall'autorità al produttore a cui si somma il tempo necessario alla comunicazione ad opera del produttore stesso agli operatori logistici.

È altresì fondamentale l'identificazione degli attori responsabili dell'inserimento dei dati sulla Blockchain e le condizioni di operatività degli stessi da parte di un'autorità super-partes. Al fine di garantire tale servizio la piattaforma **Provenance** rende possibile la validazione di tali caratteristiche nel momento stesso dell'inserimenti delle informazioni. Nell'istante in cui un pescatore trasmette tramite SMS (la modalità sarà spiegata nel dettaglio nella sezione 4.5 Tracciabilità) i dati relativi al pescato, le informazioni inserite sono approvate da ONG locali

di fiducia, le quali convalidano la conformità delle stesse rispetto a standard esterni dettati da regolamentazioni quali *Fair Trade* o *Marine Stewardship Council* (*MSC*) .

Per quanto riguarda il settore della produzione e compravendita di diamanti, è fondamentale l'utilizzo della piattaforma **Everledger**. Il diamante è un prodotto di alto valore unitario ed elevato valore di mercato, discretamente semplicemente sostituibile con un corrispettivo sintetico e molto delicato dal punto di vista di luoghi di provenienza, condizioni dei lavoratori, illiceità delle modalità e dagli scopi della vendita. Pertanto questo settore è caratterizzato da un'ingente quantità di documenti, di certificazioni e di obblighi da rispettare, talvolta presentanti richieste sovrapposte, diversi per ogni Paese di destinazione della merce. La piattaforma Everledger automaticamente analizza ed incrocia gli *n* documenti di input e restituisce come output un elenco degli obblighi da rispettare e dei certificati da presentare filtrabili per Paese di provenienza, destinazione e altre caratteristiche [99]. Inoltre permette di creare smart-contract riferiti a tali obblighi e certificati aventi come condizioni di input per l'esecuzione i dati necessari alla verifica dell'adempimento degli obblighi di legge: tale metodo permette agevolmente di verificare la percentuale di asset digitali salvati sulla Blockchain che rispettano le condizioni imposte mediante l'analisi di quanti smart-contract sono eseguiti: è così semplificato e velocizzato il processo per la verifica della compliance [99]. A titolo esemplificativo: se un obbligo di legge consiste nella presenza di indicazioni sulla caratura di un diamante e la stessa è imposta come condizione di input per l'esecuzione di uno smart-contract, sarà completata l'esecuzione solamente degli smart-contract aventi come input asset digitali riferiti a diamanti presentanti come attributo un dato conforme sulla caratura del diamante stesso. Infine come ulteriore supporto al processo di verifica dell'assenza di compliance, everledger restituisce delle analisi aggregate sugli asset digitali (e quindi fisici) risultati non conformi, suddividendoli per zona di provenienza, periodo e luogo di vendita.

4.5 Tracciabilità

La Figura 4.6 mostra il grado di superamento della friction Tracciabilità da parte di ognuno dei dieci case study.

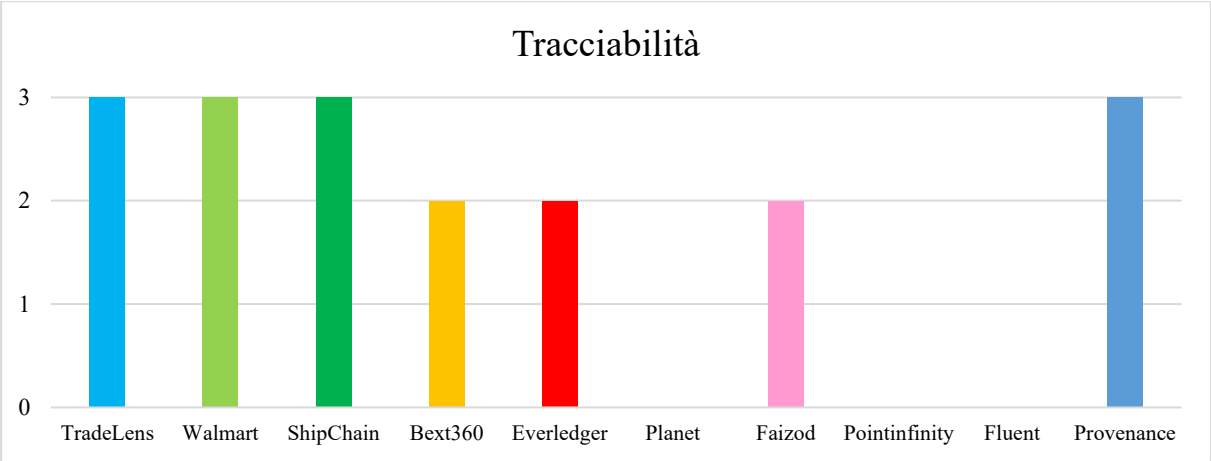

Figura 4.6 - Livello Tracciabilità per case study.

Il consumatore moderno è più attento rispetto al passato alla provenienza dei prodotti. Le motivazioni sottostanti tale mindset diffuso sono molteplici. In primis il luogo di provenienza identifica un particolare tipo di prodotto, di conseguenza funge da garanzia di qualità e di autenticità del prodotto stesso, come conseguenza si ha la certezza che la merce sia stata oggetto di controlli accurati e che abbia superato con successo le prerogative imposte dai differenti governi e che sia quindi registrata. Infine il luogo di provenienza, insieme alle modalità di produzione, mostra al consumatore i valori ed i principi cardine dell'impresa, tra cui il rispetto per l'ambiente e per i lavoratori e la sostenibilità. Un'impresa moderna non può quindi prescindere dall'implementazione della tracciabilità in ognuno dei suoi processi aziendali, al fine di garantire al cliente la visibilità dal produttore a scendere lungo tutti gli stadi della filiera. La tracciabilità si suddivide in due macro-categorie, denominate Track e Trace. La prima si riferisce alla capacità di conoscere posizione fisica e condizioni al contorno in tempo reale dell'item movimentato all'interno della filiera, mentre la seconda si riferisce alla possibilità di risalire a posteriori alla strada percorsa dalla merce per giungere al luogo di destinazione, ossia di risalire dallo stadio as-is allo stadio as-was. La tracciabilità è una delle (se non la) principali obiettivi perseguibili tramite l'adozione della BCT. Generalmente le imprese che si pongono tale obiettivo implementano contemporaneamente sistemi volti a garantire sia l'aspetto track che il trace. Non è tuttavia una strategia condivisa universalmente, pertanto nella Figura 4.7 sono riportate le valutazioni, effettuate tramite la medesima scala ordinale da zero a tre, del fitting tra il singolo case study ed il perseguimento dell'attributo track e trace. Da notare che nella Figura 4.6 è stato utilizzato come valore per l'attributo tracciabilità il minimo valore tra

track e trace, in quanto si è ritenuto che l'attributo tracciabilità fosse soddisfatto a pieno solo nel momento in cui entrambi i sotto-aspetti potessero ritenersi osservati.

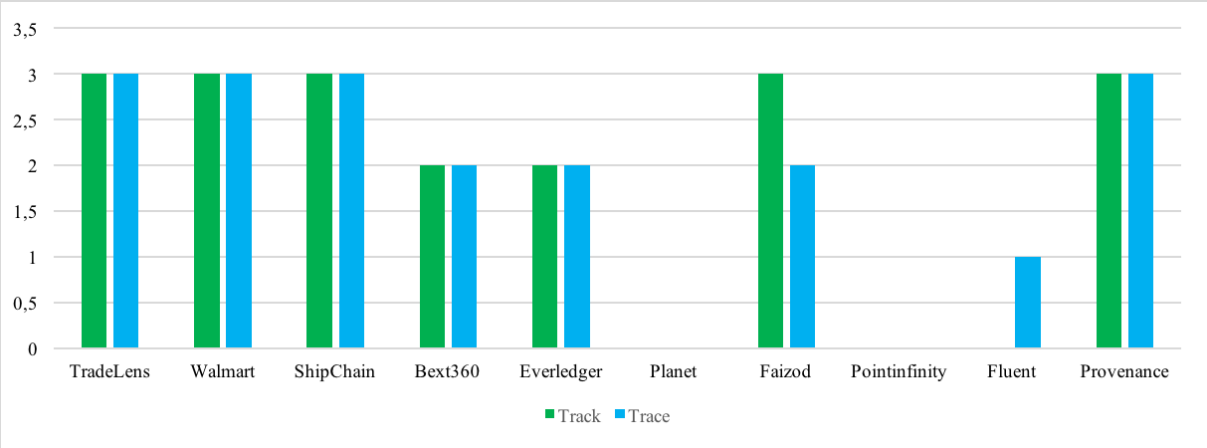

Figura 4.7 - Livello Track e Trace per case study.

L'importanza della tracciabilità è tanto più sentita quanto più i luoghi di provenienza e le modalità di produzione e di trasporto sono fondamentali per la salvaguardia della sicurezza e della salute pubblica, in particolare quindi nel settore pharma e food. Il vice presidente per la Food Safety presso **Walmart**, Frank Yiannas, ha fatto testare con mano la difficolta nel tracciare un prodotto al suo staff richiedendo di risalire al luogo di produzione esatto di una confezione di mango a fette: sono stati necessari sei giorni, diciotto ore e ventisei minuti. Grazie al progetto pilot voluto da Walmart, in collaborazione con IBM, tale tempistica si è ridotta a 2,2 secondi [97]. Tale diminuzione presenta come beneficio non solo lo sveltimento burocratico, ma ha un impatto positivo anche sulla sicurezza del consumatore e sull'immagine del brand. In una condizione di contaminazione del cibo in cui è necessaria una campagna di recall, infatti, l'individuazione istantanea del lotto originario contaminato può portare ad una solerte individuazione dei soggetti potenzialmente colpiti. Citando le parole di Frank Yiannas, "a food product is guilty until proven innocence", di conseguenza se non è identificato in breve tempo il lotto contaminato il brand è costretto alla rimozione dal mercato della totalità di tale tipologia di merce, con ingenti perdite economiche e di immagine. La capacità di risalire agilmente ad ogni passaggio percorso dal prodotto "from farm to fork" è pertanto fondamentale. Walmart tramite il pilot con IBM si pone l'obiettivo di connettere le informazioni fornite da ogni attore durante i diversi passaggi della filiera. La normalità ad oggi è la spesso limitata visibilità dell'intero processo a causa della reclusione delle informazioni all'interno di silos

funzionali tra cui è difficile l'istaurazione della comunicazione. Ciò comporta necessariamente per alcuni attori dei blind spot su alcuni nodi importanti della filiera. L'implementazione della Blockchain per Mike White (Head di **TradeLens**) significa un superamento di un trasferimento di informazioni esclusivamente bilaterale tra i vari player per giungere a una comunicazione one-to-many [96].

Con il medesimo obiettivo, la piattaforma Blockchain **Provenance** ha condotto un progetto pilot finalizzato alla tracciabilità del tonno dal luogo di pesca al consumatore. Come analisi del contesto ha comparato otto diverse compagnie indonesiane allo scopo di identificare la modalità attualmente utilizzate dalle stesse per il data entry ed il data storage. È emerso come la totalità delle stesse abbia una gestione del flusso di informazioni e materiali paper-based, con parziale gestione tramite fogli di calcolo excel finalizzati all'adeguamento degli standard governativi imposti, inviati per e-mail una volta completati. Inoltre per l'identificazione del luogo provenienza e del singolo pescatore, le imprese sono solite applicare direttamente sul pescato tag in plastica. Con l'implementazione della BCT ogni singolo passaggio risulta essere tracciato: di seguito è spiegato nel dettaglio il processo seguito dal tonno mediante la piattaforma Provenance, come rappresentazione della stragrande maggioranza delle implementazioni della BCT [94]. Grazie alla piattaforma Provenance il salvataggio dei dati sul ledger principia con l'invio di un semplice SMS da parte del pescatore, loggato sull'applicazione tramite codice personale identificativo univoco, recante informazioni sul pescato, a cui segue un secondo SMS indicante i dati del fornitore a cui è stato spedito il pesce. Con i due SMS si creano pertanto un asset digitale, corrispondente all'asset fisico, ed una transazione legata allo stesso salvati immutabilmente sul ledger. L'identificatore univoco per ogni asset non è pertanto, come per esempio funziona con i barcode, un codice alfanumerico, bensì un indirizzo che riporta alla Blockchain, garantendo così la completa interoperabilità dei sistemi, in quanto diviene irrilevante la piattaforma da cui si accede al ledger. I principali due problemi da risolvere per Provenance sono risultati essere il processamento delle materie prime ed il passaggio di proprietà. Il primo subentra nel momento in cui da un singolo item di input si ottengono più item di output: è stato quindi necessario gestire non il solo aggiornamento, bensì la duplicazione degli item mantenendo al contempo l'unicità dei differenti output ed i dati di origine. Il passaggio di proprietà è invece stato gestito mediante l'aggiornamento sulla Blockchain del proprietario dell'item nel momento della scansione dell'etichetta all'ingresso del prodotto nel successivo livello della filiera.

Finora si è parlato principalmente dell'aspetto *trace* della tracciabilità. Un esempio invece dell'aspetto *track* della stessa può trovarsi nella piattaforma **TradeLens**: essa permette una visione real-time dello stato di ogni spedizione. Tale obiettivo non è raggiunto solamente grazie alla posizione fornita tramite GPS, ma anche e soprattutto grazie alla possibilità offerta ad ogni attore di identificare lo stato di ogni container scegliendo tra un set di eventi standardizzati, quali caricamento sulla nave porta-container o partenza della stessa dal porto. In particolare tali eventi possono essere "planned", "extimated" o "actual" a seconda se essi si siano già effettivamente realizzati o meno. Tale soluzione permette di parlare un linguaggio comune ed il possesso da parte di ogni attore non solo della stessa quantità di informazioni, ma anche della stessa qualità. Inoltre grazie agli eventi "extimated" è possibile conoscere lo step successivo per ogni spedizione: tale aspetto è fondamentale in quanto rende possibile la preparazione per tempo in ordine di priorità delle risorse umane e non necessarie al corretto svolgimento del processo. La pianificazione non risulta approssimativa in quanto TradeLens può supportare per ogni spedizioni il salvataggio contemporaneo di fino a centoventi eventi per ogni container. La piattaforma IBM permette quindi la conoscenza in real-time dello stato di ogni spedizione, ma non solo. Sono infatti altresì registrati gli attori che in ogni istante sono in possesso della merce, in modo da detenere uno storico della Chain of Custody e poter risalire a posteriori al punto in cui è emersa una criticità [100].

4.6 Ethical sourcing e Fair trade

La Figura 4.8 mostra il grado di superamento della friction Ethical sourcing e Fair trade da parte di ognuno dei dieci case study.

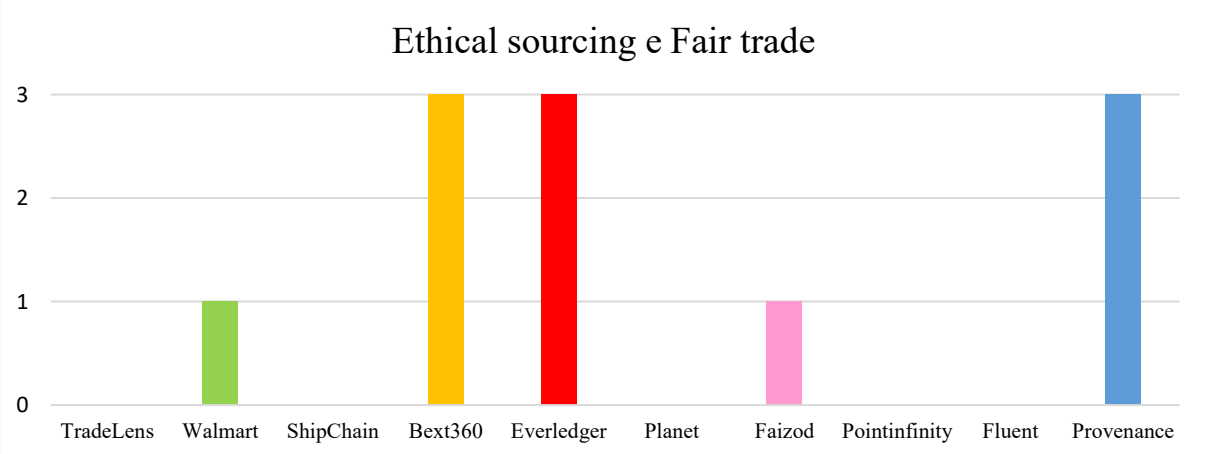

Figura 4.8 – Livello Ethical sourcing e Fair trade per case study.

Uno dei diciassette punti per lo sviluppo sostenibile redatti dall'ONU nell'agenda 2030 è il "garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo" [103]. Tale punto si riferisce alla necessità di utilizzare processi produttivi ad impatto ridotto sull'ambiente e non implicanti un sovra-sfruttamento delle risorse ed un consumo consapevole. La problematica insorgente riguardo tale obiettivo è duplice: da un lato le imprese hanno scarsa visibilità sull'intera Supply Chain, dall'altro i consumatori non hanno modo di reperire informazioni certe sulle modalità di produzione e trasporto della merce acquistata. L'impresa **Bext360** persegue l'obiettivo di veicolare un'informazione trasparente al consumatore finale. Essa opera nel settore del caffè. È noto che la produzione di tale bevanda abbia un significativo impatto ambientale, a partire dalla deforestazione necessaria per le piantagioni per giungere all'elevato consumo di acqua (si stima 140 litri per una tazzina di caffè da 125 ml) [104]. Con il salvataggio dei dati sulla Blockchain e l'apposizione di un QR-code sul singolo prodotto tramite cui gli stessi sono accessibili, Bext360 mira a stimolare il pensiero critico e il consumo consapevole tramite l'istaurazione di un link diretto tra il prodotto acquistato e i luoghi di provenienza, le modalità di coltivazioni e le comunità produttrici mostrati. In particolare, al fine della salvaguardia dei lavoratori, Bext360 valuta tramite una macchina sfruttante l'AI la qualità della partita di chicchi di caffè coltivati in tempo reale e propone al produttore un prezzo proporzionale alla stessa. Nel caso in cui il produttore accetti l'offerta, il pagamento è effettuato immediatamente mediante digital currency. Ogni qualvolta è valutata la qualità di una partita è creato un corrispettivo digitale della stessa in modo tale da legare indissolubilmente l'asset fisico al digitale. L'immissione dei dati sulla Blockchain ad opera di Bext360 è stata incentivata dalla campagna "WAKE cUP CALL" istituita da Fairfood volta ad una riorganizzazione della Supply Chain del caffè, in quanto, al tempo della campagna (maggio 2018), solo l'1% del prezzo pagato dal consumatore finale per una tazzina di caffè in un bar ritornava ai produttori, i quali spesso ottenevano un compenso minore del living wage [105]. L'inserimento di questa tipologia di dati è risultata essere un'innovazione in quanto tradizionalmente la tracciabilità del prodotto si limitava alla comunicazione del luogo di provenienza e delle tempistiche. Il singolo consumatore finale è infatti consapevole che in alcune parti del mondo esiste lo sfruttamento dei lavoratori, ma è spesso impossibile collegare le pratiche contrarie ai diritti umani alle particolari imprese, a meno di noti scandali. Al contempo, a causa di questa situazione di assenza di trasparenza, le imprese operanti responsabilmente risultano essere penalizzate a causa dei più alti costi che devono fronteggiare a causa del salario minimo fornito ai lavoratori e al numero maggiore di dipendenti necessari a garantire un numero massimo di ore/uomo consecutive. Questa

problematica è altresì diffusa nella vendita del tonno. Secondo fonti del The guardian "slaves forced to work for no pay for years at a time under threat of extreme violence are being used in Asia in the production of seafood sold by major US, British and European retailers" [106]: alla problematica dell'assenza di salvaguardia del salario necessario alla sopravvivenza dei lavoratori, si aggiunge anche il rischio di violenza e di condizioni di pseudo-schiavitù nei confronti degli stessi. Da un punto di vista ambientale, spesso non si hanno prove certe che le imprese operanti in tale settore seguano gli standard dettati dal *Marine Stewardship Council* (*MSC*) che impongono l'adeguamento alle variazioni del contesto ambientale ed il preservare una quantità minima di pesci e l'habit delle altre specie [107]. Queste sono le criticità a cui la piattaforma Blockchain **Provenance** cerca di dare una soluzione. Al fine di salvaguardare i lavoratori, la piattaforma registra sulla Blockchain un nuovo asset ogni qualvolta è inviato un SMS da parte del pescatore recanti i dati del pescato ed il fornitore a cui lo stesso è spedito. Tramite tale modalità, il fornitore è indissolubilmente legato al pescatore e di conseguenza è tenuto al rispetto delle leggi riguardanti la tutela dei lavoratori in termini di salario e di condizioni di lavoro.

Infine la piattaforma **Everledger** si pone l'obiettivo di combattere la diffusione dei cosiddetti blood diamond. Per blood diamond si intende generalmente una pietra estratta in luoghi di guerra e venduti clandestinamente per il finanziamento di attività illecite o di dubbia eticità, quali insurrezioni. A titolo esemplificativo si stima che negli anni '90 la percentuale della produzione totale venduta a tali scopi raggiungesse il 25%, il 40% considerando anche la vendita finalizzata a scopi bellici [108]. L'introduzione della BCT e di conseguenza l'istaurazione di un link diretto e univoco tra il diamante ed il luogo di provenienza ed i certificati di autenticità ad esso associati limitato il diffondersi del fenomeno.

4.7 Affidabilità dei dati

La Figura 4.9 mostra il grado di superamento della friction Affidabilità dei dati da parte di ognuno dei dieci case study.

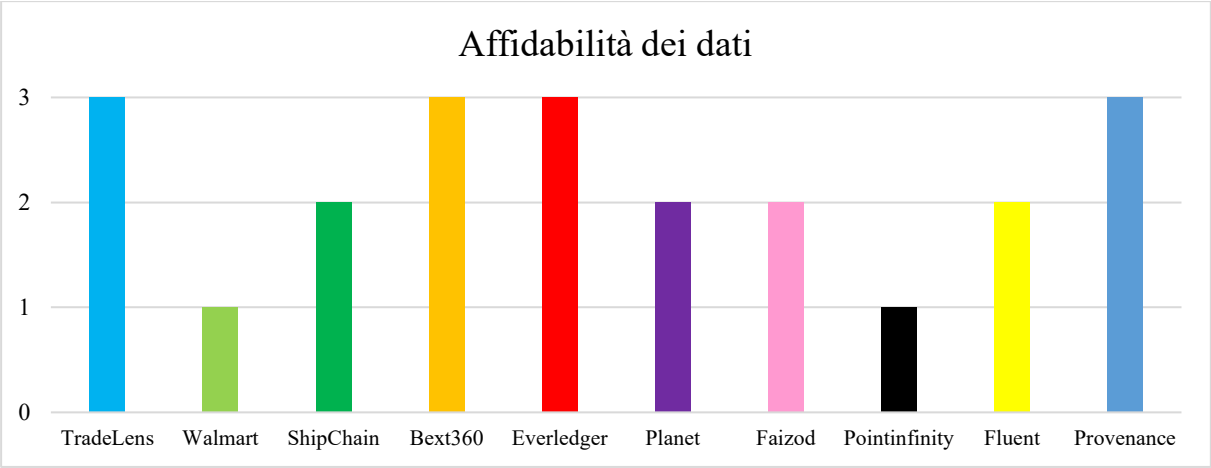

Figura 4.9 - Livello Affidabilità dei dati per case study.

La motivazione che ha spinto la fondatrice e attuale CEO di **Provenance**, Jessi Baker, ad attuare tale progetto è stata la necessità di fiducia nelle informazioni fornite dalle varie imprese sui prodotti [101]. Nella scelta di un prodotto on-line, il consumatore è solito poter selezionare fasce di prezzo, selezionare diversi brand e caratteristiche, ma non è possibile utilizzare filtri in base alla sostenibilità dell'impresa da un punto di vista ambientale o sociale, ossia se per esempio sono salvaguardati i salari minimi dei lavoratori, se sono effettuati test sugli animali o se sono utilizzate fonti di energia rinnovabili. Tali informazioni sono indicate sui siti aziendali e sulle descrizioni dei prodotti, il consumatore non può tuttavia verificare singolarmente la veridicità di tali dati ed è costretto a fidarsi ciecamente. Grazie alla Blockchain, alle informazioni è associata una fonte immutabile. Tuttavia uno dei principali difetti imputati alla Blokchain è l'affidabilità delle informazioni immesse nella stessa. È infatti tanto vero che i dati registrati risultano essere immutabili ed accessibili ad ogni attore, quanto l'assenza della prova di autenticità degli stessi. Nella stragrande maggioranza dei casi, infatti, i dati salvati sulla Blockchain sono inseriti da risorse umane che, in quanto tali, sono soggette ad errore o mala fede. Secondo Mike White, head di **TradeLens**: "right now the platform (TradeLens) is a repository". Un deposito di dati non dà alcuna certezza della veridicità degli stessi. Al fine di limitare l'errore umano la piattaforma dà la possibilità di eseguire l'upload dei differenti file in modo tale da ridurre gli errori di copiatura, tuttavia tale sistema non previene le frodi. La stessa criticità si riscontra per esempio in **Walmart**, il cui vice presidente per la Food Safety Frank Yiannas risponde alla domanda su come l'impresa si salvaguardi dall'inserimento di dati errati o falsi, risultanti poi essere "la verità" in quanto salvati sulla Blockchain, dicendo "we know human behaviour and human psychology: if it's anonymous I'm more likely to try to cheat. I think the BCT solution (…) it's a powerful

deterrent to unscupulous behaviour: I'm less likely to cheat because there is an audit trail that leads right back to my doorstep". La grande problematica della Blockchain ad oggi è l'affidamento dell'esattezza delle informazioni nelle mani dei soggetti responsabili del data entry: ci si affida al buon senso dei differenti attori che risultano essere disincentivati all'inserimento di dati falsati in quanto il rischio di essere scoperti ed esclusi dal network a causa della mancanza di credibilità è troppo alto. La differenza intercorrente quindi tra la condizione descritta da Jessi Baker e l'implementazione delle BCT è l'entità del disincentivo. Al fine di una totale affidabilità dei dati inseriti nella Blockchain è di fondamentale importanza l'ausilio della tecnologia. La modalità utilizzata dalla piattaforma **Provenance** al fine di un miglioramento dell'affidabilità delle informazioni inserite nella Blockchain è stata la creazione di un'applicazione in grado di operare tramite uno smartphone. Il soggetto risulta quindi essere loggato con il proprio codice identificativo personale, e ad ogni informazioni inserita sono associati orario, giorno e l'esatta posizione tramite il GPS. È da sottolineare che è stata necessaria la preventiva verifica della disponibilità da parte di ogni attore coinvolto di un dispositivo connesso ad una rete 3G o wi-fi (seppur la connessione in alcune zone sia risultata debole). Tale condizione non è tuttavia sempre raggiungibile, in particolare per le filiere che coinvolgono attori provenienti da zone isolate, difficilmente accessibili o ubicate in paesi arretrati.

È tuttavia aumentata nel tempo la percentuale di progetti e applicazioni Blockchain sfruttanti la sensoristica IoT, l'AI o altre tecnologie per il salvataggio di dati certi. La piattaforma **Everledger** si pone l'obiettivo di associare ad ogni singolo diamante fisico un corrispettivo asset digitale derivante dalla combinazione di quaranta metadati [99]. A tal fine è utilizzata la tecnologia machine vision, ossia la tecnologia ala base di metodi in grado di fornire ispezioni ed analisi di un prodotto automatizzate tramite la cattura di un'immagine del prodotto stesso. È salvata una fotografia ad alta risoluzione del diamante ad ogni passaggio significativo, quale spostamento o cambio di proprietà. Inoltre ad ogni asset digitale sono associate informazioni riguardanti taglio, purezza, colore, peso e numero seriale. È pertanto creato una vera e propria impronta digitale del diamante contenente i dettagli più significativi dello stesso in modo tale da garantirne il riconoscimento. Un esempio invece di applicazione dell'AI è l'impresa **Bext360**. I chicchi di caffè sono inseriti in un macchinario in grado di valutare la qualità degli stessi, con un tasso di processamento di diecimila unità al minuto. Tale macchinario sfrutta per il suo scopo l'AI: i chicchi di caffè sono movimentati e indotti ad affrontare un dislivello, durante la caduta sono fotografati ed analizzati dalla macchina che, tramite l'AI, valuta le

caratteristiche del singolo chicco, in particolare colore, consistenza e forma deducendone volume e altre caratteristiche. I produttori possono trovare il macchinario più vicino tramite un'App adoperante il GPS, e sono remunerati seguendo il principio "pay for the right quality in real-time". La controindicazione di tale struttura per Peter Verhoeven, et al. [83] è la limitata *awareness of local context*. Il paper redatto dagli stessi infatti identifica come difficoltoso l'intero processo per diversi motivi. In primis tale soluzione non può prescindere da una costante connessione internet, condizione difficilmente raggiungibile nelle zone adibite alle coltivazioni di caffè locate in Africa o in Sud-America. Inoltre i macchinari utilizzati non sono supervisionati né ubicati in luoghi protetti, pertanto è pensabile che siano altamente soggetti ad atti vandalici, furti o danneggiamenti dovuti a eventi atmosferici.

4.8 Post-sales

La Figura 4.10 mostra il grado di superamento della friction Post-sales da parte di ognuno dei dieci case study.

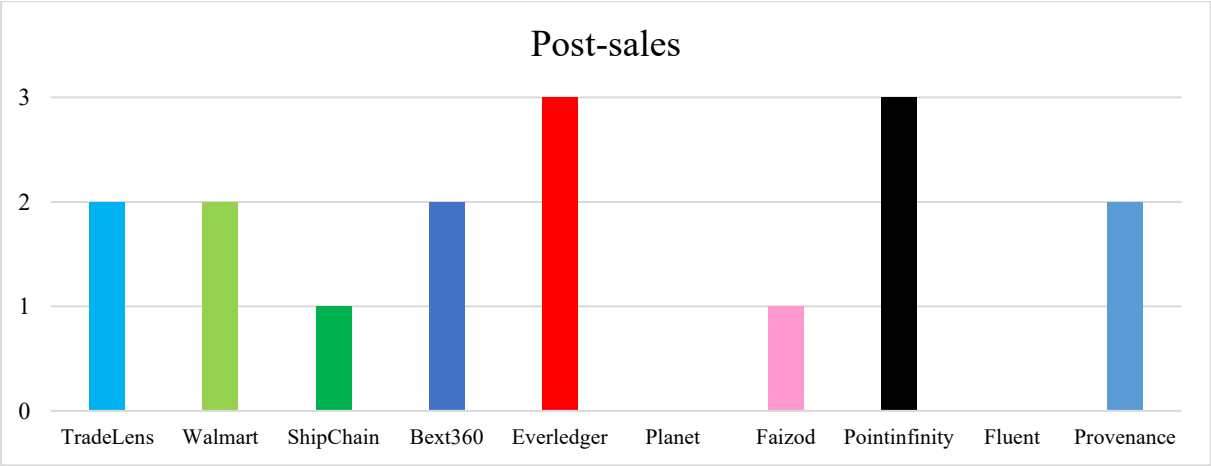

Figura 4.10 - Livello Post-sales per case study.

Le Supply Chain moderne sono customer-centric, ossia ruotano attorno ai bisogni del cliente finale nonostante gli stessi siano talvolta non allineati con l'efficienza e l'ottimizzazione della filiera da un punto di vista economico e di operations. Il concetto di esperienza cliente evidenzia come l'acquisto non si limiti al semplice ritiro di un prodotto a seguito di una elargizione di denaro, bensì un insieme di servizi accessori volti al compiacimento dell'end-customer. Esempi sono l'e-commerce, le differenti modalità di consegna, il reso gratuito, l'assistenza post-sales, i programmi di fidelizzazione.

La BCT non è stata pensata e progettata con il fine ultimo di fronteggiare alcuno tra i citati processi, le sue peculiarità possono tuttavia offrire un supporto ad ognuno di essi. In generale una maggiore consapevolezza e visibilità dei processi interni all'azienda comporta una migliore gestione ed efficienza degli stessi e, di conseguenza, un abbassamento dei costi, condizione che consente l'introduzione di novità e l'assorbimento del delta costo derivante. Per quanto riguarda l'assistenza post-sales, la BCT potrebbe velocizzare le tempistiche di reperimento di eventuali sostituzioni, anche se è bene sottolineare che tale obiettivo sarebbe raggiungibile anche tramite l'utilizzo di un database centralizzato efficiente, quindi non vi è un'esplicita necessità della Blockchain. Essa risulta invece essere fondamentale nelle campagne di recall o nelle richieste di garanzie riguardanti la provenienza dei prodotti, in quanto le stesse presuppongono una condizione di ottimale tracciabilità e rintracciabilità, punti di forza della BCT (analizzate nel dettaglio nella sezione 4.5 Tracciabilità).

Il bisogno dei consumatori a cui la Blockchain può andare incontro è la richiesta di visibilità. La piena consapevolezza dei luoghi di provenienza e delle modalità di produzione è alla base di un consumo consapevole, perseguito dalla stragrande maggioranza dei clienti odierni. Le modalità tramite cui l'end-customer può risalire a tutte le sovracitate informazioni sono molteplici, quali QR-code, NFC, App o siti aziendali, e sono scelti a seconda delle caratteristiche del prodotto, quali packaging, dimensione e valore. Si descrive di seguito l'esperienza cliente offerta dalla piattaforma **Everledger** legata all'acquisto di diamanti, come esempio di informazioni potenzialmente raggiungibili dal cliente grazie all'ausilio della Blockchain [99]. La piattaforma Everledger sfrutta un'app come interfaccia cliente, a cui si può accedere con username identificativo. Sull'app sono disponibili tutti i gioielli posseduti dal soggetto. Per ognuno è possibile selezionare i differenti componenti del prodotto e risalire all'intero percorso del pezzo dalla sua origine, descritto tramite contenuti multimediali. Il viaggio del prodotto visualizzabile dall'utente ha origine con mappa, istante e foto dei luoghi di estrazione, per proseguire con il dettaglio di ogni passaggio (dal taglio al disegno del gioiello) a cui sono associati video dei processi e foto dei soggetti che sono entrati in contatto con il diamante e loro qualifica professionale. Inoltre sono visualizzabili tutti i documenti relativi all'import/export e certificati di autenticità e provenienza. Per migliorare ulteriormente la customer experience, la piattaforma Everledger dà la possibilità di aggiungere ulteriori dettagli al prodotto acquistato per renderlo più "personale": il cliente può aggiungere foto e video dei momenti più importanti e significativi vissuti in presenza del prodotto, quali per esempio foto e video del matrimonio. Infine essendo anche la garanzia e il certificato di proprietà salvati sulla

Blockchain, Everledger dà la possibilità di trasferire la proprietà del prodotto direttamente dall'App.

Un differente metodo di comunicazione delle informazioni relativo ai prodotti è stato scelto dalla piattaforma **Provenance.** La stessa ha condotto un work-shop interno a dei retailer fisici per analizzare i comportamenti dei consumatori e trovare modi di veicolare l'informazione che fossero idonei ai bisogni degli stessi [94]. Il risultato è stato la scelta come mezzi di comunicazione di tablet in-store e di tag NFC applicati direttamente sul prodotto o sul menù di un ristorante. Tramite i primi è possibile visualizzare tutti gli attori coinvolti, mentre tramite i secondi è possibile accedere ad ulteriori informazioni quali la provenienza.

Dal punto di vista delle imprese, invece, è fondamentale mantenere un link con il consumatore successivamente all'esperienza di acquisto. Per non perdere i clienti già acquisiti e creare un'offerta più customizzata, è un requisito fondamentale per un'impresa moderna la creazione di membership e loyalty program. È l'obiettivo perseguito da **PointInfinity** [109], progetto che mira alla facilitazione dei pagamenti tramite moneta digitale grazie all'ausilio della BCT ed alla customizzazione dell'offerta al fine di una fidelizzazione della clientela. Tale piattaforma collabora prevalentemente con imprese a stretto contatto con il cliente finale quali ristoranti, bar e outlet. È tuttavia da sottolineare che una fidelizzazione perpetuata da tali attori comporta ingenti benefici a tutti i livelli upstream della filiera, dalle imprese produttrici dei prodotti e servizi offerti alle imprese di trasporto.

4.9 Flusso finanziario

La Figura 4.11 mostra il grado di superamento della friction Flusso finanziario da parte di ognuno dei dieci case study.

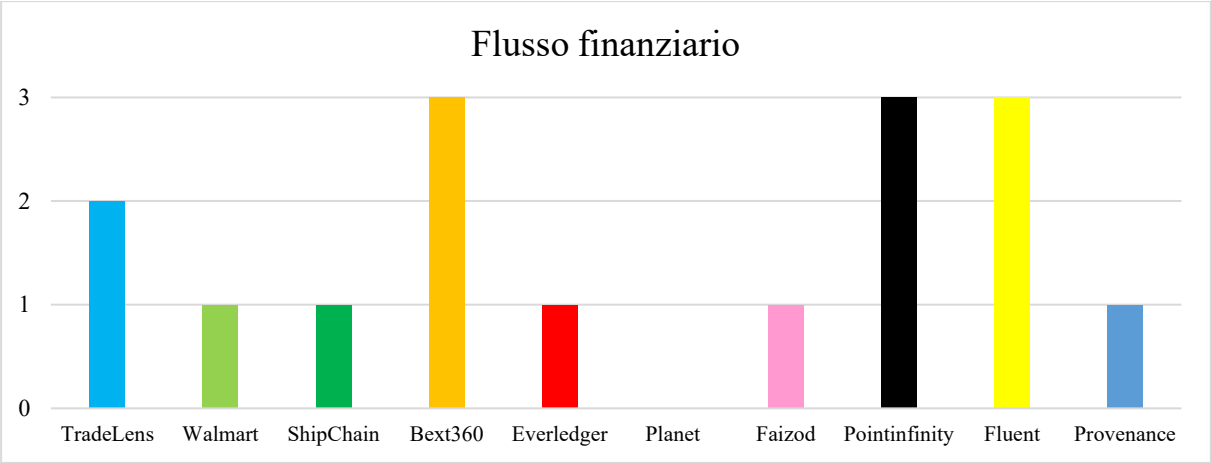

Figura 4.11 - Livello Flusso finanziario per case study.

I tre principali flussi presenti in una qualsiasi Supply Chain sono: fisico, riguardante la merce scambiata, informativo e finanziario. Un deficit del primo comporta una mancanza di operatività, del secondo di efficienza e del terzo di profittabilità. In particolare per le PMI, che a titolo esemplificativo in Italia rappresentano circa il 75% della totalità delle imprese [110], un mancato pagamento o un ritardo nello stesso potrebbe comportare un ingente danno economico e compromettere il pareggio di bilancio. Al fine di supportare il settore industriale, gli istituti finanziari offrono soluzioni volte alla facilitazione e al miglioramento degli scambi di denaro tra i differenti attori. L'obiettivo perseguito è una maggiore liquidità da parte dell'acquirente come del fornitore, al fine di un miglior utilizzo del capitale circolante. La strategia più comune di finanziamento dei diversi attori operanti in una Supply Chain è il factoring. Esso consiste in una cessione da parte del fornitore del credito posseduto nei confronti dell'acquirente ad un prezzo scontato ad una società specializzata, la quale si assumere l'onere della riscossione. Le criticità di questo approccio sono le commissioni dovute a tali società, proporzionali all'affidabilità creditizia dell'acquirente, e a determinati clausole esistenti per cui le società sotto particolari condizioni possono rifarsi al fornitore per l'estinzione del debito. È doveroso quindi citare l'impresa **Fluent**, piattaforma di finanziamento end-to-end basata sulla BCT progettata per il superamento di tali problematiche [102]. Un servizio offerto da Fluent è infatti il "receivables marketplace". All'interno dello stesso sono presenti tutte le fatture sospese a carico dei vari acquirenti tokenizzate, tra le quali ogni attore appartenente al network può selezionare su quale desidera investire, ossia quale fattura desidera finanziare al fine di trarre profitto dalla differenza tra l'acquisto della stessa e la remunerazione ottenuta dall'acquirente. Una volta selezionata fattura e percentuale dell'importo totale che si desidera acquistare, il

soggetto finanziatore convalida la transazione mediante chiave privata. A seguito di tale convalida, è erogato il pagamento da parte del soggetto finanziatore nei confronti del fornitore del prodotto/servizio oggetto della fattura, ed al contempo è creato un asset digitale di tale oggetto, il quale è salvato sul ledger e diviene di proprietà del finanziatore. Una volta sopraggiunta la scadenza per il pagamento della fattura, notificata all'acquirente mediante la piattaforma, lo stesso può effettuare il pagamento al finanziatore direttamente tramite Fluent: tale azione comporta altresì il passaggio di proprietà dell'asset digitale dal soggetto finanziatore all'acquirente. Un ulteriore incentivo al finanziamento è stato raggiunto grazie alla partnership tra Fluent e Euler Hermes [95], una tra le più grandi società assicurative di credito commerciale, tramite cui possono essere stipulate assicurazioni direttamente sulla piattaforma come tutela al rischio di insolvenza. La finalità ultima della piattaforma Fluent è quindi la semplificazione degli scambi di denaro tra i vari attori presenti nel network, ossia imprese, banche e finanziatori. A tale obiettivo si aggiungono l'automatizzazione dei processi e la semplificazione e lo snellimento dell'erogazione di denaro. Le attuali procedure di scambio di denaro risultano infatti essere molto onerose, da diversi punti di vista quali tempistiche burocratiche e operatività necessarie per la concretizzazione e sforzo profuso da parte delle risorse per il superamento eventuali controversie errori. L'innovazione introdotta dalla Blockchain finalizzata al superamento di tale friction sono gli smart-contract, ossia contratti tra diversi attori scritti in codice direttamente sul ledger che si perfezionano nel momento stesso in cui si perfezionano le condizioni di input. Sempre più imprese utilizzano esclusivamente tale tecnologie per concretizzare gli scambi di denaro. Un esempio è **Bext360**. In generale ogni transazione effettuata tramite Bext360 è eseguita mediante digital currency, dal pagamento al farmer, al proprietario dei macchinari, alle banche, al fine di garantire una completa tracciabilità e time stamping di ogni pagamento. Con l'obiettivo di migliorare ulteriormente la gestione del flusso di denaro, Bext360 ha implementato gli Smart contract per il pagamento dei farmer. Nello specifico, alla base di tale operazione vi è uno smart-contract che condiziona l'erogazione immediata del pagamento all'accettazione dell'offerta da parte del produttore di caffè. Tale offerta consiste in un prezzo valutato dalla macchina, descritta approfonditamente nella sezione 4.7 Affidabilità dei dati, sfruttante l'AI per la valutazione della qualità dei chicchi. Questa modalità di pagamento, oltre che rendere tracciabile un flusso di denaro che talvolta non risulta dichiarato quindi tassato e garantire un pagamento equo per i lavoratori, velocizza e snellisce significativamente i passaggi contabili [111].

In aggiunta agli ingenti benefici riscontrati dalle imprese grazie all'implementazione degli smart-contract, la BCT in generale produce un impatto positivo sul flusso finanziario interno ad una Supply Chain. È infatti evidente come vi sia una diretta correlazione tra la diminuzione delle tempistiche burocratiche e l'incremento dell'affidabilità dei dati con l'accuratezza e lo sveltimento dell'emissione delle fatture, per il cui allineamento, come già citato, si stima che in media siano impiegate cinque ore settimanali per risorsa.

4.10 Previsione della domanda

La Figura 4.12 mostra il grado di superamento della friction Previsione della domanda da parte di ognuno dei dieci case study.

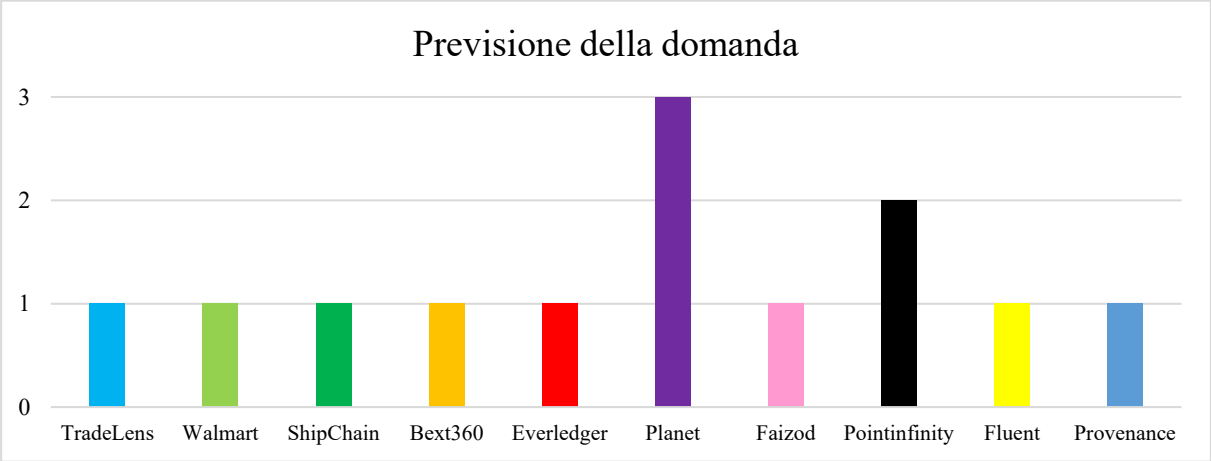

Figura 4.12 - Livello Previsione della domanda per case study.

Ultima friction analizzata è la scarsa prevedibilità della domanda. In seguito a fenomeni quali la globalizzazione e l'e-commerce, che rendono possibile la connessione in tempo reale da parte di ogni singolo soggetto con la stragrande maggioranza dei rivenditori nel mondo, si è acuita la difficoltà per il singolo attore di prevedere la domanda cliente in quanto in sé molto volatile e riindirizzabile più facilmente che un tempo verso un altro player. In tutti i case study analizzati, grazie all'implementazione della Blockchain, si è riscontrato un impatto positivo indirettamente ottenuto grazie ad un miglioramento della tracciabilità del prodotto. La conoscenza esatta del percorso effettuato da ogni singolo item, dal luogo di provenienza al luogo di destinazione, permette in generale alle imprese di raccogliere un'ingente mole di dati riguardanti abitudini e preferenze dei consumatori da cui, tramite analisi statistiche, prevedere la domanda futura. L'apporto positivo della BCT è l'intrinseca necessità di record digitale di tutte le informazioni. La detenzione di una copia del ledger permette automaticamente e senza sforzo aggiuntivo

l’estrazione di tutti i dati di cui si dispone della visibilità, redatti generalmente in formati standard, e l’analisi aggregata degli stessi finalizzata all’individuazione di trend di consumo. Vi sono delle imprese che meglio di altre hanno creato strumenti tali da riuscire a prevedere con maggiore accuratezza la domanda cliente, grazie all’ampiezza ed alla diversità del campione analizzato: un esempio è *NetEase.* Tale compagnia di Internet technology ha effettuato una release di un’app social network basata sulla BCT di nome **Planet** [112]. Lo scopo degli utenti, o “planet residents”, è il gestire al meglio il loro comportamento sulla piattaforma al fine di massimizzare il numero di “black diamond” ottenuti. I comportamenti degli utenti registrati dalla piattaforma sono abitudini di acquisto, viaggi passati, preferenze su luoghi e attività di svago, percorsi di navigazione sul web comuni, etc. I “black diamond” corrispondono alla ricompensa all’utente per il valore aggiunto riscontrato dalla piattaforma grazie all’inserimento del proprio comportamento sulla stessa. Il fine ultimo dell’App è utilizzare il concetto di *gamification* per raccogliere svariati dati, sia a livello di numero che di provenienza, sulle abitudini degli utenti, salvaguardando la privacy degli stessi tramite la crittografia E2E. NetEase dichiara infatti che tutti i dati degli utenti sono salvati sul ledger crittografati e ad essi può avere accesso solamente il proprietario tramite chiave privata. Al fine della previsione della domanda tuttavia ciò è indifferente in quanto sono sufficienti i dati aggregati. È da tenere però in considerazione la probabile non omogeneità del campione per quanto riguarda l’età degli utenti, data la natura di App della piattaforma.

5. Conclusioni

Alla luce di quanto emerso dal confronto tra i case study, si può affermare che la Supply Chain risulta essere un terreno fertile per l'implementazione della Blockchain. Si può infatti notare come le peculiarità di tale tecnologia e le funzionalità ottenibili a seguito dell'implementazione sposino perfettamente le necessità dell'odierno Supply Chain Management.
Analizzando i dieci case study sopradescritti secondo le cinque dimensioni da considerare per un'adozione *mindful* di una tecnologia [83], è emerso come non tutti riescano a soddisfare completamente i requisiti.
In primis è doveroso citare che le Supply Chain analizzate in tali case study sono prettamente filiere produttive, di conseguenza la dinamicità del campo applicativo, da un punto di vista dell'impatto di potenziali eventi disruptive, è ridotta. Pertanto la dimensione *anticipation of technology alteration* risulta essere soddisfatta dalla totalità dei case study, in quanto le alterazioni più probabili potrebbero essere un ingrandimento del mercato e l'introduzione di ulteriori tecnologie. In particolare, quest'ultimo aspetto risulta essere facilmente fronteggiabile in quanto la Blockchain si presta bene ad eventuali integrazioni con tecnologie di supporto.
Per quanto concerne l'*engagement with technology* si è riscontrato come non la totalità dei case study abbia sfruttato a pieno le potenzialità offerte dalla Blockchain, anche a causa dell'estrema settorialità di alcune implementazioni. È tuttavia da sottolineare che una conoscenza approfondita di una tecnologia consta anche della comprensione delle debolezze della stessa. Solo alcuni case study, quali Bext360, Provenance ed Everledger, hanno affrontato il tallone d'Achille della Blockchain, ossia l'affidabilità dei dati di input, utilizzando ulteriori tecnologie di supporto come garanti della correttezza dei dati di input. Ad oggi, per la stragrande maggioranza dei casi analizzati, il problema dell'attendibilità dei dati risulta essere risolto mediante il solo disincentivo all'inserimento dei dati errati dovuto alla conseguente perdita di credibilità ed esclusione dal network. Non è tuttavia certo che lo stesso da solo sia sufficiente ad ostacolare comportamenti opportunistici. L'input dei dati è pertanto uno degli aspetti fondamentali per cui i partecipanti al network devono raggiungere un accordo durante la fase preliminare del progetto, al fine di ottenere un'implementazione che permetta di veicolare valore aggiunto al cliente finale.
La dimensione riguardante la *cognizance of alternative technology* è una tra le più complicate. È infatti difficile analizzare a posteriore dai case study se i bisogni di input potessero essere

soddisfatti tramite una tecnologia alternativa. A titolo esemplificativo, talvolta non è comprensibile la scelta della Blockchain al posto di soluzioni quali un database centrale, come nel caso di Walmart. All'interno della Supply Chain, infatti, tale impresa ricopre il ruolo di attore predominante, pertanto lo scambio di informazioni tende ad essere unilaterale: dai fornitori a Walmart. L'immutabilità dei dati inseriti potrebbe essere comunque garantita mediante l'introduzione di meccanismi di autorizzazione in grado di rendere il database write-only. Infine, tale soluzione eliminerebbe altresì l'onere di salvataggio in locale dell'intera Blockchain da parte di tutti i fornitori [83]. Altre volte è invece facilmente comprensibile la scelta della BCT. Allo stato attuale, infatti, non vi sono tecnologie in grado di tener traccia di alcune informazioni, in particolare nelle Supply Chain aventi come nodi del first mile soggetti appartenenti a comunità rurali o ubicati in zone arretrate o di difficile accesso. In tali situazioni è difficile al contempo per tali soggetti accedere ad i dati e per gli altri nodi il monitoring di tali livelli. Tale condizione può essere superata tramite il record dei dati in un registro distribuito visibile da ogni utente e accessibile con la sola rete Internet.

L'analisi delle condizioni al contorno è il primo step da percorrere nel cammino di implementazione di una nuova tecnologia, pertanto un aspetto fondamentale è la *awareness of local context*. La fragilità dell'intera filiera logistica dipende dall'anello più debole della catena di cui fa parte. È fondamentale pertanto analizzare il contesto in cui opera ogni singolo livello della catena. Come accennato, la BCT si presta bene all'implementazione in Supply Chain aventi alcuni nodi in zone non all'avanguardia da un punto di vista economico, tecnologico e sociale. Tale aspetto che fa propendere la scelta della Blockchain tra le altre tecnologie potrebbe però nascondere una criticità: tali nodi probabilisticamente risultano avere una minore consapevolezza della tecnologia che si apprestano ad utilizzare. È fondamentale pertanto che in una fase preliminare di un progetto si affronti seriamente il problema del training mirato alla diffusione delle competenze necessarie all'utilizzo della BCT ed altresì ad i rischi che potrebbe comportare un utilizzo scorretto della stessa. A titolo esemplificativo, risulta doverosa la spiegazione dell'importanza della salvaguardia del codice identificativo proprio di ogni pescatore utilizzante Provenance. Inoltre, è fondamentale assicurarsi che la connessione internet sia accessibile in ogni luogo di lavoro e che i dispositivi utilizzati come supporto alla Blockchain siano mantenuti in condizioni di perfetta operatività. Un esempio è la necessità di formare i coltivatori di caffè che collaborano con Bext360 sull'importanza della collaborazione per la protezione dei macchinari da intemperie, furti o atti vandalici [83].

La dimensione soddisfatta da tutti i case study sopradescritti, ed in generale da ogni tentativo di implementazione della Blockchain, è la *technological novelty seeking*. Nonostante, come già accennato, vi sia un rischio non trascurabile di adozioni delle BCT per pure finalità di marketing, le implementazioni rispondono nella stragrande maggioranza dei casi ad un bisogno riscontrato nella realtà aziendale che le tecnologie esistenti non riescono a fronteggiare. La novità ricercata nella BCT è la visibilità dei dati da parte di tutti gli attori appartenenti al network, l'immutabilità degli stessi e la possibilità di risalire agevolmente agli stati precedenti fino all'origine dell'informazione. Data l'attuale struttura della domanda e dell'offerta e i mutati bisogni della clientela, si può ritenere superato il concetto di lavoro in silos isolati, bensì è fondamentale lo scambio trasparente di informazioni tra i nodi. A qualsiasi livello un'impresa sia, essa deve collaborare e conoscere dal supplier's supplier al customer's customer, o meglio instaurare rapporti con l'intero network. A tal proposito sono degne di menzione le parole del CEO di Fluent, Lamar Wilson: "A network allows the whole to be exponentially grater than the sum of its parts and eliminates the inefficiencies that exist in disconnected systems. There is no space where this is more important than global Supply Chain, who have dealt with siloed systems for too long". Per quanto invece concerne la ricerca di una tecnologia tale per cui sia agevole il risalire ad ogni passaggio percorso da ogni item, tale diffuso interesse è stato già provato a fine 2018 da un'analisi sui principali temi affrontati nelle pubblicazioni riguardanti la Blockchain: tale necessità consiste nel macro-tema della tracciabilità [58].

La Tabella 5.1 mostra il confronto tra i differenti livelli di fitting riscontrati dai diversi case study tra l'implementazione della BCT e le dieci friction principali della Supply Chain. È evidente come per la quasi totalità dei case study l'implementazione della tracciabilità risulti essere un obiettivo primario. I due case study in cui tale caratteristica ha valore 0 sono infatti un'app volta all'acquisizione di dati da parte degli utenti tramite gamification (Planet) e una piattaforma finalizzata a membership e loyalty program (PointInfinity): entrambi i case study non hanno pertanto la necessità di tracciare i prodotti offerti.

	TradeLens	Walmart	ShipChain	Bext360	Everledger	Planet	Faizod	Pointinfinity	Fluent	Provenance
Inventory control	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1
Condizioni di stockaggio e trasporto	3	3	3	0	2	0	1	0	0	3
Contraffazione	3	3	0	1	3	0	3	0	3	3
Burocrazia (documentazione e tempistiche)	3	1	1	2	3	0	1	0	3	2
Tracciabilità	3	3	3	2	2	0	2	0	0	3
Ethical sourcing e Fair trade	0	1	0	3	3	0	1	0	0	3
Affidabilità dei dati	3	1	2	3	3	2	2	1	2	3
Post-sales	2	2	1	2	3	0	1	3	0	2
Flusso finanziario	2	1	1	3	1	0	1	3	3	1
Previsione della domanda	1	1	1	1	1	3	1	2	1	1

Tabella 5.1 – Valori dei livelli di fitting dei dieci case study con le dieci friction.

L'attenzione alla provenienza del prodotto è divenuta negli anni un requisito fondamentale per le aziende, al fine di salvaguardare la sicurezza del cliente e di migliorare l'immagine del brand. Secondo stime di Statista il market size dell'insieme dei processi di track and trace risulta essere di circa 1.940 milioni di dollari a fine 2019, con previsioni di crescita fino ad un valore doppio entro il 2024 e fino a circa 6.050 milioni di dollari entro il 2027 [113].

È bene tuttavia sottolineare come con il termine generico di tracciabilità spesso si faccia riferimento non solamente ai sistemi track and trace, come all'interno del presente elaborato di tesi, bensì in generale al reperimento di informazioni in tempo reale sull'ubicazione, provenienza, documentazione ausiliaria ed ogni altra caratteristica relativa al prodotto in questione. Con questa interpretazione della parola tracciabilità, la stessa comprenderebbe la quasi totalità delle friction citate.

Si può in ogni caso affermare per certo che il trend riscontrabile in tali case study sia una crescente attenzione per ogni passo compiuto dall'item. Nel settore del food tale accompagnamento del prodotto è racchiuso nella frase "from farm to fork". Come la quasi totalità delle innovazioni introdotte nelle Supply Chain, l'implementazione di un sistema di tracciabilità dei prodotti deriva dalla volontà di incontrare i bisogni dell'end-customer. In particolare, essi si dividono in due macro-categorie: la volontà di conoscere il passato del

prodotto ed al contempo la pretesa di ottenere lo stesso nel più breve tempo possibile. Il consumatore in primis non si accontenta delle parole, ma pretende di vedere con i propri occhi le materie prime ed i processi che collaborano alla creazione del prodotto finito. Le imprese hanno dovuto di conseguenza adattarsi alle insorte esigenze, implementando tecnologie atte a dimostrare al cliente la sostenibilità e l'etica dell'impresa, dallo sfruttamento dei lavoratori alla deforestazione, la conformità dell'item alla vendita, in termini di rispetto degli usi e delle norme a garanzia dell'idoneità dello stesso, e l'autenticità del prodotto offerto, fornendo documentazioni come prova di quanto dichiarato. Grazie alla BCT l'intero sistema gioverebbe dell'immutabilità e della visibilità delle informazioni, in quanto le stesse risulterebbero essere indissolubilmente legate agli asset digitali relativi ed è impossibile effettuare un'alterazione delle stesse senza che la modifica pervenga a tutti gli attori partecipanti al network. È limitata pertanto la possibilità di double-spending dei certificati d'origine o il fenomeno del green washing. Tale condizione permette di rendere le scelte effettuate dai consumatori al fine di un consumo consapevole realmente etiche e sostenibili. Il grafico radar mostrato nella Figura 5.1 evidenzia infatti come risultino essere prioritari per maggioranza dei case study (esclusi sempre Planet e PointInfinity per le motivazioni già discusse), oltre alla tracciabilità, le condizioni di stockaggio e trasporto, la lotta alla contraffazione e l'ethical sourcing e fair trade. La Figura 5.1 evidenzia altresì come molte implementazioni si focalizzino sullo snellimento burocratico e sulla velocizzazione del flusso finanziario. Tali aspetti rispondono alla seconda macro-categoria di bisogni dell'end-customer: l'aumento della responsiveness da parte delle imprese. In uno scenario altamente dinamico come l'attuale, anche una modesta riduzione del tempo impiegato può comportare un ingente aumento del vantaggio competitivo dell'impresa rispetto ai competitor. Una velocizzazione burocratica data dal salvataggio on-chain dei documenti o un'automatizzazione di operazioni tramite smart-contract possono essere pertanto fattori determinanti per il successo.

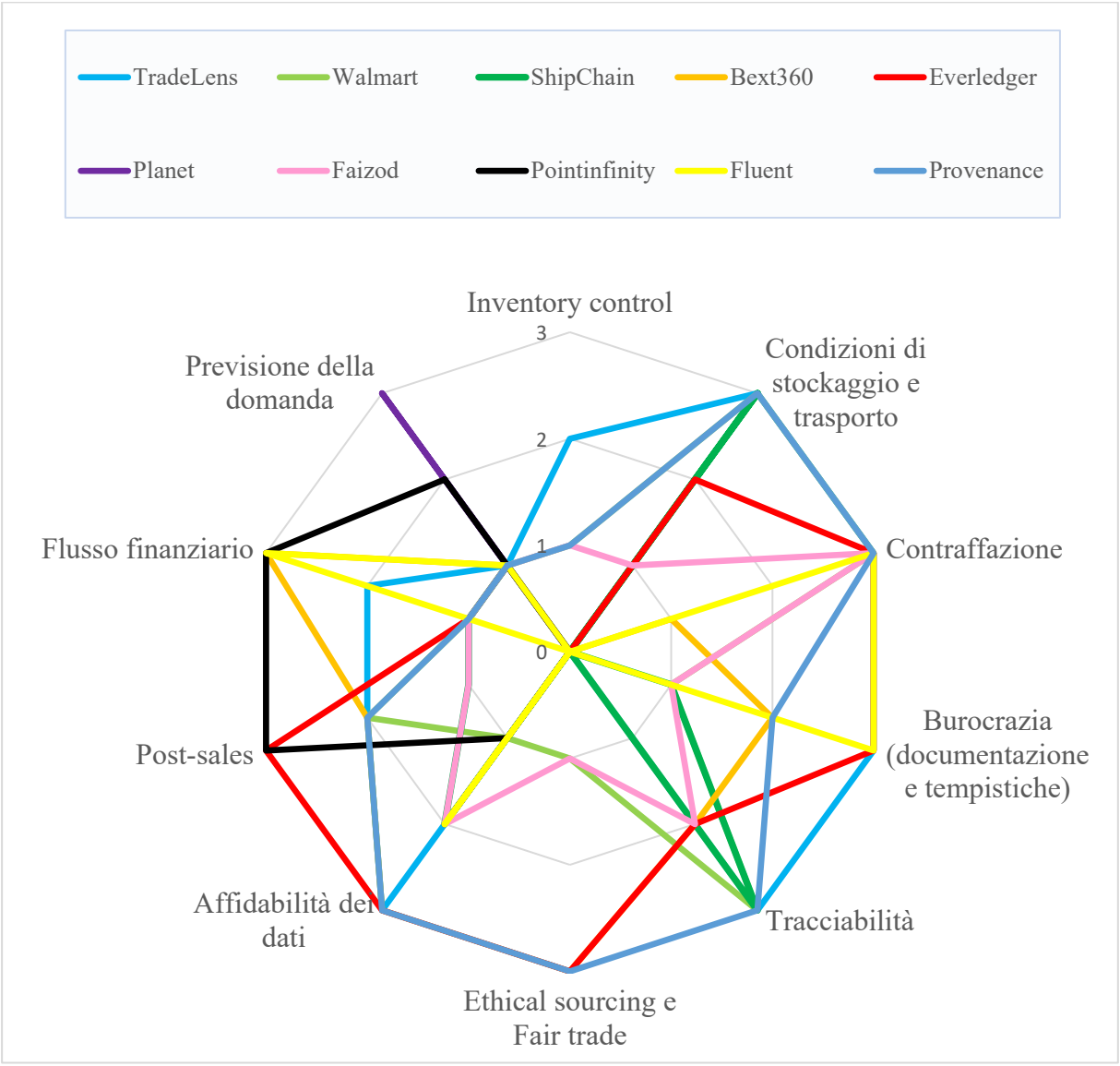

Figura 5.1 - Confronto dei livelli di fitting dei dieci case study con le dieci friction.

È tuttavia corretto sottolineare come con la BCT, nonostante le elevate aspettative, non si sia trovato il *silver bullet* in grado di fronteggiare tutte le criticità esistenti internamente ad una filiera logistica, ossia non è sufficiente lo shifting da un database tradizionale alla Blockchain al fine del superamento di tutte le problematiche di efficienza riscontrate quotidianamente. Vi sono infatti alcune problematiche, quali l'inventory control, i servizi post-sales e la previsione della domanda, che beneficiano solo indirettamente delle caratteristiche della BCT, a meno di applicazioni specifiche, in quanto la stessa risulta ricoprire un ruolo prettamente di supporto.

È però indubbio che le potenzialità della tecnologia siano notevoli ed è stato dimostrato come esse possano essere sfruttate in ogni settore; è compito dell'impresa calare tale tecnologia nello specifico contesto tramite un'attenta valutazione delle condizioni al contorno ed implementare correttamente la stessa. È bene sottolineare che la correttezza di un'implementazione si valuta non tanto dal punto di vista tecnico/informatico, quanto dal fitting con gli obiettivi della specifica Supply Chain e con le necessità dell'end-customer.

L'interesse per i benefici derivanti dall'introduzione della BCT all'interno delle filiere logistiche si è dimostrato essere elevato. A supporto di tale affermazione, è interessante notare come le pubblicazioni [114] riguardanti le possibili interconnessioni tra la BCT e la Supply Chain abbiano registrato un trend crescente nell'ultimo decennio, come mostrato Figura 5.2, seguendo l'andamento della totalità della letteratura interessante la Blockchain in generale (si è considerato come estremo inferiore dell'intervallo di tempo il 2008, data di pubblicazione del paper *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System* [6]).

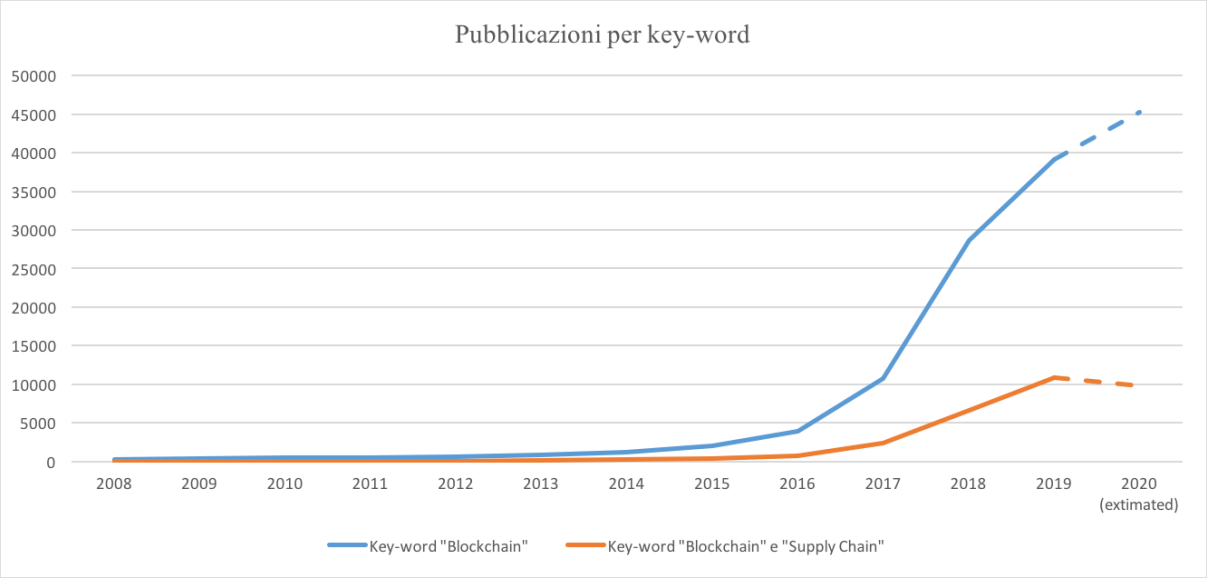

Figura 5.2 - Trend pubblicazioni per keyword.

È bene però ricordare che, secondo il Gartner Hype Cycle relativo alle differenti applicazioni della BCT, la "Blockchain in Suppy Chain" è ad oggi nella fase di massime aspettative. Saranno pertanto decisive le attuali implementazioni in corso di tale tecnologia nelle filiere produttive ed i feedback ottenuti dalle stesse per determinare il cambio di mindset e lo shifting della totalità delle imprese a tale tecnologia.

Bibliografia

[1] A. D. Signorelli, «Storia di internet e del world wide web,» 11 03 2019. [Online]. Available: https://www.wired.it/internet/web/2019/03/11/internet-world-wide-web-storia/?refresh_ce=. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[2] «L'invenzione del World Wide Web, 30 anni fa,» 12 03 2019. [Online]. Available: https://www.ilpost.it/2019/03/12/world-wide-web-invenzione/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[3] [Online]. Available: https://www.internetworldstats.com/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[4] «Global digital population as of January 2020,» 01 2020. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[5] «Italia più tecnologica ma il 25% delle famiglie è ancora senza Internet,» 18 01 2019. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/tecnologia/2019/01/18/news/italia_piu_tecnologica_ma_il_25_delle_famiglie_e_ancora_senza_internet-216897881/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[6] S. Nakamoto, «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,» 2008. [Online]. Available: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[7] «Le criptovalute: che cosa sono e quali rischi si corrono,» [Online]. Available: http://www.consob.it/web/investor-education/criptovalute. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[8] «(UE) 2018/843 – V Direttiva AML,» 19 06 2018. [Online]. Available: https://www.coinlex.it/2018/06/19/direttiva-ue-2018-843-v-direttiva-aml/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[9] «Cina verso la criptovaluta di Stato,» 03 11 2019. [Online]. Available: http://www.ansa.it/sito/notizie/topnews/2019/11/03/cina-verso-la-criptovaluta-di-stato_41fd874b-8ba7-47ec-946f-01fc7d1f5ce8.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[10] «Top 100 Cryptocurrencies by Market Capitalization,» [Online]. Available: https://coinmarketcap.com/all/views/all/. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[11] «Quotazione e grafico BTC/USD,» [Online]. Available: https://www.money.it/+Bitcoin-BTC-USD-quotazione+. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[12] «Nasce il bitcoin cash. "Così pagamenti più veloci",» 19 06 2019. [Online]. Available: https://www.lastampa.it/cultura/2017/08/01/news/nasce-il-bitcoin-cash-cosi-pagamenti-piu-veloci-1.34429439. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[13] «Journey of Marc Kenigsberg: From a Marketing Agent to the Founder of CoinJanitor & BlockSmarter,» 16 07 2019. [Online]. Available: https://coinnounce.com/journey-of-marc-kenigsberg-from-a-marketing-agent-to-the-founder-of-coinjanitor-blocksmarter/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[14] C. Frediani, «Nasce il bitcoin cash. "Così pagamenti più veloci",» 19 06 2019. [Online]. Available: https://www.lastampa.it/cultura/2017/08/01/news/nasce-il-

bitcoin-cash-cosi-pagamenti-piu-veloci-1.34429439. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[15] «Innovazione nella Blockchain: il lighting network,» [Online]. Available: https://www.focusmgmt.it/knowledge/innovazione-nella-blockchain-il-lightning-network/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[16] «Bitcoin Block Reward Halving Countdown,» [Online]. Available: https://www.bitcoinblockhalf.com/. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[17] E. Pagliari, «1 anno al prossimo halving di bitcoin (BTC),» 20 05 2019. [Online]. Available: https://cryptonomist.ch/2019/05/20/halving-bitcoin-btc/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[18] E. Pagliari, «Halving di Litecoin (LTC) avvenuto con successo: tutti i dettagli,» 05 08 2019. [Online]. Available: https://cryptonomist.ch/2019/08/05/halving-di-litecoin-ltc-avvenuto/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[19] N. Vyas, A. Beije e B. Krishnamachari, Blockchain and the Supply Chain, Kogan Page Limited, 2019.

[20] W. Suberg, «Bitcoin Mining Is Now More Competitive Than Ever, New Data Shows,» 28 06 2019. [Online]. Available: https://cointelegraph.com/news/bitcoin-mining-is-now-more-competitive-than-ever-new-data-shows?fbclid=IwAR2JG4wmXXdzV9_HWvuDVyD7JMevtlLtO4Mo6Jfd1qqRlgQl-TqukP3JxJw). [Consultato il giorno 29 02 2020].

[21] «Difficulty,» [Online]. Available: https://www.blockchain.com/en/charts/difficulty?timespan=all. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[22] «Hash rate,» [Online]. Available: https://www.blockchain.com/charts/hash-rate?timespan=30days. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[23] «Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index,» [Online]. Available: https://www.cbeci.org/. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[24] G. Kamiya, «Iea,» 05 07 2019. [Online]. Available: https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[25] A. Hern, «Bitcoin currency could have been destroyed by '51%' attack,» 16 06 2019. [Online]. Available: https://www.theguardian.com/technology/2014/jun/16/bitcoin-currency-destroyed-51-attack-ghash-io. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[26] A. E. Alunni, «Tipologie di classificazioni della Blockchain: modello di permesso,» 14 05 2019. [Online]. Available: https://medium.com/@angelaevaalunni/tipologie-di-classificazione-delle-blockchain-2-di-3-64b4c94e0feb. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[27] B. Carson, G. Romanelli, P. Walsh e A. Zhumaev, «Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value?,» 06 2018. [Online]. Available: https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/blockchain-beyond-the-hype-what-is-the-strategic-business-value. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[28] S. Viswanathan e A. Shah, «The Scalability Trilemma in Blockchain,» 20 10 2018. [Online]. Available: https://medium.com/@aakash_13214/the-scalability-trilemma-in-blockchain-75fb57f646df. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[29] «Blockchain size,» [Online]. Available: https://www.blockchain.com/charts/blocks-size. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[30] A. Tarquini, «L'Islanda rischia di rimanere al buio per colpa dei Bitcoin: la criptovaluta consumerà più di tutti i cittadini,» 13 02 2018. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/economia/2018/02/13/news/bitcoin_l_islanda_rischia_di_rimanere_al_buio_la_criptovaluta_consuma_di_piu_di_tutti_i_cittadini-188765482/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[31] B. Curran, «What is Proof of Elapsed Time Consensus? (PoET) Complete Beginner's Guide,» 11 09 2018. [Online]. Available: https://blockonomi.com/proof-of-elapsed-time-consensus/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[32] P. Larson e A. Halldorsson, «Logistics Versus Supply Chain Management: An International Survey,» 03 2004. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/247517167_Logistics_Versus_Supply_Chain_Management_An_International_Survey. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[33] S. Oz e H. E. Goren, «Application of Blockchain technology in the supply chain management process: case studies,» 2019.

[34] K. McCormack e A. Lockamy, «The Development of a Supply Chain Management Process Maturity Model Using the Concepts of Business Process Orientation,» 2004.

[35] «Food safety,» 04 06 2019. [Online]. Available: https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/food-safety. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[36] «Takata Recall Spotlight,» [Online]. Available: https://www.nhtsa.gov/equipment/takata-recall-spotlight. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[37] «Vicuña,» [Online]. Available: https://it.loropiana.com/it/il-nostro-mondo/vicuna. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[38] «The EU's organic food market: facts and rules (infographic),» [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20180404STO00909/the-eu-s-organic-food-market-facts-and-rules-infographic. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[39] «Davos: clima al top rischi, allarme dazi,» 15 01 2020. [Online]. Available: http://www.ansa.it/sito/notizie/topnews/2020/01/15/davos-clima-al-top-rischi-allarme-dazi_e0c7cf12-e425-4ac7-ae1f-450209e080ed.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[40] C. Bertoletti, «La sostenibilità cresce nella comunicazione dei brand: ecco come,» 25 10 2019. [Online]. Available: https://www.mark-up.it/la-sostenibilita-comunicazione-brand-marketing/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[41] «Sviluppo sostenibile – crescono gli investimenti green delle imprese,» 29 10 2019. [Online]. Available: https://www.fasi.biz/it/notizie/studi-e-opinioni/21216-sviluppo-sostenibile-crescono-gli-investimenti-green-delle-imprese.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[42] MHI e Deloitte, «2019 MHI Annual Industry Report,» 2019.

[43] «Online industries most targeted by phishing attacks as of 4th quarter 2019,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/266161/websites-most-affected-by-phishing/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[44] P. Brody, «How blockchain is revolutionizing supply chain management,» 2017.

[45] «City Logistics,» [Online]. Available: http://www.mit.gov.it/city-logistic. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[46] «FedEx Corporation's revenue from FY 2009 to FY 2019,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/267501/revenue-of-fedex/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[47] «E-commerce,» [Online]. Available: https://www.statista.com/outlook/243/100/ecommerce/worldwide?currency=eur. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[48] «L'e-commerce oggi in Italia vale 41,5 miliardi di euro, pensi ancora di poterne fare a meno?,» 29 04 2019. [Online]. Available: https://www.smcconsulting.it/le-commerce-oggi-in-italia-vale-415-miliardi-di-euro-pensi-ancora-di-poterne-fare-a-meno/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[49] N. Angelovska, «Top 5 Online Retailers: 'Electronics And Media' Is The Star Of E-commerce Worldwide,» 20 05 2019. [Online]. Available: https://www.forbes.com/sites/ninaangelovska/2019/05/20/top-5-online-retailers-electronics-and-media-is-the-star-of-e-commerce-worldwide/#95877b21cd9f. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[50] C. Lazzati, «Coltivare la fedeltà, ecco i brand vicenti,» 01 05 2019. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/economia/rapporti/osserva-italia/trend/2019/04/01/news/coltivare_la_fedekta_ecco_i_brand_vicenti-223017929/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[51] «La contraffazione,» [Online]. Available: http://www.gdf.gov.it/chi-siamo/organizzazione/compiti-istituzionali/lotta-alla-contraffazione/la-contraffazione. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[52] OECD, «Il commercio di beni contraffatti e l'economia Italiana,» 2018.

[53] D. Mehta, «Project Zero Expands to Europe,» 05 08 2019. [Online]. Available: https://blog.aboutamazon.eu/innovation/project-zero-expands-to-europe. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[54] «Il falso Made in Italy sale a 100 mld, +70% in 10 anni,» 24 02 2019. [Online]. Available: https://www.coldiretti.it/economia/falso-made-italy-sale-100-mld-70-10-anni. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[55] D. Marrazzo, «Il Parma sbarca in Cina e trova tutela,» 23 09 2015. [Online]. Available: https://st.ilsole24ore.com/art/food/2016-10-28/il-parma-sbarca-cina-e-trova-tutela-132228.shtml?uuid=ADKJ7ClB&refresh_ce=1. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[56] «Pasta: l'Antitrust multa Lidl con una sanzione di 1 milione di euro,» 17 01 2020. [Online]. Available: http://www.ansa.it/canale_terraegusto/notizie/in_breve/2020/01/17/pastaantitrust-accoglie-impegni-aziende-ma-multa-1-mln-lidl_5b05af19-cdd1-4048-a31a-e5e17b6acc1e.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[57] M. Iansiti e K. Lakhani, «The Truth About Blockchain,» 2017.

[58] Y. Tribis, A. El Bouchti e H. Bouayad, «Supply Chain Management based on Blockchain: A Systematic Mapping Study,» 2018.

[59] «Gartner Hype Cycle,» [Online]. Available: https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[60] «Gartner 2019 Hype Cycle for Blockchain Business Shows Blockchain Will Have a Transformational Impact across Industries in Five to 10 Years,» 12 09 2019. [Online]. Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-09-12-gartner-2019-hype-cycle-for-blockchain-business-shows. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[61] G. Perboli, S. Musso e M. Rosano, «Blockchain in Logistics and Supply Chain: a Lean Approach for Designing Real-World Use Cases,» 2018.

[62] A. Longo, «Startup, industria 4.0, blockchain: cosa c'è nel pacchetto "digitale" della Manovra,» 28 12 2018. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/economia/2018/12/28/news/manovra_digitale-215190078/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[63] «Regolamento (UE) 2016/114,» 28 01 2016. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/114/oj/?locale=it. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[64] L. Zorloni, «Cybersecurity, perché il governo ha oscurato le aziende che devono rispettare le nuove regole europee,» 15 11 2018. [Online]. Available: https://www.wired.it/internet/regole/2018/11/15/cybersecurity-direttiva-nis-lista-segreta-aziende/?refresh_ce=). [Consultato il giorno 29 02 2020].

[65] Clusit, «Rapporto Clusit 2019 sulla sicurezza ICT in Italia,» 2019.

[66] «Online industries most targeted by phishing attacks as of 4th quarter 2019,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/266161/websites-most-affected-by-phishing/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[67] G. Dragoni, «Attacchi hacker: panoramica sui reati informatici che minacciano le aziende,» 11 10 2019. [Online]. Available: https://blog.osservatori.net/it_it/attacchi-informatici-diffusione-tipologie-cause. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[68] M. Valeri, «Dati più sicuri e riservati con la blockchain, ecco come fare,» 04 12 2018. [Online]. Available: https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/dati-piu-sicuri-e-riservati-con-la-blockchain-ecco-come-fare/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[69] «RFID (Radio Frequency Identification) technology market revenue worldwide from 2014 to 2025,» 2018. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/781338/global-rfid-technology-market-revenue/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[70] «Number of smartphone users by country as of September 2019 (in millions),» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/748053/worldwide-top-countries-smartphone-users/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[71] «Tracciabilità Digitale Prodotti con Serializzazione QR Code,» [Online]. Available: https://www.dbi.srl/Tracciabilit%C3%A0_Prodotti_QR_Serializzazione.pdf. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[72] «ISO 28219:2017 — Packaging - Labelling and direct product marking with linear bar code and two-dimensional symbols,» 09 2017. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/65014.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[73] C. Leong, T. Viskin e R. Stewart, «Tracing the Supply Chain - How blockchain can enable traceability in the food industry,» 2018.

[74] «Certificate of Conformance vs. Certificate of Analysis,» [Online]. Available: https://www.injection-moldings.com/groups/engineering-team/certificate-conformance-vs-certificate-analysis. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[75] E. Trincia, «L'evasione fiscale delle grandi aziende è 16 volte maggiore di quella delle piccole,» 05 10 2019. [Online]. Available:

https://www.agi.it/economia/evasione_fiscale_scontrini_aziende-6301680/news/2019-10-05/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[76] «Revenue of Morgan Stanley from commissions and fees from 2009 to 2018,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/295183/morgan-stanley-commissions-fees-revenue/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[77] «Legge 11 febbraio 2019, n. 12,» [Online]. Available: https://unmig.mise.gov.it/index.php/it/informazioni/normativa-di-settore/fonti-primarie/2036030-legge-11-febbraio-2019-n-12. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[78] «Ethereum, The DAO e la mancanza di governance,» 2016. [Online]. Available: http://www.blockchain.srl/blog/2016/06/22/ethereum-the-dao-e-la-mancanza-di-governance/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[79] D. Aquaro, «Smart contract: cosa sono (e come funzionano) le clausole su blockchain,» 24 06 2019. [Online]. Available: https://www.ilsole24ore.com/art/smart-contract-cosa-sono-e-come-funzionano-clausole-blockchain-ACsDo2P. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[80] «Introduction to Smart Contracts,» [Online]. Available: https://solidity.readthedocs.io/en/v0.4.24/introduction-to-smart-contracts.html. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[81] G. Wood, «Ethereum: a secure decentralised transaction ledger byzantium version,» 20 10 2019. [Online]. Available: https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[82] M. Westerkamp, F. Victor e A. Kupper, «Blockchain-based Supply Chain Traceability: Token Recipes model Manufacturing Processes».

[83] P. Verhoeven, F. Sinn e T. Herden, «Examples from Blockchain Implementations in Logistics and Supply Chain Management: Exploring the Mindful Use of a New Technology,» 2018.

[84] A. Schmahl, S. Mohottala, K. Burchardi, C. Egloff, J. Govers, T. Chan e M. Giakoumelos, «Resolving the Blockchain Paradox in Trasposrtation and Logistics,» 2019.

[85] «Get ready for Industrie 4.0,» [Online]. Available: https://www.reply.com/en/topics/industrie-4-0/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[86] F. Bo, «Come parlare a un'azienda di blockchain: l'esempio Hyperledger IBM,» 30 05 2018. [Online]. Available: https://medium.com/fraglie-digitali/come-parlare-a-unazienda-di-blockchain-l-esempio-hyperledger-ibm-2-2-b6659382f664. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[87] «IBM Food Trust,» [Online]. Available: https://www.ibm.com/it-it/blockchain/solutions/food-trust. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[88] A. Reyna, C. Martìn, J. Chen, E. Soler e M. Dìaz, «On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities,» in *Future Generation Computer Systems*, Elsevier B.V., 2018.

[89] E. Pautasso, E. Ferro e M. Osella, «Blockchain in the Fashion Industry: Opportunities and Challenges,» 2019.

[90] «Procurement & Innovation (convegno 09 luglio 2018),» *The Procurement,* 10 2018.

[91] CSCMP, «Supply Chain Edge Italy,» 2019.

[92] «Trade made easy,» [Online]. Available: https://www.tradelens.com/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[93] «The end-to-end logistics platform of the future: trustless, transparent tracking,» [Online]. Available: https://shipchain.io/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[94] «From shore to plate: Tracking tuna on the blockchain,» [Online]. Available: https://www.provenance.org/tracking-tuna-on-the-blockchain. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[95] Money20/20.tv, «Fluent Unveils Enterprise Blockchain Trade Finance Network,» 17 11 2017. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=lu6YqyPc9GI. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[96] TradeLens, «Shipping in the Age of Blockchain,» 22 02 2019. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Xwqo_fwPEJo&feature=emb_rel_pause%29. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[97] IBMWatson-InternetOfThings, «Genius of Things: Blockchain and Food Safety with IBM and Walmart,» 16 02 2017. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=MMOF0G_2H0A&t=5s. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[98] «ShipChain and KeepTruckin Announce New Partnership to Increase Data Visibility,» 13 02 2020. [Online]. Available: https://blog.shipchain.io/shipchain-and-keeptruckin-announce-new-partnership/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[99] IBMBlockchain, «How blockchain is bringing transparency to the diamond industry: IBM InterConnect 2017,» 17 05 2017. [Online]. Available: https:/www.youtube.com/watch?v=-zYnYXpmtoc&list=TLPQMTAwMzIwMjD5tvGrKSf9jw&index=5 . [Consultato il giorno 29 02 2020].

[100] IBMBlockchain, «IBM and Maersk demo: Cross-border supply chain solution on blockchain,» 15 03 2017. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=tdhpYQCWnCw. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[101] Open Data Institute, «Opening supply chain data on the blockchain: Jessi Baker - ODI Summit 2015,» 16 12 2015. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=lWP8Y6NQIrk. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[102] «Fluent unveils blockchain-based global supply chain software platform,» 10 03 2016. [Online]. Available: https://bravenewcoin.com/insights/fluent-unveils-blockchain-based-global-supply-chain-software-platform. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[103] «Obiettivi per lo sviluppo sostenibile,» [Online]. Available: https://www.onuitalia.it/sdg/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[104] «Sustainability in Coffee: What Are The Main Issues?,» [Online]. Available: https://www.perfectdailygrind.com/2018/11/sustainability-in-coffee-what-are-the-main-issues/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[105] «#WAKECUPCALL,» [Online]. Available: https://fairfood.nl/en/campagnes/koffie/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[106] K. Hodal, C. Kelly e F. Lawrence, «Revealed: Asian slave labour producing prawns for supermarkets in US, UK,» 10 06 2014. [Online]. Available: https://www.theguardian.com/global-development/2014/jun/10/supermarket-prawns-thailand-produced-slave-labour. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[107] «The MSC Fisheries Standard,» [Online]. Available: https://www.msc.org/standards-and-certification/fisheries-standard. [Consultato il giorno 2020 02 2020].

[108] «Conflict Diamond Issues - Violence,» [Online]. Available: https://www.brilliantearth.com/conflict-diamond-trade/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[109] M. Yafi, «Hitachi and Tech Bureau building NEM-based blockchain platform in Japan,» 01 03 2017. [Online]. Available: https://medium.com/nem-distributed-ledger-technology-blockchain/hitachi-and-tech-bureau-building-nem-based-blockchain-platform-in-japan-1fb4714392af. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[110] «Tutto sulle PMI: novità, normative, consigli e casi studio di PMI in Italia,» [Online]. Available: https://www.digital4.biz/pmi/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[111] Bext360, «Bext360 Journey,» 01 04 2019. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=HYmIBRHLcjo. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[112] Y. Liu, «Blockchain-based social network Planet goes viral in China, registers 300K users in 24 hrs,» Medium, 14 02 2018. [Online]. Available: https://medium.com/@arielyiliu/blockchain-based-social-network-planet-goes-viral-in-china-registers-300k-users-in-24-hrs-116ad23d16f3. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[113] «Projected size of the global track and trace solutions market from 2018 to 2027,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/1014601/worldwide-track-and-trace-solutions-market-size/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[114] «Blockchain Supply Chain,» [Online]. Available: https://scholar.google.it/scholar?hl=it&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2020&as_yhi=2020&as_vis=1&q=blockchain+supply+chain&btnG=. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[115] Z. Ren, «What does “scalability” really mean in Blockchain?,» 15 05 2019. [Online]. Available: https://medium.com/vechain-foundation/what-does-scalability-really-mean-in-blockchain-b8b13b3181c6. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[116] «FedEx's revenue 2009-2019,» 2019. [Online]. Available: https://www.statista.com/statistics/267501/revenue-of-fedex/. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[117] «Gartner's 2016 Hype Cycle for Emerging Technologies,» 16 08 2016. [Online]. Available: https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2016-08-16-gartners-2016-hype-cycle-for-emerging-technologies-identifies-three-key-trends-that-organizations-must-track-to-gain-competitive-advantage. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[118] L. Columbus, «Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017 Adds 5G And Deep Learning For First Time,» 15 08 2017. [Online]. Available: https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2017/08/15/gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017-adds-5g-and-deep-learning-for-first-time/#3749b1485043. [Consultato il giorno 29 02 2020].

[119] «Blockchain,» [Online]. Available: https://scholar.google.it/scholar?q=blockchain&hl=it&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&as_ylo=2020&as_yhi=2020. [Consultato il giorno 16 03 2020].

[120] I. W. I. o. Things, «Genius of Things: Blockchain and Food Safety with IBM and Walmart,» 16 02 2017. [Online]. Available:

https://www.youtube.com/watch?v=MMOF0G_2H0A&t=5s. [Consultato il giorno 29 02 2020].

Indice delle figure

Figura 1.1 - Oscillazione prezzo Bitcoin al 16 marzo 2020 [11]. 4
Figura 1.2 - Processo di validazione di una transazione [15] . 7
Figura 1.3 - Andamento nel tempo della difficulty della rete Bitcoin [21]. 9
Figura 1.4 - Tipologie di Blockchain [27] . 14
Figura 2.1 - Adoption rate delle tecnologie in un orizzonte temporale di sei anni [42]. 27
Figura 2.2 - Potenzialità di creazione di vantaggio competitivo e natura disruptive delle tecnologie [42]. 28
Figura 3.1 - Framework confronto protocollo TCP/IP e Blockchain [57]. 36
Figura 3.2 - Hype cycle [59]. 38
Figura 3.3 - Hype cycle per la Blockchain nel 2019 [60]. 39
Figura 3.4 - Entità dell'impatto dell'introduzione della BCT per settore industriale [27]. 41
Figura 3.5 - Fattibilità dell'implementazione della BCT per settore industriale. 43
Figura 3.6 – Quesiti per la valutazione dell'ambiente esterno [19]. 61
Figura 3.7 - Tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 [85]. 66
Figura 3.8 - Tre tipologie di interazione tra IoT e BCT [88]. 70
Figura 4.1 - I cinque attori principali di una Supply Chain. 76
Figura 4.2 - Livello Inventory control per case study. 79
Figura 4.3 - Livello Condizioni di stockaggio e trasporto per case study. 81
Figura 4.4 - Livello Contraffazione per case study. 83
Figura 4.5 - Livello Burocrazia (documentazione e tempistiche) per case study. 85
Figura 4.6 - Livello Tracciabilità per case study. 88
Figura 4.7 - Livello Track e Trace per case study. 89
Figura 4.8 – Livello Ethical sourcing e Fair trade per case study. 91
Figura 4.9 - Livello Affidabilità dei dati per case study. 94
Figura 4.10 - Livello Post-sales per case study. 96
Figura 4.11 - Livello Flusso finanziario per case study. 99
Figura 4.12 - Livello Previsione della domanda per case study. 101
Figura 5.1 - Confronto dei livelli di fitting dei dieci case study con le dieci friction. 108
Figura 5.2 - Trend pubblicazioni per keyword. 109

Indice delle tabelle

Tabella 1.1 - Prime dieci criptovalute per capitalizzazione di mercato al 16 marzo 2020 [10]. 3
Tabella 3.1 - Ripercussioni sui tre stakeholders principali della Supply Chain per tipologia. 44
Tabella 4.4.1 - Impatto delle dieci friction sui cinque attori principali della Supply Chain. 76
Tabella 5.1 – Valori dei livelli di fitting dei dieci case study con le dieci friction. 106