

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

**Applicazione della tecnologia Blockchain
al Supply Chain Management.
Un'analisi empirica.**

Relatore

Ch. mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Armando La Rocca

Correlatore

Ch. ma Prof.ssa Patrizia Garengo

Anno Accademico 2020/2021

Sommario

Il mio elaborato è partito da un'analisi della letteratura, dalla nascita della blockchain fino ad indagarne la teoria ed il meccanismo di funzionamento, con una descrizione approfondita degli algoritmi di consenso e dei principali ambiti applicativi.

In seguito ho descritto in maniera approfondita tutte le attività che costituiscono il Supply Chain Management con lo scopo di analizzare l'implementazione della blockchain in ciascuna di esse.

Successivamente ho effettuato un'analisi incrociata delle ricerche sino ad oggi realizzate, nelle quali vengono presentate indagini sui benefici e le barriere che ostacolano l'adozione della blockchain alla Supply Chain. Di conseguenza ho strutturato la metodologia per la realizzazione della mia indagine di ricerca; si tratta di un'indagine quantitativa che ha come obiettivo principale quello di far emergere i principali benefici e le principali criticità della tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain, con l'obiettivo fondamentale di individuare possibili soluzioni e/o percorsi di miglioramento.

Ciò è stato realizzato grazie alla somministrazione di un questionario posto all'attenzione di esperti nel campo del Supply Chain Management facenti parte del CSCMP - Council of Supply Chain Management Professionals.

Con i risultati ottenuti ho potuto quindi evidenziare non solo i principali ambiti applicativi della blockchain e le barriere che ostacolano l'implementazione di questa tecnologia, bensì, ho potuto estrapolare soluzioni per il superamento di tali barriere, in particolare individuando in quali attività del Supply Chain Management la blockchain potrebbe oggi apportare dei significativi miglioramenti.

Indice

Introduzione	1
CAPITOLO 1 - Teoria e logica di funzionamento della Blockchain.....	5
1.1 Nascita della Blockchain.....	5
1.2 Cos'è la Blockchain	7
1.3 Il Problema del Double Spending ed Asset Digitali Unici.....	8
1.4 Distributed Ledger Technology e Blockchain.....	9
1.5 Caratteristiche delle Distributed Ledger Technology.....	13
1.6 I componenti della Blockchain.....	17
1.7 La crittografia nella blockchain e la funzione di Hash.....	19
1.8 La transazione in una Blockchain	23
1.9 La validazione di un blocco: il Miner e la Proof of Work	24
1.10 La Marca Temporale o Timestamp	26
1.11 Le principali caratteristiche della blockchain.....	27
CAPITOLO 2 - Algoritmi di consenso	30
2.1 Protocollo ed Algoritmo di Consenso.....	30
2.2 Gli aggiornamenti dei Protocolli in una Blockchain: i Fork.....	31
2.3 Principali Algoritmi di Consenso	32
2.3.1 Proof of Work - PoW	32
2.3.2 Proof of Stake – PoS.....	34
2.3.3 Delegated Proof of Stake – DPoS	36
2.3.4 Proof of Authority – PoA	37
2.3.5 Proof of Elapsed Time – PoET	39
2.3.6 Practical Byzantine Fault Tolerance – PBFT	40
2.3.7 Round Robin – RR.....	42
2.3.8 Altri algoritmi di consenso	43
2.4 Confronto algoritmi di consenso	44
CAPITOLO 3 - Applicazioni della blockchain	47
3.1 I principali ambiti applicativi della blockchain	47
3.1.1 Blockchain per Finanza e Banche	47
3.1.2 Blockchain nelle Assicurazioni	50

3.1.3 Blockchain per pagamenti digitali e retail	52
3.1.4 Blockchain nella sanità	54
3.1.5 Blockchain nel Agrifood	55
3.1.6 Blockchain nella Governance e pubblica amministrazione	58
3.1.7 Blockchain per la gestione dell'Energia	60
3.1.8 Blockchain nell'Internet of Things	62
3.1.9 Blockchain nella Supply Chain.....	65
3.1.10 Altri ambiti applicativi	65
3.2 Investimenti nella Blockchain nel mondo ed in Italia.....	66
CAPITOLO 4 - Supply Chain Management	69
4.1 Supply Chain Management	69
4.1.1 Approvvigionamento e Gestione Fornitori	74
4.1.2 Manutenzione e parti di ricambio	76
4.1.3 Pianificazione.....	77
4.1.4 Produzione	80
4.1.5 Logistica e Trasporti	82
4.1.6 Evasione degli Ordini	90
4.1.7 Gestione dei Clienti	91
4.1.8 Sviluppo dei Nuovi prodotti.....	93
CAPITOLO 5 - Blockchain nel Supply Chain Management	97
5.1 Smart Contract.....	97
5.2 Blockchain nel Supply Chain Management.....	100
5.2.1 Blockchain nell'approvvigionamento e gestione dei fornitori.....	105
5.2.2 Blockchain nella manutenzione e parti di ricambio	109
5.2.3 Blockchain nella pianificazione	110
5.2.4 Blockchain nella produzione	113
5.2.5 Blockchain nella logistica e trasporti	116
5.2.6 Blockchain nell'evasione degli ordini	118
5.2.7 Blockchain nella gestione dei clienti.....	120
5.2.8 Blockchain nello sviluppo di nuovi prodotti.....	122
CAPITOLO 6 - Stato dell'arte blockchain nel Supply Chain Management.....	125
6.1 Limiti interni ed esterni	125
6.2 Ricerca sulle barriere	135

6.3 Analisi sugli effetti della blockchain.....	140
6.4 Analisi ambiti applicativi.....	150
6.5 Blockchain nel futuro (2035)	153
CAPITOLO 7 – Pianificazione della ricerca.....	159
7.1 La ricerca quantitativa	159
7.2 Obiettivi della ricerca	160
7.3 Strutturazione e presentazione del questionario	162
7.4 Pianificazione e reclutamento del campione	171
CAPITOLO 8 - Analisi empirica.....	173
8.1 Profilo dei rispondenti	173
8.2 Analisi degli ambiti applicativi	177
8.3 Complessità adozione blockchain nel SCM rispetto ad altre tipologie di applicazioni	179
8.4 Analisi delle barriere.....	182
8.5 Analisi delle soluzioni emerse	187
8.6 Analisi dei benefici	189
8.7 Analisi applicazione della blockchain nelle attività del SCM.....	193
8.8 Analisi incrociata dei risultati emersi.....	196
CONCLUSIONI	203
BIBLIOGRAFIA.....	207
SITI INTERNET CONSULTATI.....	211
RINGRAZIAMENTI.....	223

A noi

Introduzione

La mia tesi di laurea è partita da un'analisi fondamentale sulla letteratura ad oggi esistente sulla tecnologia blockchain, con lo scopo principale di indagare l'evoluzione di tale tecnologia e quello di approfondire le ricerche sino ad oggi realizzate.

Ho potuto comprendere che per rendere il processo di Supply Chain efficiente ed efficace, è necessario un potenziamento da parte dell'organizzazione sul lato della comunicazione, che deve garantire uno scambio continuo di informazioni tra i vari nodi che compongono la Supply Chain, dai fornitori ai clienti, dai terzisti agli intermediari. La comunicazione in questo senso deve avere delle caratteristiche fondamentali, deve essere: veloce, trasparente, sicura.

Evidente è la complessità di collegamento tra tutti questi nodi, in quanto un solo piccolo errore a monte si propaga sino a valle, compromettendo la performance generale dell'intero sistema.

Proprio a partire da questo concetto nasce e si sviluppa la tecnologia blockchain a supporto del processo di Supply Chain Management, con lo scopo di rendere più solido lo scambio di informazioni in termini di: sicurezza, trasparenza, efficienza.

È necessario eliminare incertezze ed opacità di alcuni processi, tramite l'implementazione di un registro decentralizzato e sicuro, aumentando in questo modo la trasparenza del network e mettendo in luce tutti quelli che sono i punti più critici che conducono inevitabilmente a perdite o che appunto favoriscono l'insorgere di numerose problematiche.

Nei primi due capitoli di tale elaborato ho strutturato un percorso a partire dalla nascita di questa tecnologia, approfondendo le sue caratteristiche fondamentali e gli algoritmi di consenso che consentono il corretto funzionamento della blockchain.

Nel terzo capitolo ho descritto i principali ambiti applicativi della blockchain effettuando un'analisi completa di ogni sua singola applicazione, andando ad esplicitare le potenzialità ed opportunità che la tecnologia può apportare in ciascuna di esse.

Nel quarto capitolo ho illustrato una panoramica generale sulle varie attività che compongono il Supply Chain Management, a partire dai modelli accademici proposti in letteratura, con un particolare approfondimento sul modello realizzato da mySAP.

Nel quinto capitolo ho ritenuto opportuno e necessario ai fini di una comprensione complessiva dell'intero percorso, effettuare un approfondimento sugli Smart Contract,

una forma di automatizzazione nata separatamente rispetto alla tecnologia blockchain ma che ha trovato grande supporto in essa e grazie alla quale è oggi possibile l'attivazione semiautomatica di determinate azioni al verificarsi di predeterminate condizioni. Il quinto capitolo prosegue con una discussione sulle potenzialità sperimentate e studiate della blockchain all'interno delle principali attività che hanno luogo nel Supply Chain Management di una realtà industriale.

È nel sesto capitolo che ho effettuato un'analisi complessiva delle ricerche sino ad oggi realizzate e presentate su questa tecnologia innovativa, con lo scopo di confrontare i risultati (teorici) emersi dalla letteratura, come benefici e barriere.

Nel settimo capitolo mi discosto da un approccio prettamente teorico per presentare in questo modo la metodologia da me scelta ed utilizzata per lo svolgimento della mia indagine di ricerca.

La metodologia è quantitativa ed ho prediletto lo strumento del questionario, che ho somministrato ad esperti del settore ottenendo in questo modo un solido campione di riferimento.

Come affermato poco fa, il campione di riferimento si compone di esperti nel campo del Supply Chain Management, nonché membri del Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP); si tratta di un'associazione professionale mondiale dedicata al progresso ed alla diffusione della ricerca e della conoscenza sulla gestione della Supply Chain; CSCMP Italia mira a sviluppare pratiche, competenze e networking tra i professionisti della Supply Chain di lingua italiana.

Con l'ottavo ed ultimo capitolo del mio elaborato entro nel vivo della mia indagine di ricerca, partendo dalla strutturazione del profilo dei rispondenti, in modo tale da poterne estrapolare e comprendere peculiarità e caratteristiche fondamentali, così da poter entrare in possesso di un quadro chiaro sul mio campione di riferimento.

Successivamente mi sono soffermato sull'analisi di quelli che sono emersi come i principali ambiti applicativi, andando ad evidenziare quali di essi trarrebbero maggior beneficio grazie all'adozione della blockchain.

In seguito, ho confrontato la complessità dell'applicazione della blockchain in una Supply Chain rispetto a tecnologie già esistenti e consolidate nelle industrie, questo con lo scopo di conoscere la percezione degli esperti rispetto a questa tecnologia emergente. A questo è seguita un'analisi altrettanto approfondita sui benefici della tecnologia per confermarne le potenzialità e per poter comprendere se effettivamente la blockchain

possa rappresentare un'applicazione innovativa e funzionale nell'ambito della Supply Chain.

Ho poi perseguito l'indagine, analizzando le singole attività del Supply Chain Management con lo scopo di comprendere quali fossero le attività a beneficiare maggiormente dell'applicazione della blockchain secondo il parere dei rispondenti.

Infine, ho estrapolato quelle che sino ad oggi sono emerse come le principali barriere che ostacolano l'implementazione della tecnologia, presentandole ai partecipanti, con lo scopo di comprendere quali, secondo il loro parere, fossero le più influenti.

L'obiettivo fondamentale a questo proposito era quello di far emergere soluzioni innovative e/o percorsi di miglioramento per il loro superamento.

Grazie ai risultati emersi dall'indagine, ho potuto effettuare considerazioni determinanti ai fini del raggiungimento dei principali obiettivi da me definiti, considerazioni che non solo mi hanno consentito di entrare in possesso di uno sguardo più ampio sulla tematica, ma che mi hanno spinto a proporre dei percorsi e delle soluzioni innovative, per poter fornire strumenti ed una visione completa sulla tecnologia alle organizzazioni, incrementando la loro fiducia e consentendo una maggior diffusione delle sue caratteristiche, 9+i suoi benefici e le sue potenzialità.

Sicuramente la ricerca necessita di sviluppi futuri, ad esempio con la presa in considerazione di casi di studio reali in grado di fornire dati e soluzioni sempre più specifiche e dettagliate per ogni singolo settore in cui la blockchain applicata alla Supply Chain vuole essere implementata.

In ultimo spero che la mia indagine di ricerca possa contribuire a destare sempre maggior curiosità sull'argomento e possa spronare esperti, ricercatori e professionisti ad indagare sempre più in profondità, in modo tale da poterne garantire una conoscenza più approfondita e consentirne un repentino sviluppo.

CAPITOLO 1 - Teoria e logica di funzionamento della Blockchain

Nel primo capitolo ho ritenuto fondamentale trattare, all'interno del primo capitolo del mio elaborato, la storia e la teoria alla base della blockchain con il relativo funzionamento, le componenti e le caratteristiche principali che la contraddistinguono. In particolare descrivendo le strutture che caratterizzano tale tecnologia con relativi esempi che hanno reso famosa la blockchain.

1.1 Nascita della Blockchain

Una blockchain è *“Un database distribuito che mantiene un elenco di record di dati in continua crescita protetto da manomissioni e revisioni. Consiste in blocchi, che contengono lotti di singole transazioni. Ogni blocco contiene un timestamp e un collegamento a un blocco precedente”* (Henry M. K., Marek L., 2016)¹.

Nel novembre 2008, un misterioso White Paper è apparso su Internet, scritto con lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto dal titolo *“Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”* (Nakamoto S., 2009)², il documento descriveva un nuovo metodo per la creazione di un sistema di valuta digitale completamente distribuito concatenando insieme in maniera crittografica blocchi di dati.

Per molti anni, la tecnologia alla base di questo sistema è passata in gran parte inosservata al pubblico. Oggi, tuttavia, più di dieci anni dopo, quell'innovazione è annunciata come il prossimo cambio di paradigma nelle reti digitali, che apre le porte a un cyberspazio inesplorato di fiducia disintermediata e piattaforme di consenso distribuito.

Innovazione realizzata per la prima volta come parte dell'infrastruttura per supportare la rete di criptovaluta Bitcoin. La criptovaluta Bitcoin consente pagamenti da effettuarsi tra due parti senza avvalersi di un intermediario bancario; ciò riduce le frodi e il furto

¹ Henry M. K., Marek L., 2016, Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance, *Workshop on Information Technology and Systems (WITS)*, Dublin, Ireland.

² Nakamoto S., 2008, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, Bitcoin.org (https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_it.pdf).

di identità (Kursh & Gold, 2016)³ oltre ad aumentare l'efficienza e ridurre i costi di transazione (Zheng, et al., 2017)⁴.

La sua potenziale applicazione va ben oltre le valute digitali ed attività finanziarie. La tecnologia è ancora nelle sue fasi iniziali e deve ancora raggiungere l'adozione mainstream e aziendale.

Poiché la tecnologia ha ottenuto un riconoscimento più ampio negli ultimi anni, c'è stata una raffica di progressi, nuovi casi d'uso e applicazioni. La gamma di potenziali applicazioni della tecnologia Blockchain al di là di denaro e valuta è infinita.

Tuttavia erroneamente spesso si utilizza Bitcoin come sinonimo di blockchain. Con Bitcoin si intende propriamente una delle forme più note di blockchain, di fatti molti autori distinguono tra Blockchain (con la lettera iniziale maiuscola) e blockchain (con iniziale minuscola) dove nel primo caso si intende la Blockchain Bitcoin, mentre nel secondo la blockchain in generale ma il sistema Bitcoin non è altro che una delle innumerevoli applicazioni della tecnologia blockchain.

Questo nuovo libro mastro digitale delle transazioni economiche può essere programmato per registrare praticamente ogni dato utile per l'umanità: nascita e certificati di morte, licenze di matrimonio, atti e titoli di proprietà, titoli di studio, conti finanziari, procedure mediche, reclami assicurativi, voti, provenienza del cibo e qualsiasi altra cosa che può essere espressa in codice. (Henry M. K., Marek L., 2016)⁵

Dall'invenzione della blockchain e dall'introduzione di Bitcoin, questo sistema decentralizzato e la tecnologia affidabile Peer-To-Peer (P2P) è diventata una delle principali forze di trasformazioni nel business e si prevede che sarà una metodologia ampiamente adottata dai vari settori dell'industria e dei servizi (Iansiti 2017)⁶.

Recenti sondaggi di esperti del settore e di responsabili della catena di fornitura e della logistica mostrano un'inclinazione ad adottare la tecnologia blockchain, soprattutto nel contesto delle catene di approvvigionamento o Supply Chain e trasporti e logistica (Mehrdokht P., Yangyan S., Stefan S., Lenny K. S.C., 2019)⁷; tuttavia, siamo ancora in

³ Kursh S. R., Gold, N. A., 2016, Adding FinTech and Blockchain to your curriculum, *Business Education Innovation Journal*.

⁴ Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., & Wang, H., 2017, Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*.

⁵ Henry M. K., Marek L., 2016, *ibidem*, pag. 9

⁶ Iansiti, M., 2017, The Truth About Blockchain, *Harvard Business Review*.

⁷ Mehrdokht P., Yangyan S., Stefan S., Lenny K. S.C., 2019, Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: a systematic review of the literature, *International Journal of Production Research*.

fasi iniziali per sbloccare il vero potenziale della tecnologia blockchain nelle Supply Chain globali, nella logistica e nei trasporti.

1.2 Cos'è la Blockchain

“La blockchain è una sottofamiglia di tecnologie in cui il registro è strutturato come una catena di blocchi contenenti le transazioni e la cui validazione è affidata a un meccanismo di consenso, distribuito su tutti i nodi della rete nel caso delle blockchain permissionless o pubbliche o su tutti i nodi i nodi che sono autorizzati a partecipare al processo di validazione delle transazioni da includere nel registro nel caso delle blockchain permissioned o private.

Le principali caratteristiche delle tecnologie blockchain sono l'immutabilità del registro, la trasparenza, tracciabilità delle transazioni e la sicurezza basata su tecniche crittografiche.” (Bellini M., 2020)⁸

La blockchain si basa su una rete che consente di gestire in modo distribuito un database dal punto di vista delle funzionalità, mentre dal punto di vista operativo è un'alternativa agli archivi centralizzati e con la collaborazione dei partecipanti alla rete permette di gestire e condividere l'aggiornamento dei dati, i quali risultano di conseguenza accessibili, distribuiti presso tutti i partecipanti.

Quindi senza che sia necessaria una autorità centrale permette una gestione dei dati in termini di verifica e di autorizzazione.

Risultano in letteratura diverse definizioni di blockchain, in quanto viene letta e presentata da diversi punti di vista, per alcuni, la blockchain è la nuova generazione di internet in grado di poter rappresentare una sorta di Internet delle Transazioni; di conseguenza si tende a parlare di Internet of People, o Internet delle persone che si è a sua volta estesa alla Internet of Things o Internet delle cose per arrivare a creare e rappresentare la Internet of Value o Internet del Valore, ovvero quei sistemi che rendono possibile scambiarsi valore su internet con la stessa semplicità con cui oggi vengono scambiate le informazioni, senza intermediari ed in modo programmabile.

⁸ Bellini M., 2020, Blockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-cosi-importante>, (consultato il 24/10/2020)

1.3 Il Problema del Double Spending ed Asset Digitali Unici

In diversi articoli si parla di blockchain come la possibilità di creare asset digitali unici. Per comprendere il senso e l'importanza della blockchain è necessario partire dal problema del Double spending.

Per spiegare tale problema è possibile considerare un semplice esempio come il possesso di un documento word, quel file di testo è a tutti gli effetti un dato presente sul nostro computer ed univoco. Nel momento in cui questo documento viene inviato tramite e-mail ad un altro computer, quello stesso testo oltre che sul nostro computer sarà presente su un server di posta e quindi su un altro dispositivo. Dunque, risulta la presenza di una serie di duplicazioni dello stesso documento; successivamente quel testo potrà a sua volta essere condiviso e inviato ad altri soggetti che ne avranno a loro volta una copia.

Con questo semplice esempio è facile considerare che non ci sono limiti a questa duplicazione e come ben sappiamo quello stesso documento può essere modificato e cambiato. Il documento word è un asset digitale e risulta evidente che non è più considerabile come unico, in quanto grazie alla rapidità con cui oggi è possibile scambiare informazioni, tale documento è partito dal nostro computer ed in pochissimo tempo si è moltiplicato in centinaia di copie.

Se consideriamo lo stesso esempio come asset crittografato in un ledger blockchain potrebbe diventare un asset unico.

Dal momento in cui viene inoltrato lo stesso documento viene perso il possesso, quel documento esce dal nostro controllo per entrare nel dominio di un altro soggetto. A sua volta se anche lui avrà la necessità di dividerlo ne perderà il possesso in favore di un altro soggetto; il documento resterà unico e non sarà possibile duplicarlo.

Una delle caratteristiche della blockchain è nella sua capacità di creare asset digitali unici trovando una soluzione al problema del Double Spending.

Un esempio più importante in termini di digital currency è lo scambio monetario tra due soggetti, che utilizzano un qualsiasi sistema bancario come terziario, dal primo soggetto viene effettuato il bonifico verso il secondo soggetto, è necessario attendere un tempo di elaborazione per far sì che la transazione vada a buon fine, in quel periodo la banca, ovvero il terziario, verifica che la somma di denaro transata tra i due utenti

sia compatibile con le disponibilità dei loro conti correnti e di conseguenza viene approvata la transazione.

La banca, ovvero la terza parte, si occupa di verificare che non avvenga il problema del Double Spending.

A partire da questo problema è emersa la proposta di Nakamoto⁹, quella di utilizzare la tecnologia blockchain, che risulta in grado di trasferire asset tra utenti senza la necessità di coinvolgere una terza parte, trasferendo il possesso da un utente all'altro con il conseguente passaggio di autorità, in modo tale che non possa che l'asset non possa essere in alcun modo duplicato, questa caratteristica della blockchain viene descritta come la capacità di creare asset digitali unici.

In larga scala se si considerano asset che rappresentano un valore, risulta evidente che rappresenta un assoluto valore la garanzia dell'unicità.

Lo stesso valore è applicabile in molti settori che stanno applicando la Digital Transformation, rappresentando in digitale prodotti e servizi al fine di gestirli in modo più efficiente per scambi e transazioni solo ed esclusivamente se si garantisce la capacità di evitare duplicazioni, ovvero solo se si garantisce l'unicità dell'asset.

1.4 Distributed Ledger Technology e Blockchain

I Ledger o “Libro Mastro” rappresentano la gestione di relazioni e transazioni tra persone ed organizzazioni nel mondo odierno, fanno riferimento ad archivi o registri i quali possono essere consultati permettendo di stabilire una memoria storica, per controllare, verificare e gestire le transazioni e gli scambi che sono stati effettuati. I Ledger tradizionali sono interpretati da una logica centralizzata dove qualcuno, centralmente, si occupa del data entry dei dati e successivamente vengono gestite le estrazioni dei dati e la loro elaborazione.

Con l'avvento dell'informatizzazione e della digitalizzazione, il processo è stato velocizzato semplificando controlli e verifiche, gestendo il dato in maniera decentralizzata come unità centrali collocate come “satelliti”; dunque risulta un sistema centralizzato dove la fiducia è distribuita ad alcuni soggetti.

⁹ Nakamoto, S. 2008, Ibidem, pag. 9

La comparsa della blockchain ha aperto la porta a quelli che diventano Distributed Ledger Technology, grazie alla crittografia e lo sviluppo di algoritmi di controllo e verifica dei dati.

Le Distributed Ledger Technology (DLT) sono sistemi basati su un registro distribuito, ossia sistemi in cui tutti i nodi di una rete possiedono la medesima copia di un database che può essere letto e modificato in modo indipendente dai singoli nodi. (Vella G., 2019)¹⁰

I Database Distribuiti o Registri distribuiti, ovvero i Ledgers o Libri Mastro possono essere aggiornati, gestiti, controllati e coordinati in modo distribuito, da parte di tutti gli attori, si passa da un sistema centralizzato o decentralizzato ad una logica completamente distribuita, dove non esiste più nessun centro e dove il concetto di fiducia è costruita tra tutti i partecipanti e quindi dove nessuno ha la possibilità di prevalere, il consenso è costruito da un processo decisionale.

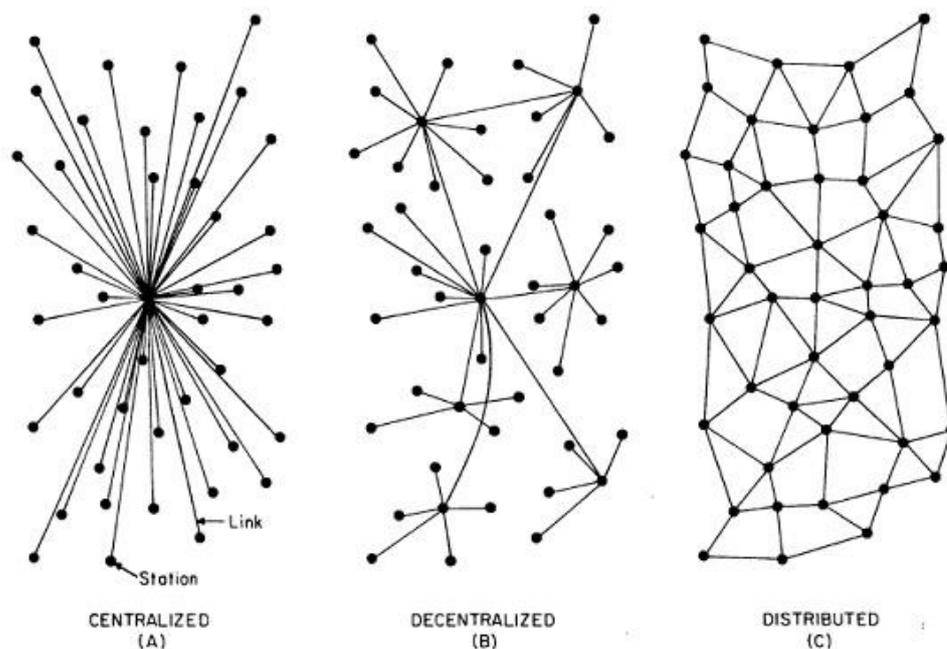


Fig 1.2: Distributed Ledger: Modello centralizzato vs Modello decentralizzato vs Modello distribuito. (Gotal S., 2015)¹¹

¹⁰ Vella G., 2019, Distributed Ledger Technology: definizione e caratteristiche, https://blog.osservatori.net/it_it/distributed-ledger-technology-significato, (consultato il 26/10/2020)

¹¹ Gotal S., 2015, Centralized vs Decentralized vs Distributed, <https://medium.com/delta-exchange/centralized-vs-decentralized-vs-distributed-41d92d463868> (consultato il 30/10/2020).

Questo è possibile poiché nei sistemi Distributed Ledger le eventuali modifiche al registro sono regolate tramite algoritmi di consenso basati sulla crittografia per mantenere l'immutabilità e la sicurezza del registro, in modo tale da raggiungere un consenso tra le varie versioni del registro aggiornate dai partecipanti della rete in maniera indipendente, dato che ogni nodo possiede una copia consultabile del database.

La base dei Distributed Ledgers Technology è la creazione di vaste reti dove i partecipanti possono gestire i nodi della rete; ogni nodo è autorizzato a creare, caricare gli aggiornamenti dei Distributed Ledgers in modo indipendente dagli altri ma sotto il controllo consensuale degli altri nodi.

In questo modo ogni partecipante è in grado di processare e controllare ogni transazione in autonomia, che deve essere verificata, votata ed approvata dalla maggioranza dei partecipanti alla rete.

L'autonomia di ciascun nodo è dipendente dal raggiungimento di un consenso sulle operazioni che vengono eseguite e solo con il consenso possono essere autorizzate e attivate.

Nelle Distributed Ledger, il database non si trova fisicamente solo su un server, ma si trova su più computer tutti perfettamente sincronizzati sugli stessi documenti; in questo modo l'informazione è reperibile in maniera molto rapida, in quanto la potenza di calcolo sfrutta la potenza di tutti i computer connessi.

Ci sono fondamentalmente due processi che permettono ai database distribuiti di funzionare correttamente, e di non permettere lo smarrimento di dati:

- Replica del database: un software è incaricato di analizzare il database per identificare aggiornamenti. Una volta identificati queste modifiche, il software fa in modo che questi cambiamenti vengano replicati e che tutti i database siano identici.
- Duplicazione: tale operazione garantisce che tutti i database abbiano gli stessi dati. In pratica identifica un database master, successivamente duplica su tutti gli altri database, in modo da renderli uguali. Gli utenti e quindi i nodi possono modificare soltanto il database master, garantendo che i dati locali non vengano sovrascritti erroneamente.

Un esempio lampante e funzionale è la Blockchain Bitcoin.

Le varie tipologie di DLT si distinguono come prima differenza nella modalità con cui viene gestito il controllo e la verifica delle azioni di scrittura sul Registro, e quindi come si arriva al raggiungimento del Consenso necessario per validare le azioni e la struttura del registro distribuito.

I Distributed Ledgers vengono aggiornati solo ottenendo il consenso di ogni nodo, di conseguenza viene aggiornato con l'ultima versione di ogni singola operazione di ciascun partecipante. Ogni operazione rimane poi in modo indelebile e immutabile su ogni singolo nodo. (Bellini M., 2018)¹²

Ogni partecipante dispone di una copia immutabile di ciascuna operazione e la verifica e l'autorizzazione non sono più centralizzate; questo modello permette di interpretare il database in senso molto più ampio, come un nuovo rapporto tra persone e informazioni.

È possibile affermare che le blockchain sono delle Distributed Ledger technology caratterizzate da un registro strutturato in modo da gestire le attività all'interno di una catena cronologica di blocchi, ovvero un database strutturato in blocchi. Ogni blocco contiene un record di attività che valida l'ultimo blocco aggiunto alla catena sulla base di un processo di consenso distribuito, dove tutti i nodi sono chiamati a validare le transazioni presenti in ciascun blocco; ogni blocco può essere definito come un file di informazioni crittografate.

In teoria, chiunque può aggiungere dati alla catena di blocchi effettuando transazioni nella rete, chiunque può esaminare i dati in qualsiasi momento, ma nessuno può modificarli senza un'adeguata autorizzazione.

Di conseguenza, una blockchain è una completa storia immutabile delle attività di rete, che sono condivise tra tutti i nodi di una rete distribuita e dove le transazioni possono essere considerate immodificabili, associando in questo modo la proprietà di immutabilità alla blockchain.

¹² Bellini M., 2018, Che cosa sono e come funzionano le Blockchain Distributed Ledgers Technology – DLT, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/cosa-funzionano-le-blockchain-distributed-ledgers-technology-dlt>, (consultato il 27/10/2020)

1.5 Caratteristiche delle Distributed Ledger Technology

Le caratteristiche fondamentali che distinguono i vari sistemi di Distributed Ledger sono tre:

- tipologia di rete;
- meccanismo di consenso;
- struttura del registro.

Le Distributed Ledger Technology necessitano di una rete Peer-to-Peer e algoritmi in grado di gestire la raccolta del consenso e la approvazione di operazioni per il raggiungimento di un consenso.

In una rete internet tradizionale, l'utente si connette ad un server il quale trasmette informazioni al dispositivo attraverso la connessione, l'utente quindi può navigare sui siti web scambiando pacchetti di dati.

Una rete Peer-to-Peer è una rete che connette tra di loro dispositivi, senza necessità di passare attraverso un server centrale, questo implica che non esiste un'entità in grado di controllare la rete e che non esiste un singolo punto di rottura. Se ad esempio un server di un'azienda non funziona il servizio non risulta disponibile, mentre in una rete peer-to-peer fintanto che i dispositivi sono connessi ad internet e funzionanti, niente può causare problemi. (Calvo A., 2018)¹³

La differenza tra Distributed Ledger Technology di tipo Pubblico e di tipo Privato dipende dai modelli di gestione del Consenso che determinano la prima caratteristica ovvero la tipologia di rete.

Sulla base della tipologia di rete, si distingue tra sistemi:

- Unpermissioned ledgers (Blockchain Pubbliche) o Permissionless - reti in cui chiunque può accedere senza autorizzazione.

L'obiettivo delle Unpermissioned ledgers è quello di permettere a ciascun partecipante di contribuire all'aggiornamento dei dati sul Ledger e di disporre tutte le copie immutabili di tutte le operazioni approvate dal consenso.

¹³ Calvo A., 2018, Guida Blockchain: cos'è e perché è rivoluzionario, <https://www.criptovaluta.it/blockchain>, (consultato il 29/10/2020)

Tali reti possono essere utilizzate come database globale per tutti quei documenti che hanno la necessità di garantire l'immutabilità nel tempo, a meno che non risulti necessario effettuare aggiornamenti che richiedono la massima sicurezza in termini di consenso, come ad esempio i contratti di proprietà o i testamenti; tale modello impedisce ogni forma di censura, nessuno è in grado di impedire l'avvenimento di una transazione una volta che ha acquisito il consenso di tutti i nodi della rete.

- **Permissioned ledgers (Blockchain Private)** o **Permissioned** - reti in cui un utente deve registrarsi ed essere autorizzati da un ente centrale o dalla rete stessa.

Tali sistemi possono essere controllati e dunque possono avere una proprietà, di fatti quando un nodo propone l'aggiunta di una transazione, il sistema di approvazione non è vincolato alla maggioranza dei partecipanti ma ad un numero limitato di attori che sono definiti come **Trusted**, che votano l'opportunità di aggiungerla al registro e quindi di verificarne la validità. Questo tipo di Blockchain possono essere utilizzate da istituzioni, grandi imprese che devono gestire filiere con diversi attori quali fornitori e clienti.

Risulta evidente che le **Permissioned ledgers** vengono utilizzate quando vi è la necessità di un aggiornamento diffuso su più attori che abbiano l'autorizzazione ed in grado di svolgere operazioni in modo indipendente; introducendo il concetto di **Governance** come meccanismo di consenso, di fatti è possibile stabilire regole e criteri sull'accesso e la gestione dei dati.

Tecnicamente le **Permissioned ledgers** sono anche più performanti e veloci delle **Unpermissioned Ledgers**, in quanto risultano reti più sicure data l'impossibilità di far accedere alla blockchain dei soggetti esterni non verificati, riducendo notevolmente la possibilità di influenza e modifica dei registri.

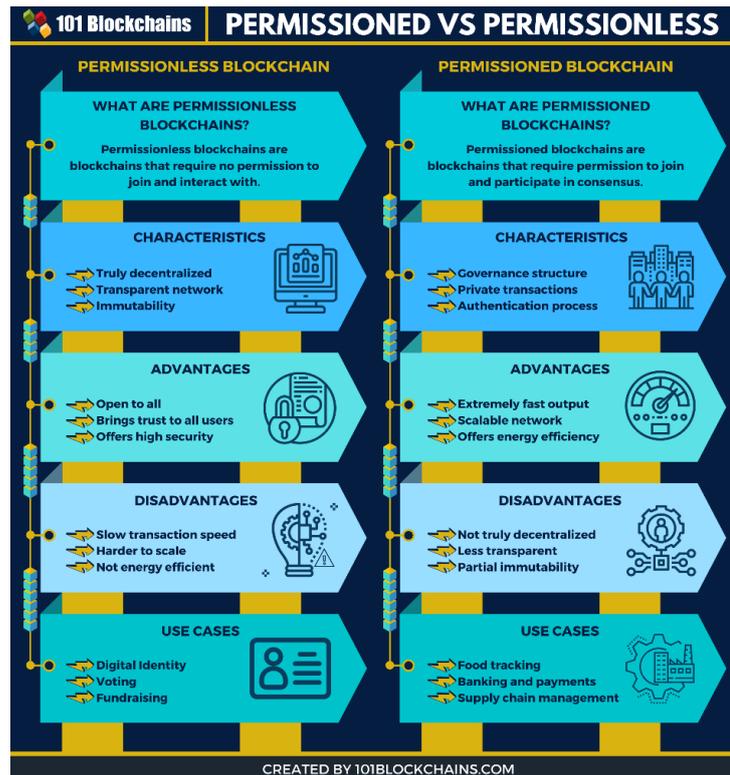


Fig 1.3: Confronto tra Modello Pubblico e Modello Privato. (Singh N., 2020)¹⁴

Viene presentato un ulteriore confronto schematizzato in una tabella che sintetizza le principali differenze tra blockchain pubbliche e private.

Tabella 1.1: blockchain pubbliche vs blockchain private¹⁵

	Public Blockchain	Private Blockchain
Access	Anyone	Single Organization
Authority	Decentralized	Partially decentralized
Transaction Speed	Slow	Fast
Consensus	Permissionless	Permissioned
Transaction Cost	High	Low
Data Handling	Read and Write access for anyone	Read and Write access for a single organization
Immutability	Full	Partial
Efficiency	Low	High

¹⁴Singh N., 2020, Permissioned vs Permissionless Blockchains, <https://101blockchains.com/permissioned-vs-permissionless-blockchains>, (consultato il 30/10/2020)

¹⁵ Anwar H., 2020, Public Vs Private Blockchain: How do they differ? <https://101blockchains.com/public-vs-private-blockchain>, (consultato il 30/10/2020)

Ci sono molte differenze in entrambe le tecnologie, non vi è una scelta migliore, dipende dalla tipologia di azienda alla quale si vuole far adottare un sistema blockchain. Quindi è necessario effettuare uno studio preliminare e verificare le caratteristiche della propria azienda e successivamente scegliere la tipologia di blockchain più adatta al caso specifico.

Un'altra caratteristica dei sistemi Distributed Ledger è la struttura del registro. Le soluzioni blockchain, come già citato in precedenza, sono quelle in cui il registro è strutturato come una catena di blocchi contenenti più transazioni ed i blocchi sono tra di loro concatenati tramite crittografia, come ad esempio nelle piattaforme Bitcoin o Ethereum.

Vi sono poi soluzioni in cui il registro è formato da Tangle, dove cioè le transazioni vengono processate in parallelo, come ad esempio IOTA. Un'ulteriore tipologia di struttura è il registro formato da una catena di transazioni come ad esempio Ripple.

Le soluzioni dette Blockchain, quelle che si ispirano alla piattaforma Bitcoin, aggiungono due ulteriori caratteristiche che non necessariamente si trovano nei sistemi di Distributed Ledger:

- Trasferimenti.
- Asset.

I sistemi blockchain, in genere consentono di effettuare dei trasferimenti o più genericamente delle transazioni; tali trasferimenti a seconda del livello di programmabilità consentito possono essere semplici o più complessi.

Ad esempio, la piattaforma Ethereum consente di gestire Smart Contract che abilitano trasferimenti arbitrariamente complessi, successivamente in un capitolo dedicato si parlerà di Smart Contract nel dettaglio, vista la sua importanza nell'ambito del Supply Chain Management.

Infine, l'ultima caratteristica dei sistemi blockchain è il fatto che esista un asset univoco da trasferire che può essere fisico o digitale come una criptovaluta o un token. Le tecnologie Internet of Things possono aiutare a creare un riscontro tra asset fisico e digitale.

1.6 I componenti della Blockchain

“La blockchain è una serie di blocchi che archiviano un insieme di transazioni validate e correlate da un Marcatore Temporale (Timestamp). Ogni blocco include l’hash (una funzione algoritmica informatica non invertibile che mappa una stringa di lunghezza arbitraria in una stringa di lunghezza predefinita) che identifica il blocco in modo univoco e che permette il collegamento con il blocco precedente tramite identificazione del blocco precedente.” (Bellini M., 2020)¹⁶

Le componenti basilari della Blockchain sono:

- **Nodo:** ogni nodo rappresenta un partecipante alla blockchain con il suo relativo server.
- **Transazione:** sono tutti quei dati (asset) che necessitano di essere verificati, approvati e poi archiviati durante la transazione tra i vari nodi.
- **Blocco:** è un insieme di transazioni che sono unite per essere verificate, approvate e poi archiviate dai partecipanti alla blockchain.
- **Ledger:** è il registro pubblico in cui vengono registrate in modo immutabile, trasparente e sequenziale tutte le transazioni effettuate. Il Ledger grazie ad una funzione di crittografia ed all’uso di hash, si trova la sequenza dei blocchi concatenati tra loro.
- **Hash:** è una operazione non invertibile che permette di mappare una stringa di testo e/o numerica in una stringa unica ed univoca di lunghezza determinata. L’Hash identifica in modo univoco e sicuro ciascun blocco. Dopo aver effettuato l’operazione di hash non è possibile risalire al testo che lo ha generato.



Fig 1.4: Componenti ed azioni della Blockchain (Bellini M., 2020)¹⁷

¹⁶ Bellini M., 2020, *Ibidem*, pag. 11

¹⁷ Bellini M., 2020, *Ibidem*, pag. 11

Ciascun blocco contiene dunque diverse transazioni e dispone di un Hash che registra tutte le informazioni relative al blocco e un Hash con le informazioni relative al blocco precedente tale per cui permette di creare la catena e di legare un blocco all'altro.

La transazione o Transaction contiene invece informazioni relative all'indirizzo pubblico del ricevente, le specifiche della transazione che si vuole effettuare e la firma crittografica che garantisce sicurezza e autenticità della transazione; le componenti della transazione sono l'utente che invia asset chiamato Sender, il beneficiario chiamato Receiver.



Fig 1.5: I componenti di una transazione nella blockchain: Sender, Receiver e un codice criptato. (blockchain4innovation, 2020)

La blockchain si aggiorna automaticamente su ciascun nodo della rete, ogni operazione effettuata deve essere confermata automaticamente da tutti i singoli nodi attraverso software di crittografia, che utilizzano tali dati per firmare le transazioni, garantendo l'identità di chi le ha autorizzate; successivamente le diverse transazioni vengono contenute in un blocco.

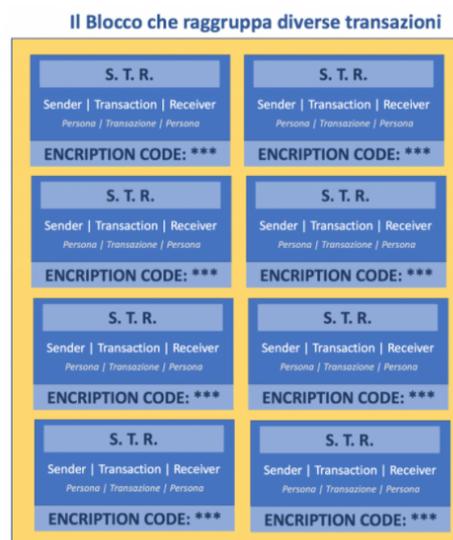


Fig 1.6: Un numero di transazioni (dipende dal volume definito del blocco) viene inserito in un unico blocco. (blockchain4innovation, 2020)

Tale blocco passando per un Hash, che registra tutte le informazioni di dettaglio, crea una catena con un altro Hash che contiene le informazioni relative al blocco precedente. Si forma una catena con il collegamento tra vari blocchi, da cui il termine Blockchain come illustrato in Figura 1.7.



Fig 1.7: Dall'unione di blocchi tramite concatenazione dei loro codici Hash, viene formata una vera e propria catena, da cui blockchain. (blockchain4innovation,2020)

1.7 La crittografia nella blockchain e la funzione di Hash

La crittografia viene utilizzata nell'ambito informatico per proteggere dati e informazioni da accessi non autorizzati, nella pratica è la conversione dei dati da un formato leggibile in un formato codificato che può essere letto o elaborato solo dopo essere stato decriptato.

L'importanza della crittografia nella blockchain è fondamentale per garantire i principali attributi della blockchain, quali sicurezza ed immutabilità.

Come è stato precedentemente detto, tutti i blocchi all'interno della blockchain sono collegati tra loro, la modifica di un singolo blocco richiede la modifica di tutti i suoi blocchi poiché il processo di hasing serve infatti per collegare e condensare gruppi di transazioni in blocchi, inoltre collega in maniera crittografica ciascun blocco, creando effettivamente una blockchain.

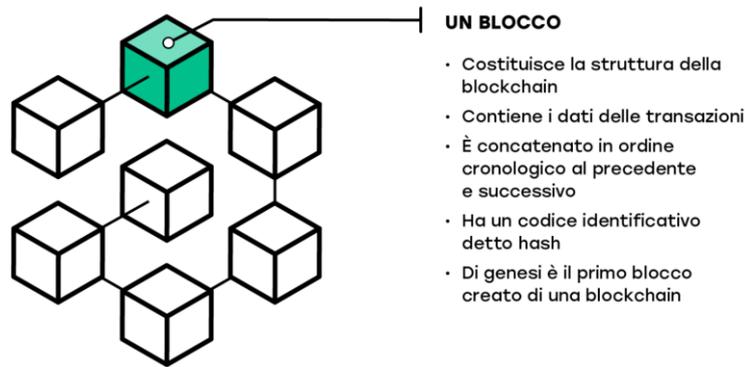


Fig 1.7: Cos'è un blocco? L'immagine riporta in sintesi le principali caratteristiche del singolo blocco (academy.youngplatform.com, 2020)¹⁸.

L'Hashing consiste nel passare i dati di input del blocco, in una funzione matematica e nel trasformarli in hash come dati di output; in particolare avendo una qualsiasi stringa m di lunghezza predefinita in input, passando attraverso la funzione di hash si ottiene in output una stringa $h(m)$ di lunghezza fissata.

Si definisce Hash uniforme semplice quel tipo di hash in cui l'estrazione degli elementi in U è casuale, e la funzione di hash $h: U \rightarrow \{m\}$ estrare la chiave m_i con probabilità $1/|m|$ (Wikipedia.org, 2020)¹⁹

Queste funzioni devono essere in grado di resistere a tutti gli attacchi basati sulla crittografia, per fare questo si definisce il livello di sicurezza di una funzione di hash crittografica facendo riferimento alle seguenti proprietà:

- Resistenza alla preimmagine: dato un valore di hash h , deve essere difficile risalire ad un messaggio m con $\text{hash}(m) = h$.
Questa proprietà deriva dal concetto di funzione unidirezionale.
- Resistenza alla seconda preimmagine: dato un input m_1 , deve essere difficile trovare un secondo input m_2 tale che $\text{hash}(m_1) = \text{hash}(m_2)$.
- Resistenza alla collisione: Dati due messaggi m_1 e m_2 , è molto difficile che i due messaggi abbiano lo stesso hash, quindi con $\text{hash}(m_1) = \text{hash}(m_2)$.
(Wikipedia.org, 2020)²⁰

¹⁸ Academy.Young, 2020, Bitcoin: cos'è? <https://academy.youngplatform.com/it/principiante/articoli/tutti/bitcoin-cos-e>, (consultato il 02/11/2020)

¹⁹ Wikipedia.org, 2020, Funzione di Hash, https://it.wikipedia.org/wiki/Funzione_di_hash, (consultato il 01/11/2020)

²⁰ Wikipedia.org, 2020, Funzione crittografica di Hash, https://it.wikipedia.org/wiki/Funzione_crittografica_di_hash (consultato il 01/11/2020)

Per capire meglio l'utilizzo della funzione di Hash, si ricorre ad un semplice esempio: si considera una tabella con due colonne e diverse righe, ogni casella della prima colonna rappresenta un blocco di transazioni, nella seconda colonna vi sono le relative transazioni crittografate tramite la funzione di Hash o "Hashing".

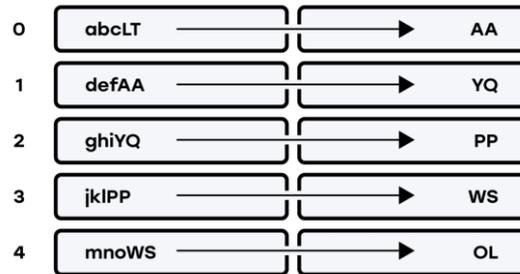


Fig 1.8: Funzione di Hash: Nella prima colonna le transazioni e nella seconda colonna le transazioni crittografate

I dati del primo blocco verranno utilizzati in parte come dati di input del blocco successivo, in modo tale che in caso di modifica all'ultimo blocco risulti impossibile tale operazione in quanto sarebbe necessario alterare completamente l'intera blockchain. La funzione di hash inoltre è progettata per essere unidirezionale (one-way), quindi risulta difficile da invertire tale funzione, così facendo le transazioni risultano irreversibili ed anche in caso di attacco hacker al network le transazioni esistenti non potranno mai essere annullate; tale prevenzione all'alterazione delle transazioni conferma l'attributo di immutabilità delle blockchain.

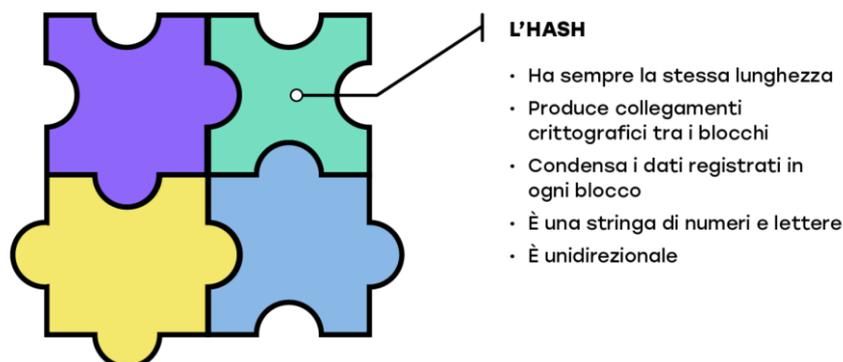


Fig 1.9: Caratteristiche principali della funzione di Hash, nella blockchain tale operazione è chiamata "Hashing" (Academy.Young, 2020)²¹

²¹ Academy.Young, 2020, La crittografia e la funzione di hash, <https://academy.youngplatform.com/it/principiante/articoli/tutti/crittografia-funzione-hash-blockchain>, (consultato il 02/11/2020).

Nel dettaglio la blockchain adotta una tecnologia conosciuta come crittografia asimmetrica, tale processo utilizza una coppia di chiavi matematicamente correlate: una chiave pubblica ed una chiave privata. (Rando A., 2020)²²

Una chiave pubblica è utilizzata per crittografare un dato per proteggerlo da accessi e modifiche non autorizzate; il destinatario può decifrare il dato grazie alla chiave privata la quale è condivisa solo con l'iniziatore della stessa.

Sia mittente che destinatario posseggono una coppia di chiavi pubbliche e private; il mittente ottiene la chiave pubblica del destinatario, successivamente la transazione scritta come una stringa di codici viene crittografata dal mittente utilizzando la chiave pubblica del destinatario. La stringa di codici crittografata viene inviata al destinatario che decodifica la stringa con la sua chiave privata, risultando a lui leggibile.



Fig 1.10: Crittografia asimmetrica: Utilizzo chiave pubblica e chiave privata (Ledger.com, 2019)²³

L'utilizzo della crittografia permette l'elaborazione di una transazione autentica semplicemente utilizzando una stringa di codice univoca utilizzata per firmare la transazione in modo che sia visibile a tutti i partecipanti alla rete, ma contemporaneamente non fornisca alcuna informazione riguardante i due soggetti direttamente coinvolti nella transazione.

Il sistema crittografico utilizzato nella blockchain permette inoltre solamente ai legittimi proprietari di un portafoglio di poter spendere le somme in loro possesso, proteggendole dai malintenzionati.

²² Rando A., 2020, Crittografia, cos'è, a cosa serve, perché non se ne può fare a meno, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/crittografia-cose-a-cosa-serve-perche-non-se-ne-puo-fare-a-meno>, (consultato il 02/11/2020).

²³ Ledger.com, 2019, <https://www.ledger.com/academy/blockchain/what-are-public-keys-and-private-keys>, (consultato il 02/11/2020)

La funzione Hash è ampiamente utilizzata nel mondo digitale, nei siti web vengono criptate le password degli utenti in modo che se si riescano ad oltrepassare le barriere di sicurezza del sito e facendo sì che risultino visibili solamente le versioni crittografate tramite Hash e non le password autentiche immesse per l'accesso.

Come si discuterà nel paragrafo successivo, in ogni transazione viene firmato digitalmente l'Hash contenente parte della transazione precedente. Risulta quindi che il destinatario può risalire a tutti i vari passaggi di proprietà che l'asset ha attraversato, convalidati dalle firme dei diversi proprietari in ciascun passaggio di proprietà.

1.8 La transazione in una Blockchain

Si supponga quindi di voler gestire tramite blockchain una transazione che passerà da un utente denominato Sender ad uno definito come Receiver.

Per costruire la transazione vengono utilizzate le seguenti specifiche:

- ✓ L'indirizzo pubblico del Receiver;
- ✓ Le informazioni specifiche della transazione;
- ✓ Le Cryptographic Key.

Le informazioni specifiche contenute nella transazione possono essere le caratteristiche di un bene, il prezzo, la disponibilità economica del Receiver, l'effettiva proprietà del bene appartenente al Sender ed eventuali altri dettagli necessari.

La transazione dispone le Cryptographic Keys per ognuno dei due attori, ovvero le Digital Signature e le Public Keys di ogni partecipante.

Le due chiavi vengono generate in contemporanea, quella privata è conosciuta esclusivamente dal proprietario, quella pubblica può essere diffusa a tutta la rete; la chiave pubblica serve per ricevere la valuta, quella privata si utilizza per firmare digitalmente la transazione.

Successivamente alla definizione delle chiavi si procede con la firma digitale della transazione che garantisce l'identità certa di mittente e destinatario, ovvero si calcola l'Hash e la transazione entrerà a far parte di altre transazioni racchiuse in un blocco, la transazione è validata da una marca temporale o Time Stamp da parte di un nodo scelto casualmente da un solido modello matematico.

Tutti i nodi della rete saranno chiamati a verificare l'autenticità del blocco tramite la chiave pubblica condivisa dal mittente, che rappresenta anche il suo indirizzo pubblico. Infatti, come è stato detto in precedenza, la blockchain si basa su una Distributed Ledger, dunque tutta la rete è coinvolta nella validazione di questo nuovo blocco che entrerà a far parte della chain.

Se il blocco è stato verificato ed approvato da tutti i membri della rete, viene aggiunto alla catena di blocchi costituendo il Libro Mastro della blockchain, dove tutti i partecipanti potranno accedere in modo permanente possedendone una copia; non potrà essere modificato e rimarrà il riferimento di quella transazione che risulterà quindi irreversibile.

1.9 La validazione di un blocco: il Miner e la Proof of Work

Al fine di aggiungere alla blockchain un nuovo blocco di transazioni è necessario che esso sia controllato e validato da tutti i nodi della rete, infine crittografato.

Questo passaggio viene effettuato risolvendo un complesso problema matematico il quale richiede una grande capacità elaborativa dei server di tutti gli utenti. Questa operazione viene definita come Mining ed è eseguita dai Miner.

Nello specifico ogni Miner svolge una serie di attività:

1. Controlla le transazioni validate dalla rete e prepara un nuovo blocco.
2. Inserisce un Hash del blocco più recente nel nuovo blocco che si sta creando.
3. Il miner dunque cerca di risolvere il problema matematico del nuovo blocco e, se riesce a risolverlo per primo rispetto agli altri miner, il suo blocco viene aggiunto alla rete, se invece un altro nodo risolve per primo il problema matematico per il suo blocco allora sarà questo secondo blocco ad esser aggiunto alla rete.

Ogni nodo della rete può cimentarsi nel risolvere il quesito matematico, diventando un Miner si entra in competizione con gli altri Miner per essere il primo ad ottenere la soluzione del suo blocco; tale problema per essere risolto necessita di impegno in termini di energie, pertanto vi è una remunerazione nel caso si riesce ad essere il primo miner a giungere alla soluzione.

Generalmente il tipo di remunerazione dipende dalle regole di governance adottate per la specifica blockchain ed è emesso in forma di cryptocurrency, ossia moneta virtuale, come per esempio il Bitcoin o BTC.

Una volta che il Miner porta a termine la soluzione può validare il blocco con la presentazione della Proof of Work o letteralmente Prova di Lavoro, ovvero la prova della soluzione. Poiché i nodi della rete non sono pubblici, il Proof of Work rappresenta la costruzione di un rapporto di fiducia basato sulla collaborazione per giungere alla risoluzione del problema.

Nel caso in cui la verifica non dovesse andare a buon fine, il blocco viene rifiutato e ogni nodo è a conoscenza che l'autorizzazione alla transazione è stata revocata.

Il problema matematico del Proof of Work si risolve in un numero n di iterazioni e ed è impossibile prevedere a priori quale miner lo risolverà per primo e dopo quanti tentativi. Le probabilità di ottenere la soluzione sono direttamente proporzionali alla capacità di calcolo che dispone il Miner e poiché è necessaria una grande capacità elaborativa in termini di quantità elettrica e di tempo per giungere ad una soluzione, risulta un processo lungo e complesso.

Difatti uno dei problemi dell'utilizzo del Proof of Work è la possibilità di squilibrio in favore di Miner che dispongono di una maggior capacità di calcolo, per questo la difficoltà della risoluzione di tale problema matematico aumenta con l'espansione della rete; i problemi non dovrebbero essere eccessivamente complessi, in quanto richiederebbe troppo tempo e le transazioni non verrebbero elaborate, bloccando il flusso della rete; allo stesso tempo il problema se fosse troppo semplice la rete risulterebbe vulnerabile ad attacchi esterni. (Tar A., 2018)²⁴

Dunque la difficoltà del problema viene calibrata per limitare la velocità con cui i nuovi blocchi vengono aggiunti alla blockchain evitando una rete troppo caotica.

Si è stimato che in media, nel caso della piattaforma Bitcoin, le transazioni sono confermate dal network entro dieci minuti; vi sono sistemi con protocolli più rapidi.

²⁴ Tar A., 2018, Proof-of-Work explained, <https://it.cointelegraph.com/explained/proof-of-work-explained>, (consultato il 03/11/2020)

1.10 La Marca Temporale o Timestamp

Precedentemente si è affermato che la tecnologia blockchain è stata inizialmente realizzata con lo scopo di eseguire transazioni veloci e sicure, garantendo una soluzione al problema del double spending, ovvero duplicare un asset.

Una volta effettuata l'operazione di validazione del blocco da parte degli utenti della rete, la sicurezza viene garantita certificando che l'autorizzazione della transazione sia avvenuta in uno specifico istante temporale.

Tale certificazione all'interno della blockchain viene chiamata Timestamp o letteralmente Marca Temporale, mentre l'operazione di certificazione viene denominata Timestamping; non è altro che una sequenza di caratteri specifici che indicano in modo univoco e immutabile la data e quindi il momento esatto dove è accaduta una specifica operazione, il formato di tale data permette la comparazione con altre date in modo tale da poter definire un ordine temporale.

Si supponga, per esempio, una transazione tra l'utente A e l'utente B e che venga erroneamente riattribuito all'utente A l'asset che si sta trasferendo; il trasferimento dell'asset dall'utente A all'utente B viene stampato nel tempo tramite Timestamping, quindi il blocco contiene la transazione con relativo timbro temporale con la data e l'ora esatta del passaggio avvenuto. Come è stato già precedentemente detto, il blocco è il contenitore di una serie di transazioni, pertanto se ciascuna transazione ha il suo timestamp allora il blocco contiene i timestamp delle relative transazioni; essendo ciascun blocco collegato tra loro tramite l'hash dunque si ha che i vari timestamp sono collegati tra loro.

Nel relativo caso di manifestazione del problema del Double Spending, è possibile risalire immediatamente al momento esatto in cui è avvenuta la transazione con relativi dettagli dell'operazione. Anche se ci fosse la possibilità di una modifica da parte di un nodo ad un timestamp di una relativa transazione, esso contiene in maniera indiretta il timestamp della precedente transazione, è facilmente intuibile che alterare una transazione implicherebbe la modifica in contemporanea di tutte le componenti che tra loro risultano concatenate, si percepisce la difficoltà con la quale tale evento può accadere.

1.11 Le principali caratteristiche della blockchain

È possibile identificare sette principali caratteristiche della Blockchain che identificano questa tecnologia:

- **Digitalizzazione:** o Digital Trasformation è il processo che consente alle aziende di adottare nuove tecnologie, in particolare grazie all'avvento dell'industria 4.0 questo fenomeno si è consolidato in tutta la filiera di produzione. In dettaglio significa passare da un segnale analogico ad uno digitale, dunque trasformare dei dati (ad esempio ottenuti da misurazioni, controllo di processi, ecc.) in un formato digitale permettendo di prendere decisioni su dati ottenuti in tempo reale, ridurre gli sprechi di tempo e risorse, avere l'accesso in maniera più semplice ed immediata ad informazioni aziendali in tempo reale, migliorare le attività aziendali in modo continuo e garantire un livello maggiore di performance. (Patelli S., 2020)²⁵
- **Decentralizzazione:** la Blockchain è un sistema basato su un'autorità decentralizzata, risultando un sistema più sicuro ed affidabile rispetto ad uno centralizzato, in quanto se un nodo della rete viene attaccato dall'esterno, tutti gli altri nodi possono continuare ad operare senza essere compromessi e senza perdita di dati importanti.
Le informazioni sono distribuite e registrate tra i nodi della rete per garantire una sicurezza informatica ed una resilienza relativa ai sistemi informatici. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)²⁶
- **Tracciabilità dei Trasferimenti:** Tracciare significa effettuare operazioni di controllo utilizzando sistemi in grado di validare, verificare, garantire l'origine, registrare la movimentazione e la trasformazione di un asset, che siano prodotti finiti ottenuti da materie prime o prodotti vinicoli trasportati dalla filiera al consumatore.

²⁵ Patelli S., 2020, Digitalizzazione dei Processi dopo Industria 4.0, <https://www.headvisor.it/digitalizzazione-industria-4-0>, (consultato il 04/11/2020).

²⁶ Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues, *Journals Elsevier - Telematics and Informatics*.

La tracciabilità mira a rispondere alle domande “cosa/quando/dove”. (Mehrdokht P., Yangyan S., Stefan S., Lenny K. S.C., 2019)²⁷

Nella blockchain le transazioni effettuate sulla rete sono visibili tutti i nodi della rete, dunque ciascun elemento del registro risulta tracciabile e si può risalire alla sua esatta provenienza, quindi alla sua intera storia. (Jovacchini L., 2020)²⁸

- Disintermediazione: la piattaforma blockchain consente di gestire il flusso di transazioni senza intermediari, dunque si verifica l'assenza di enti centrali che gestiscono le transazioni con una conseguente semplificazione dei processi amministrativi. Risulta conveniente in termini economici e di risparmio in termini di tempo con cui le transazioni avvengono. (Sarzana F., 2018)²⁹

- Trasparenza e Verificabilità: La trasparenza cerca di far luce sull'aspetto del “come”, ad esempio come viene acquistato un prodotto, come viene elaborato da fornitori e come viene gestito durante il trasporto. (Hastig G., 2019)³⁰

Il contenuto del registro risulta consultabile e verificabile da tutti i nodi della rete, garantendo trasparenza e sicurezza nelle operazioni.

- Immutabilità del Registro: Una volta che le informazioni sono state scritte sul registro, i dati non possono essere modificati senza il consenso della rete rendendo la blockchain un sistema solido.

L'immutabilità è una caratteristica che garantisce affidabilità ed autenticità di informazione. (Kouhizadeh M., Saberi S., Sarkis J., 2020)³¹

- Programmabilità dei Trasferimenti: Le transazioni autorizzate sono irrevocabili garantendo che tali transazioni siano definitive dunque non possono essere modificate o annullate, risultando una migliore tracciabilità. Inoltre vi è la possibilità di programmare determinate azioni che vengono effettuate al verificarsi

²⁷ Mehrdokht P., Yangyan S., Stefan S., Lenny K. S.C., 2019, *Ibidem*, pag. 11.

²⁸ Jovacchini L., 2020, Tracciabilità e sostenibilità dei prodotti nell'era della blockchain, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/industria4-0/tracciabilita-e-sostenibilita-dei-prodotti-nellera-della-blockchain>, (consultato il 05/11/2020).

²⁹ Sarzana F., 2018, Creare fiducia attraverso la disintermediazione: la risoluzione del Parlamento Europeo su DLT e blockchain, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/creare-fiducia-attraverso-la-disintermediazione-la-risoluzione-del-parlamento-europeo-su-dlt-e-blockchain>, (consultato il 05/11/2020).

³⁰ Hastig G., 2019, Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors, *Production and Operations Management (POMS)*.

³¹ Kouhizadeh M., Saberi S., Sarkis J., 2020, Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

di determinate condizioni, ad esempio che una transazione abbia una certa validità da una certa data o che possa funzionare solo tramite specifici canali e/o dispositivi. (Porazzi G., 2017)³²



Fig 1.11: Caratteristiche dell'Internet del Valore (Osservatori.net, 2019)³³

Alla base di questi principi, la blockchain è diventata un nuovo concetto di fiducia, di fatti è possibile vederla come una piattaforma che consente lo sviluppo e la concretizzazione di una nuova forma di rapporto sociale, permette di verificare, controllare e disporre di una trasparenza sugli atti e sulle decisioni a tutti i partecipanti della rete, dove i dati vengono registrati in archivi con la peculiarità di essere inalterabili, immutabili al tal punto da essere considerati “immuni” da corruzione.

“L'*internet of value* è una *rete digitale di nodi* che trasferiscono valore, in *assenza di fiducia*, attraverso un *sistema di algoritmi e regole crittografiche* che permette di raggiungere il consenso sulle modifiche di un *registro* distribuito che tiene traccia dei *trasferimenti* di valore tramite *asset digitali univoci*”. (Vella G., 2019)³⁴

³²Porazzi G., 2017, Riflessioni sul concetto di moneta programmabile, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/riflessioni-sul-concetto-moneta-programmabile>, (consultato il 06/11/2020).

³³ Osservatori.net, 2019, La Blockchain spiegata semplice, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-spiegazione-significato-applicazioni#caratteristiche, (consultato il 07/11/2020).

³⁴ Vella G., 2019, Digital week, Finer: blockchain è internet del valore, <https://www.wealth.com/it/news/fintech/blockchain/finer-blockchain-internet-valore>, (consultato il 06/11/2020).

CAPITOLO 2 - Algoritmi di consenso

Nel secondo capitolo andrò a descrivere i vari algoritmi di consenso, trattando la differenza tra protocollo ed algoritmo.

Dedicherò un paragrafo agli aggiornamenti dei protocolli, chiamati Fork.

2.1 Protocollo ed Algoritmo di Consenso

Il protocollo è l'insieme di regole che stabiliscono come avviene il consenso all'interno della rete, deve risultare unanime tra i nodi della rete per un singolo valore di dati, in una determinata blockchain; queste regole descrivono chi può convalidare i blocchi, definendo chi è il Miner. (Binance Academy, 2020)³⁵

L'algoritmo di consenso può essere definito come il meccanismo con cui viene raggiunto il consenso in una determinata blockchain, in pratica dice al sistema quali sono le azioni da intraprendere per rispettare le regole del protocollo, ottenendo i risultati desiderati.

Una volta stabilito il protocollo di consenso di una blockchain, tutti gli utenti partecipanti alla rete devono aderire e seguire le regole di consenso stabilite per far parte di quella blockchain.

Il protocollo definisce a tutti gli effetti il modo in cui i nodi possono interagire, la modalità con cui devono avvenire le transazioni e la convalida dei blocchi; l'algoritmo di consenso stabilito ha il compito di verificare le transazioni e le firme, confermare le transazioni ed eseguire a tutti gli effetti la validazione dei blocchi.

Vi sono tanti algoritmi di consenso utilizzabili all'interno di una blockchain, ciascun protocollo di consenso è progettato per essere complesso da replicare o imitare, poiché risultano costosi in termini di tempo, risorse informatiche ed energetiche. (Ismail L., Materwala H, 2019)³⁶

³⁵ Binance Academy, 2020. Cos'è un algoritmo di Consenso Blockchain?, <https://academy.binance.com/it/articles/what-is-a-blockchain-consensus-algorithm>, (consultato il 19/11/2020).

³⁶ Ismail L., Materwala H, 2019, A Review of Blockchain Architecture and Consensus Protocols: Use Cases, Challenges, and Solutions, Symmetry, Department of Computer Science and Software Engineering, UAE University College of IT, Al Ain, United Arab Emirates.

2.2 Gli aggiornamenti dei Protocolli in una Blockchain: i Fork

Un Fork può rappresentare un aggiornamento del protocollo attualmente in vigore sulla rete, oppure un cambiamento irreversibile che condiziona l'intera rete.

In generale i Fork sono strumenti utilizzati per migliorare la performance della blockchain.

Si dividono in due tipologie:

- **Soft Fork:** viene realizzato per applicare una nuova versione aggiornata del protocollo attualmente in uso, è un processo reversibile pertanto permette la partecipazione al network anche a quei nodi che per determinate motivazioni non effettueranno l'aggiornamento.
- **Hard Fork:** rappresenta una vera e propria "biforcazione", è un processo irreversibile e quindi è obbligatorio per tutti i nodi effettuare l'aggiornamento, altrimenti non sarà possibile continuare a partecipare al network.

A sua volta gli Hard Fork possono essere di tipo Planned, ovvero pianificati in un certo istante, oppure di tipo Contentious, si verifica quando la rete non riceve il consenso dagli utenti e dunque si ricorre ad una separazione della blockchain.

(Binance Academy, 2020)³⁷

Come accaduto in passato, gli Hard Fork sono stati utilizzati per la creazione di nuove criptovalute, come Bitcoin Cash e Litecoin. (Cmcmarkets.com, 2020)³⁸

Le motivazioni per cui si arriva ad un Hard Fork possono essere diverse:

Il tempo di esecuzione di una transazione è direttamente proporzionale alla quantità di transazioni da processare ed al numero di utenti partecipanti, quando la domanda di transazioni aumenta si verifica un rallentamento dei tempi con cui i blocchi vengono validati ed aggiunti alla rete; questo problema viene chiamato "Scalabilità" con una conseguente divisione tra gli sviluppatori che vorrebbero preservarne la struttura tradizionale e coloro che vorrebbero aumentare il volume dei blocchi; di fatti una possi-

³⁷ Binance Academy, 2020, Cosa sono gli hard fork e i soft fork?, <https://academy.binance.com/it/articles/hard-forks-and-soft-forks>, (consultato il 19/11/2020).

³⁸ Cmcmarkets.com, 2020, Cosa sono le blockchain fork?, <https://www.cmcmarkets.com/it-it/impara-come-operare-con-criptovalute/cosa-e-una-blockchain-fork>, (consultato il 20/11/2020).

bile soluzione per migliorare il problema della scalabilità è quella di aumentare le dimensioni del blocco, ovvero aumentare la quantità di transazioni in ciascun blocco, aumentando la velocità con cui vengono processate le transazioni.

Questa divisione porta alla generazione di un Fork all'interno della blockchain; l'utilizzo di Hard Fork con conseguente scissione della blockchain che rischia di indebolire la fiducia tra i vari nodi della rete, in quanto la logica del Trust è direttamente proporzionale al numero di nodi partecipanti della blockchain.

2.3 Principali Algoritmi di Consenso

Nei sottoparagrafi successivi ci sarà la descrizione dei principali algoritmi di consenso, mi soffermerò sui più importanti nonché i maggiormente diffusi nelle blockchain.

È necessario raggiungere un consenso per la maggior parte dei nodi della rete, pertanto risulta complesso il processo di implementazione; il tipo di meccanismo da utilizzare dipende dal tipo di rete che si sta adottando.

Successivamente in una tabella riassumerò gli algoritmi maggiormente utilizzati con le loro caratteristiche principali, in modo tale da poter avere un confronto ed una visione complessiva delle diverse potenzialità che possono offrire ciascun meccanismo di consenso.

2.3.1 Proof of Work - PoW

L'algoritmo di consenso Proof of Work è stato introdotto per la prima volta da Dwork Cynthia e Naor Moni nell'anno 1993 per ridurre il numero di e-mail di spam rendendo difficile dal punto di vista computazionale inviare più email contemporaneamente. (Huskanović A., 2018)³⁹

Nel capitolo uno al paragrafo 1.9 si è già discusso del Proof of Work (POW) o Prova di lavoro, dove i miner devono risolvere il problema matematico per aggiungere un nuovo blocco alla rete; successivamente al termine della soluzione è possibile validare il blocco presentando la Proof of Work.

³⁹ Huskanović A., 2018, Proof of Work – What it is and How does it Work?, <https://www.asynclabs.co/blog/blockchain-development/proof-of-work-what-it-is-and-how-does-it-work>, (consultato il 9/11/2020).

L'algoritmo di consenso PoW consente ai miner di convalidare un nuovo blocco ed aggiungerlo alla blockchain solo se tutti i nodi distribuiti della rete raggiungono il consenso unanime e concordano che la Proof of Work fornita dal miner sia valida.

È un algoritmo di consenso basato sul calcolo intensivo, inoltre sono definiti “Algoritmi di Mining” quelli in cui è necessaria un'elevata quantità di energia per poter far funzionare correttamente l'intensa attività di calcolo.

Vi sono diversi svantaggi da considerare nell'utilizzare il PoW come algoritmo di consenso:

- ❖ Inutilità dei calcoli: Come già detto i miner spendono tante risorse in termini di tempo ed energie per generare nuovi blocchi, eseguendo calcoli non applicabili ad altri settori al di fuori della blockchain e della PoW.

- ❖ Costi Elevati: Il processo di mining richiede macchine estremamente specializzate, con capacità di risolvere algoritmi altamente complessi in tempi richiesti brevi; questi dispositivi risultano costosi ed inoltre consumano una quantità di energia elettrica difficile da sostenere. Come si può osservare nel grafico successivo, si può osservare un approccio dominante chiamato Mining Pool. (Suhyeon L., Seungjoo K., 2018)⁴⁰

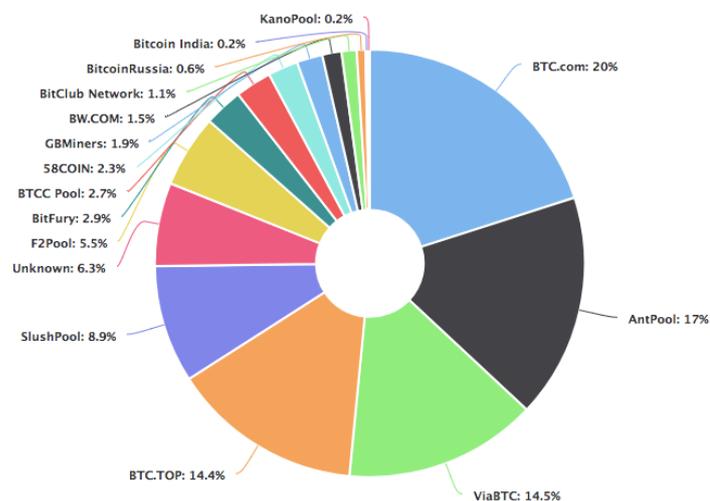


Fig 2.1: I maggiori gruppi di Miner che detengono il mercato della blockchain. (Tar A., 2018)⁴¹

⁴⁰ Suhyeon L., Seungjoo K., 2018, Pooled Mining Makes Selfish Mining Tricky, CIST Korea University and Korea Agency for Defense Development.

⁴¹ Tar A., 2018, *Ibidem*, pag. 30

Questo indebolisce la decentralizzazione del sistema, in quanto solo una parte dell'utenza riesce a sostenere investimenti così alti.

❖ **Attacchi del 51%:** definito anche come “attacco di maggioranza” dove un singolo utente o gruppo di miner riesce a controllare la maggior parte del processo di mining di una blockchain. Se la probabilità di vincere la Proof of Work per ottenere il compenso, è direttamente proporzionale alla capacità di calcolo di cui si dispone, la maggior parte dei miner che controllano la rete possono monopolizzare la generazione dei nuovi blocchi, ostacolando gli altri miner ed impedendo loro di ricevere le ricompense. Nel caso peggiore si potrebbe avere un'influenza degli eventi che condurrebbe inevitabilmente ad un annullamento delle transazioni

È necessario precisare che l'attacco del 51% richiederebbe una potenza di calcolo eccessivamente elevata per poter controllare l'intera rete, anche se ci fossero i presupposti, la rete sarebbe avvisata e tutti i nodi abbandonerebbero il network con una conseguente diminuzione del valore della blockchain, facendo perdere rilievo in termini economici ai possessori del 51% della rete.

L'utilizzo dei Soft Fork è un modo per migliorare questi aspetti, vengono utilizzati per aggiornare i protocolli diminuendo il peso dell'importanza di possedere un'elevata capacità di calcolo per la risoluzione del Proof of Work, riducendo in questo modo i rischi di concentrazione dei Miner.

2.3.2 Proof of Stake – PoS

L'algoritmo di consenso Proof of Stake è stato sviluppato nel 2011 da Scott Nadal e Sunny King come alternativa energeticamente efficiente del PoW, letteralmente è una “prova che si ha un interesse in gioco” (Wikipedia.org, 2020)⁴². Viene utilizzato per una maggiore sicurezza di una rete di criptovaluta e per il conseguimento di un consenso distribuito.

Non si parla più di Miner ma di Validator, Forger o Minter. (Binance Academy, 2020)⁴³
I Validator devono mostrare e dichiarare la proprietà su una certa quantità di valuta (criptovaluta), a tutti gli effetti devono depositare le proprie monete in uno specifico

⁴² Wikipedia.org, 2020, Proof of Stake, <https://it.wikipedia.org/wiki/Proof-of-stake>, (consultato il 21/11/2020).

⁴³ Binance Academy, 2020, *Ibidem*, pag. 35

portafoglio per poter garantire la loro identità di validatori del blocco, in questo modo sono obbligati a convalidare i blocchi secondo le regole altrimenti il deposito sarà distrutto; più sono le monete messe in gioco e maggiore sarà la probabilità di essere selezionati per convalidare un blocco. Ciascun nodo possedente monete può diventare un validator, per partecipare al processo di convalida delle transazioni e di formazione del consenso.

Non vi è una ricompensa nel PoS se viene validato il blocco, bensì piccoli costi di transazione che vengono assegnati al validator, quindi la somma dei costi delle transazioni di un singolo blocco è la ricompensa totale del validator di quel blocco. (Calvo A., 2018)⁴⁴

Ogni volta che un blocco viene verificato ed aggiunto alla blockchain, viene scelto il creatore del blocco successivo dato che il validator non può essere sempre colui che possiede la maggior quantità della criptovaluta, evitando di fatto la possibilità che un validator possa creare tutti i blocchi.

Vi sono diversi modi per scegliere il forger successivo.

È possibile utilizzare una funzione random che ricerca il valore di hash più basso rapportato alla dimensione della somma in gioco; essendo la somma pubblica e visibile a tutta la rete, è possibile predire il validator che si aggiudicherà il diritto di validare il nuovo blocco.

Un altro metodo si basa sull'anzianità ed il concetto di selezione casuale; il validator viene scelto in base al prodotto della quantità di monete possedute per il numero di giorni in cui le monete sono state possedute, le monete che non sono state utilizzate per almeno 30 giorni competono per la creazione del blocco successivo. (Khan D., Jung T. L., Hashmani A. M., Waqas A., 2020)⁴⁵

Coloro che possiedono più monete non spese, hanno una maggiore probabilità di essere il forger del blocco successivo; quando le monete sono state utilizzate per validare quel blocco, si riparte con un'anzianità "pari a zero" in quanto è necessario aspettare almeno 30 giorni per poter firmare un altro blocco.

⁴⁴ Calvo A., 2018, *Ibidem*, pag. 18

⁴⁵ Khan D., Jung T. L., Hashmani A. M., Waqas A., 2020, A Critical Review of Blockchain Consensus Model, 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET), Sukkur IBA University Pakistan.

Un'ulteriore sicurezza è data dal fatto che la probabilità di essere il minter del nuovo blocco è massima dopo 90 giorni, prevenendo che grandi somme di monete anziane possano dominare la blockchain.

È possibile scegliere il validator anche sulla base della velocità, ovvero sulla movimentazione della moneta piuttosto che sul suo accumulo, favorendo una rotazione della moneta. (Rubino A., 2020)⁴⁶

Risulta evidente che la PoS è molto più efficiente della PoW in termini di tempo ed energia e quindi con costi più ridotti.

Come aspetto negativo si tende a prediligere i nodi che possiedono più monete e tale nodo può controllare in modo dominante la rete. In caso di attacco 51%, a differenza della PoW, la rete reagisce alzando il prezzo della criptovaluta, diventando economicamente insostenibile portare a termine l'attacco. (Cavalli S., 2019)⁴⁷

2.3.3 Delegated Proof of Stake – DPoS

Algoritmo di consenso sviluppato da Daniel Larimer nel 2014 per trovare una soluzione al problema del PoS. il “ricco più ricco” può dominare la rete. (Gatti. M, 2019)⁴⁸

Il PoS coinvolge l'intera rete per convalidare le transazioni, mentre nel sistema Delegated Proof of Stake la possibilità di essere un validator è limitata ad un numero di delegati (chiamati anche testimoni), essi vengono eletti dall'intera rete in un sistema democratico di consensi, in particolare i consensi hanno un peso che è funzione del numero di monete possedute da coloro che votano i testimoni. (Ismail L., Materwala H, 2019)⁴⁹

Per essere votati, ciascun delegato presenta una proposta individuale consultabile dai vari nodi per scegliere chi votare; dunque l'algoritmo DPoS è un sistema di voto che dipende strettamente dalla reputazione dei delegati, se un testimone non rispetta le regole e non lavora in maniera adeguata, viene espulso e sostituito da un nuovo delegato. L'algoritmo non considera il caso dove ogni nodo vota sé stesso.

⁴⁶ Rubino A., 2020, Blockchain: cosa sono i protocolli PoW e PoS e a cosa servono, <https://www.blockchain4innovation.it/criptovalute/blockchain-cosa-sono-i-protocolli-pow-e-pos-e-a-cosa-servono>, (consultato il 21/11/2020).

⁴⁷ Cavalli S., 2019, Proof of Work (PoW) vs Proof of Stake (PoS): la guida, <https://cryptonomist.ch/2019/10/05/proof-of-work-pow-vs-proof-of-stake-pos-la-guida>, (consultato il 21/11/2020).

⁴⁸ Gatti. M, 2019, Delegated Proof of Stake: cos'è il D-PoS?, <https://cryptonomist.ch/2019/06/02/delegate-proof-of-stake-d-pos>, (consultato il 23/11/2020).

⁴⁹ Ismail L., Materwala H, 2019, *Ibidem*, pag. 36

Il protocollo, ovvero le regole a cui tutti i nodi devono fare riferimento, vengono votate allo stesso modo dei validator; vengono stabilite regole come le commissioni che ricevono i testimoni per ogni transazione convalidata, le dimensioni dei blocchi e gli intervalli di blocco della rete. (bitcoinwiki.org, 2020)⁵⁰

Risulta maggiormente efficace rispetto al tradizionale PoS, essendo i delegati motivati ad essere efficienti ed onesti, altrimenti non verranno rieletti perdendo, di conseguenza la possibilità di essere un validator.

Tali sistemi sono in grado di elaborare velocemente un numero maggiore di transazioni rispetto ad un algoritmo di consenso PoW o PoS. Il numero di blocchi da convalidare è predeterminato, in quanto ad ogni delegato spetta un turno nella produzione di blocchi.

Il principale svantaggio di tale algoritmo è che risultano vulnerabile alla centralizzazione, poiché il numero di testimoni è strettamente limitato; inoltre dato che il potere di voto è proporzionale al numero di monete in possesso di ciascun nodo, gli utenti con un borsellino modesto hanno meno rilevanza durante la fase di votazione rispetto a coloro che sono in possesso di un quantitativo di monete nettamente maggiore.

2.3.4 Proof of Authority – PoA

Il Proof of Authority è stato proposto da Gavin Wood, co-founder e CTO di Ethereum, nel 2017, un algoritmo di consenso basato sulla reputazione dei partecipanti della rete. (Curran B. 2018)⁵¹

Una soluzione ambita dalle imprese, in particolare applicabile nel settore logistico e della supply chain. (Porta M., 2019)⁵²

È un algoritmo che fornisce transazioni relativamente veloci attraverso un meccanismo di consenso basato sull'identità come posta in gioco, le transazioni e quindi i blocchi sono convalidati da account approvati, noti come validatori che mettono in “strike”

⁵⁰ Bitcoinwiki.org, 2020, Delegated Proof of Stake, <https://en.bitcoinwiki.org/wiki/DPoS>, (consultato il 23/11/2020).

⁵¹ Curran B. 2018, What is Proof of Authority Consensus? Staking Your Identity on The Blockchain, <https://blockonomi.com/proof-of-authority>, (consultato il 24/11/2020).

⁵² Porta M., 2019, Proof of Authority (PoA): il consenso basato sulla reputazione, <https://cryptonomist.ch/2019/10/12/proof-of-authority-poa>, (consultato il 24/11/2020).

(in gioco) la propria reputazione, a differenza del PoS dove si utilizzano le monete. (Binance Academy, 2020)⁵³

Tali validatori sono approvati in numero di limitato, risultando un sistema scalabile a differenza di molti altri algoritmi. (Bitcoinwiki.org, 2020)⁵⁴

Il processo è automatizzato e non richiede ai validatori di monitorare costantemente i propri dispositivi, è necessario eseguire un software che consenta loro di mettere transazioni in blocchi. L'unica necessità è che occorre mantenere il computer (chiamato anche Nodo di Autorità) senza compromessi; inoltre è richiesta una bassa potenza di calcolo, molto meno intensiva dal punto di vista computazionale rispetto ai modelli PoW. (Wikipedia.org, 2019)⁵⁵

Adottando tale algoritmo, le persone guadagnano il diritto di diventare validatori, quindi c'è un incentivo a mantenere la posizione guadagnata; attribuendo una reputazione all'identità, i validatori sono incentivati a sostenere il processo di transazione poiché non desiderano che la loro identità sia collegata ad una reputazione negativa a seguito di un comportamento dannoso, con una conseguente revocazione della validità del blocco. (Capaccioli G., 2019)⁵⁶

Questo sistema è considerato più robusto del PoS in quanto viene considerata una sua modifica, si utilizzano infatti le identità come alternativa alle monete come valuta; funzionante soprattutto sulle blockchain private adatte a particolari attività delle imprese, dove l'identità è un requisito importante per far parte di una blockchain privata, in quanto tale meccanismo non rispetta appieno il concetto di decentralizzazione a causa della sua natura autorizzativa. (Bottinelli M., 2019)⁵⁷

⁵³ Binance Academy, 2020, La Proof of Authority spiegata, <https://academy.binance.com/it/articles/proof-of-authority-explained>, (consultato il 24/11/2020).

⁵⁴ Bitcoinwiki.org, 2020, Proof of Authority, <https://en.bitcoinwiki.org/wiki/Proof-of-Authority>, (consultato il 24/11/2020).

⁵⁵ Wikipedia.org, 2019, Proof of Authority, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Proof_of_authority, (consultato il 24/11/2020).

⁵⁶ Capaccioli G., 2019, Blockchain: la Proof of Authority (PoA), <https://affidaty.io/blog/it/2019/08/blockchain-la-proof-of-authority-poa>, (consultato il 24/11/2020).

⁵⁷ Bottinelli M., 2019, Blockchain – il consenso, <https://bottinelli-marina.medium.com/https-medium-com-bottinelli-marina-blockchain-il-protocollo-di-consenso-ea13afdd48f3>, (consultato il 22/11/2020).

2.3.5 Proof of Elapsed Time – PoET

È un algoritmo di consenso utilizzato nelle blockchain private (dove è necessario identificarsi per potervi accedere), che impedisce l'elevato utilizzo delle risorse in termini di energia e mantiene il processo più efficace seguendo un sistema di lotteria equo. Ogni nodo della rete deve attendere un periodo di tempo casuale, il primo partecipante che termina l'attesa diventa il leader per il nuovo blocco; per far funzionare questo algoritmo è necessario che tutti i partecipanti attendano un periodo di tempo generato in un range uguale per tutti, in modo tale che ogni singolo nodo abbia le stesse possibilità di vincita.

Sviluppato da Intel nel 2016 si basa su un set speciale di istruzioni CPU denominato Intel Software Extensions (SGX) in grado di consentire alle applicazioni di eseguire codice attendibile in un ambiente protetto. (Frankenfield J., 2020)⁵⁸

Il Proof of Elapsed Time si basa su due punti chiave: (Rilee K., 2018)⁵⁹

- Viene creato un attestato che rende il codice attendibile, ogni partecipante della rete può dimostrare agli altri nodi che si sta eseguendo il codice attendibile e corretto per il network. È necessario verificare che il codice sia attendibile altrimenti i nodi della rete non possono sapere se effettivamente si sta eseguendo correttamente il PoET.
- Il codice attendibile viene eseguito in un ambiente privato, in questo modo, dopo che il codice stesso è già stato definito, vi è la garanzia che qualsiasi malintenzionato non avrà la possibilità di manipolare in alcun modo il PoET.

L'ambiente protetto viene garantito dal Trusted Execution Environment (TEE) che necessita un hardware specializzato il quale rappresenta il principale svantaggio di questo meccanismo di consenso, rendendo la blockchain meno decentralizzata.

Un vantaggio importante è rappresentato dal tempo, ciascun nodo deve attendere il periodo di tempo scelto a caso, in quel periodo i nodi vanno a “dormire” per quella

⁵⁸ Frankenfield J., 2020, Proof of Elapsed Time (PoET) (Cryptocurrency), <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-elapsed-time-cryptocurrency.asp>, (consultato il 25/11/2020).

⁵⁹ Rilee K., 2018, Understanding Hyperledger Sawtooth — Proof of Elapsed Time, <https://medium.com/kokster/understanding-hyperledger-sawtooth-proof-of-elapsed-time-e0c303577ec1>, (consultato il 25/11/2020).

specifica durata; colui che si “sveglia” per primo, ovvero quello con il tempo di attesa più breve, si impegna a validare un nuovo blocco della rete trasmettendo le informazioni necessarie alla rete. Durante l’attesa del timer, il processore del miner non è utilizzato per l’attività di convalida dei blocchi e pertanto può essere utilizzato in altre attività per un tempo specificato, aumentando così la sua produttività. (Porta M., 2019)⁶⁰

Come per la rete PoW, una volta che il tempo di attesa è terminato viene scelto il validatore e dopo che viene convalidato il blocco, il miner riceve il suo compenso.

Potenzialmente questo sistema risulta molto più efficiente in termini di energia spesa rispetto ad altri algoritmi di consenso come il Proof of Work; inoltre non favorisce nodi con elevata ricchezza come nel PoS, risultando un algoritmo più equo.

2.3.6 Practical Byzantine Fault Tolerance – PBFT

Il Problema dei Generali Bizantini o Byzantine Fault Tolerance (BFT) è stato ideato nel 1982 dai ricercatori Leslie Lamport, Robert Shostak e Marshall Pease, si tratta di un dilemma logico che descrive come un gruppo di generali bizantini potrebbe avere problemi di comunicazione quando i suoi componenti cercano di accordarsi sulla prossima mossa.

Si suppone che ciascun generale abbia la propria armata e ciascun gruppo sia posizionato in diverse aree intorno alla città da assediare, i generali devono decidere se attaccare o ripiegare; è necessario raggiungere il consenso coordinandosi su una decisione comune ed eseguirla contemporaneamente, che sia attaccare o ripiegare la decisione non può essere cambiata una volta presa. (Nasdaq, 2017)⁶¹

La comunicazione tra i generali è realizzata tramite messaggi, dunque il Problema dei Generali Bizantini è che tali messaggi possono arrivare in ritardo, distrutti o smarriti.

Anche se un messaggio viene consegnato, uno o più generali potrebbero decidere per una qualsiasi ragione di agire in modo disonesto ed inviare un messaggio falso per

⁶⁰ Porta M., 2019, Proof of Elapsed Time (PoET): l’algoritmo di consenso basato sul tempo, <https://cryptonomist.ch/2019/06/15/proof-of-elapsed-time-poet>, (consultato il 25/11/2020).

⁶¹ Nasdaq, 2017, Byzantine Fault Tolerance: The Key for Blockchains, <https://www.nasdaq.com/articles/byzantine-fault-tolerance-key-blockchains-2017-06-29>, (consultato il 26/11/2020).

confondere gli altri generali, portando la missione ad un fallimento totale. (Dal Prà M., 2018)⁶²

I generali potrebbero decidere di attaccare o ripiegare consapevoli che ci possa essere uno o più traditori che potrebbero decidere di agire in maniera opposta.

Se tale problema è applicato al contesto della blockchain, ciascun generale rappresenta un nodo della rete ed i nodi devono raggiungere il consenso sull'attuale stato del sistema; dunque si vuole che la maggioranza dei partecipanti raggiungano il consenso, concordando sulla stessa azione da eseguire al fine di evitare il fallimento totale. (Bitcoinwiki.org, 2020)⁶³

L'algoritmo PBFT è stato introdotto nel 1999 e sviluppato da Barbara Liskov e Miguel Castro, fornendo alla rete un'implementazione di una tolleranza ai guasti Byzantine copiando i server e sincronizzando le interazioni tra i nodi; questo è garantito da un'autorità centrale che seleziona un gruppo di nodi leader, tali nodi comunicando tra loro possiedono una copia del server ed utilizzano gli altri nodi come backup. La necessità di un'autorità per la selezione di un leader e dei nodi di backup rende il sistema meno decentralizzato, per questo tale algoritmo viene preferibilmente adottato in sistemi blockchain privati. (Paris C., 2020)⁶⁴

L'unico modo per raggiungere il consenso nei sistemi distribuiti è avere almeno il $2/3$ o più nodi affidabili ed onesti, di fatti se i traditori sono più di $1/3$ il consenso non viene raggiunto, in modo tale da evitare che la blockchain non sia vulnerabile ad attacchi del 51%, inoltre, maggiore è il numero di nodi nella rete, più è improbabile che più di un terzo dei nodi sia dannoso, di conseguenza la rete è più sicura. (Gallone M., 2017)⁶⁵

La generazione dei blocchi in un sistema PBFT può essere schematizzata in 4 fasi: (Ismail L., Materwala H, 2019)⁶⁶

⁶² Dal Prà M., 2018, Byzantine Fault Tolerance: la chiave per la blockchain, https://www.electroyou.it/m_dalpra/wiki/byzantine-fault-tolerance-la-chiave-per-la-blockchain, (consultato il 26/11/2020).

⁶³ Bitcoinwiki.org, 2020, PBFT, <https://it.bitcoinwiki.org/wiki/PBFT>, (consultato il 26/11/2020).

⁶⁴ Paris C., 2020, Blockchain, gli algoritmi del consenso: che cosa sono e a cosa servono, <https://www.agendadigitale.eu/documenti/blockchain-gli-algoritmi-del-consenso-che-cosa-sono-e-a-cosa-servono>, (consultato il 26/11/2020).

⁶⁵ Gallone M., 2017, Blockchain | Il problema dei generali bizantini rivoluziona l'economia, <https://blockantifragile.com/blockchain-problema-general-bizantini>, (consultato il 26/11/2020).

⁶⁶ Ismail L., Materwala H, 2019, *Ibidem*, Pag. 36

- 1) Un client invia una richiesta al nodo leader per eseguire una transazione.
- 2) Il nodo leader raccoglie le richieste di transazione dei client e le raggruppa in un blocco, tale blocco viene trasmesso ai nodi di backup.
- 3) Ogni nodo di backup verificherà le transazioni e creerà un blocco di transazioni valide, il nodo quindi calcola l'hash del blocco e lo trasmette agli altri nodi.
- 4) Un nodo attende che $2/3$ dei nodi rispondano con lo stesso hash, se il nodo riceve la stessa risposta il blocco viene aggiunto al libro mastro.

Nelle reti PBFT non è necessario convalidare ogni transazione in quanto tutti i nodi della rete sono in consenso sullo stato generale della rete, rendendo il processo di validazione delle transazioni meno intensivo dal punto di vista computazionale, quindi meno energia necessaria per elaborare le transazioni.

La Byzantine Fault Tolerance (BFT) è la proprietà di un sistema a resistere ai fallimenti dovuti al Problema dei Generali Bizantini, risulta un sistema in grado di continuare ad operare anche se alcuni nodi falliscono o agiscono in modo disonesto.

Non esiste una soluzione singola o ufficiale al PBFT, ad esempio il PoW non è un BFT al 100%, ma dimostra di essere uno degli algoritmi più robusti ed affidabili grazie al costoso processo dei miner e le tecniche crittografiche adottate. (Binance Academy, 2020)⁶⁷

2.3.7 Round Robin – RR

Il modello di consenso Round Robin (RR) consente ai nodi di generare blocchi un turno alla volta per ciascun nodo, se un nodo deve pubblicare un nuovo blocco e non è ancora il suo turno, il sistema emetterà un certo limite di tempo a questo nodo per evitare di fermare il sistema.

Il sistema darà la possibilità al successivo nodo disponibile nella coda di pubblicare il suo nuovo blocco, in questo modello è assicurato che ciascun nodo ottenga il suo rispettivo turno da attendere e nessun nodo può prevaricare su altri per pubblicare blocchi. RR è più conveniente di un puzzle crittografico e consuma meno energia.

⁶⁷ Binance Academy, 2020, La Byzantine Fault Tolerance Spiegata, <https://academy.binance.com/it/articles/byzantine-fault-tolerance-explained>, (consultato il 26/11/2020).

Viene solitamente utilizzato in una Blockchain autorizzata poiché necessita di molta fiducia tra i nodi; nelle permissionless i nodi disonesti aggiungerebbero sempre più nodi per aumentare i turni e le possibilità di pubblicazione. (Belvedere A., 2019)⁶⁸

2.3.8 Altri algoritmi di consenso

Nel corso degli anni, con l'avanzare della blockchain, risultando sempre più interessante e robusta, si sono sviluppati tanti altri algoritmi di consenso.

Andrò ora ad elencare brevemente i più importanti: (Anwar H., 2018)⁶⁹

- Proof of Importance: si basa su un sistema di punteggio, dove i punti vengono accumulati in base alle transazioni effettuate in un periodo di trenta giorni.
- Proof of Capacity: un aggiornamento del PoW, si mette a disposizione la potenza del proprio dispositivo e l'archiviazione del disco rigido prima di iniziare la fase di mining.
- Proof of Burn: per salvaguardare la criptovaluta PoW, una parte delle monete verrà “bruciata” ovvero inviata ad un indirizzo “mangiatore” il quale non potrà spendere queste monete per nessuno scopo; queste monete saranno tracciabili su un libro mastro conservate in caso di attacco.
- Proof of Weight: un aggiornamento del PoS, vengono utilizzati dei “fattori ponderati” come alternativa alla quantità di moneta posseduta.
- Leased Proof of Stake: vi è la possibilità di affittare le proprie monete per trarne un vantaggio, dando la possibilità alle persone con un numero limitato di monete di poter partecipare al processo di validazione dei blocchi.
- Simplified Byzantine Fault Tolerance: utilizza Smart Contract per la registrazione e l'archiviazione di risorse in modo sicuro.
- Delegated Byzantine Fault Tolerance: sistema molto simile al DPoS, utilizzando un processo di voto i nodi hanno il diritto di votare dei delegati indipendentemente dalla quantità di valuta in loro possesso; a sua volta viene scelto un

⁶⁸ Belvedere A., 2019, Tendermint PoS basato su BFT, <https://www.bitconio.net/cryptoeconomy/alt-coins/proof-of-stake-tendermint>, (consultato il 27/11/2020).

⁶⁹ Anwar H., 2018, Consensus Algorithms: The Root of Blockchain Technology, <https://101blockchains.com/consensus-algorithms-blockchain>, (consultato il 27/11/2020).

oratore in modo casuale che creerà un blocco di transazioni e successivamente il delegato dovrà convalidarlo secondo il sistema BFT.

2.4 Confronto algoritmi di consenso

Gli algoritmi di consenso utilizzati da varie piattaforme blockchain sono principalmente guidati dal tipo di applicazioni che la piattaforma si aspetta di offrire, garantendo la natura delle reti blockchain così versatile.

Le piattaforme senza autorizzazione raggiungono il consenso tra un numero molto elevato di nodi non attendibili utilizzando complessità computazionali; mentre le blockchain autorizzate utilizzano un modello meno scalabile ma con una velocità di transazione maggiore.

È un processo sofisticato quello della scelta del modello adeguato ad una particolare rete, ed è necessario considerare tante variabili.

Di seguito ho realizzato una tabella di confronto che riassume le principali caratteristiche dei più importanti algoritmi di consenso adottati nelle blockchain, evidenziando i vantaggi e gli svantaggi, la tipologia di blockchain adottata, il consumo energetico, la velocità con cui le transazioni vengono validate con un relativo esempio di applicazione nel mondo della blockchain.

Tabella 2.1: Confronto algoritmi di consenso. (Khan D., Jung T. L., Hashmani A. M., Waqas A., 2020)⁷⁰

Algoritmo	Vantaggi	Svantaggi	Tipo Blockchain	Risparmio Energia	Velocità Transazioni	Esempio
Proof of Work (PoW)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Difficoltà ad eseguire attacchi informatici 2. Aperto a tutti con un hardware 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcolo computazionale intensivo, consumo energetico, hardware sofisticato 2. Possibilità di attacco 51% se si ha potenza sufficiente 	Permissionless	No	Bassa	Bitcoin
Proof of Stake (PoS)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcolo computazionale più efficiente del PoW 2. Aperto a tutti in possesso di criptovaluta 3. Gli stakeholders controllano il sistema 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Gli stakeholders controllano il sistema 2. Nessuna prevenzione nella formazione di una centralità 3. Possibilità di attacco 51% se si ha valuta sufficiente 	Permissionless	Parziale	Media	Ethereum
Delegated PoS	<ol style="list-style-type: none"> 1. I delegati sono incentivati a restare onesti (identità) 2. Calcolo computazionale più efficiente del PoW 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diversità tra i nodi rispetto a PoW/PoS 2. Vincoli operativi tra i nodi 3. I delegati potrebbero essere corrotti 	Permissionless	Parziale	Media	Bitshares
Proof of Authority (PoA)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tempi di conferma rapidi 2. Velocità nella generazione di blocchi 3. Utilizzabile insieme ad altri modelli di consenso 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fiducia (Trust) che l'attuale nodo non sia compromesso 2. Porta ad errori dovuti alla centralizzazione 3. La reputazione di un nodo può essere compromessa 	Permissioned	No	Alta	Ethereum
Proof of Elapsed Time (PoET)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcolo computazionale più efficiente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessità un hardware 2. Possibilità di compromettere il sistema del tempo 3. Impossibile avere un tempo perfettamente sincronizzato 	Permissioned	Parziale	Media	Hyperledger
Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Velocità nel validare i blocchi 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necessità che 2/3 dei nodi raggiungano il consenso per approvare un nodo. 	Permissioned	Si	Alta	Hyperledger
Round Robin (RR)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calcolo computazionale basso 2. Semplice funzionamento 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Richiesta di elevato Trust tra i nodi pubblici 	Permissioned	No	Media	MultiChain

Come si può notare ciascun algoritmo di consenso è utilizzato in base alla funzionalità della blockchain, è quindi necessario capire lo scopo che si vuole raggiungere adottando tale tecnologia e di conseguenza scegliere il meccanismo di consenso migliore per raggiungere il risultato desiderato.

⁷⁰ Khan D., Jung T. L., Hashmani A. M., Waqas A., 2020, *Ibidem*, pag. 40

CAPITOLO 3 - Applicazioni della blockchain

In questo capitolo illustrerò le possibili applicazioni della blockchain in vari ambiti, con relativi esempi di implementazioni che hanno dimostrato la crescente potenzialità che possiede questa tecnologia innovativa.

3.1 I principali ambiti applicativi della blockchain

Di seguito vengono analizzati i principali ambiti applicativi in cui la blockchain è stata implementata, cercando di migliorare le performance rispetto alla struttura tradizionale finora utilizzata.

La maggior parte degli autori classifica le applicazioni blockchain in ambito finanziario, poiché le criptovalute rappresentano una percentuale notevole delle reti blockchain esistenti; in realtà vi sono molte più applicazioni dove la blockchain potrebbe portare innovazione. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)⁷¹

3.1.1 Blockchain per Finanza e Banche

I settori dove sono state sviluppate principalmente le applicazioni della blockchain sono la finanza e l'economia, eliminando intermediari per la gestione di transazioni, riducendo i costi delle commissioni ed aumentando la velocità e l'affidabilità con cui avvengono le transazioni.

Ciò ha permesso alla blockchain di farsi strada in questo settore come servizio alle imprese, regolamento finanziario degli asset, previsioni finanziarie e transazioni economiche, in particolare tramite l'uso di criptovalute.

L'utilizzo di questa tecnologia come sistemi di trasferimento ed archiviazione del valore ha presentato diversi vantaggi tecnici, in quanto per i privati ha permesso una maggiore sicurezza in termini di privacy e controllo sulle risorse finanziarie personali; nonostante i pagamenti in criptovaluta risultano estremamente difficili da falsificare è

⁷¹ Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, *Ibidem*, pag. 32

necessario sottolineare che questi benefici si applicano solo se l'individuo si comporta in modo responsabile con le proprie risorse digitali. (Mattila J., 2016)⁷²

La tecnologia può anche migliorare l'efficienza di strutture esistenti di trasferimento di valore, come banche e società di carte di credito, riducendo i tempi burocratici dei regolamenti tra banche.

Garantendo la creazione di record distribuiti ed immutabili, resistenti alla censura di qualsiasi contenuto, è risultata utile per i record di proprietà di qualsiasi entità, dalla moneta come natura digitale alla proprietà fisica.

Diventata famosa proprio per lo scambio di criptovalute la blockchain è conosciuta dalla maggioranza come Bitcoin, che come precedentemente è già stato detto nel capitolo 1, non è altro che una delle tante possibili blockchain, di fatti non esiste soltanto la rete Bitcoin utilizzata come scambio di valuta digitale ma nel corso del tempo sono nate diverse monete, ciascuna con una sua caratteristica ed un suo valore, utilizzata in reti diverse con regole differenti.

Bitcoin o BTC è l'unità di valuta del sistema Bitcoin, le transazioni una volta validate dai miner vengono aggiunte in blocchi e registrate nel Libro Mastro, distribuito, consultabile a tutti i nodi della rete. Come già ampiamente detto, vengono utilizzati sistemi di crittografici che permettono di risolvere il problema del Double Spending, tramite l'hash il trasferimento del singolo Bitcoin è univoco e si conosce la storia di quella moneta in tutti i suoi passaggi di proprietà, è impossibile duplicarla o falsificarla; i miner nella risoluzione del problema matematico vengono ricompensati in Bitcoin quando viene mostrata la Prova di Lavoro.

Da quando sono nati i Bitcoin il loro valore è aumentato in maniera esponenziale, il primo tasso di cambio fu il 5 ottobre 2009 e risultava il valore di un dollaro a 1309 BTC; il Bitcoin raggiunse per la prima volta i mille dollari il 27 novembre 2013 per raggiungere i 20.000 dollari nel 17 dicembre 2017 (Wikipedia.org, 2020)⁷³; ad oggi la capitalizzazione complessiva del mercato di bitcoin ha raggiunto quasi 15 miliardi di dollari. (Pagano M., 2020)⁷⁴

⁷² Mattila J., 2016, *The Blockchain Phenomenon, Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE)*, University of California, Berkeley.

⁷³ Wikipedia.org, 2020, Bitcoin, https://it.wikipedia.org/wiki/Bitcoin#Evoluzione_del_prezzo, (consultato il 25/11/2020).

⁷⁴ Pagano M., 2020, Bitcoin: un valore inestimabile per i soliti noti, <https://www.trend-online.com/prp/bitcoin-valore>, (consultato il 25/11/2020).

Il Bitcoin dalla sua nascita ha visto si un incremento della sua valuta, ma ha avuto anche i suoi momenti di difficoltà, in particolare alla fine del 2017 si è entrati nella fase di “disillusione dell’hype cycle di Gartner”, nascono le prime perplessità sul potenziale della blockchain facendo oscillare il suo valore e diventando uno strumento di speculazione finanziaria.

Inoltre i limiti tecnologici rendono difficoltoso il processo di crescita della rete, in quanto all’aumentare della dimensione della rete, aumentano il numero di transazioni rendendo il processo di mining più complesso in termini computazionali e di consumo energetico, rallentando, infine, l’elaborazione di transazione. (Vella G., 2019)⁷⁵

Il 2018 è stato caratterizzato da un crollo di capitalizzazione del Bitcoin, che successivamente, grazie agli sforzi della community di sviluppatori, si è riusciti a far ricrescere la rete migliorando la tecnologia.

Tra le principali banche europee nasce il progetto “we.trade” per la gestione delle transazioni nazionali ed internazionali in Europa, tale piattaforma basata su Hyperledger Fabric utilizza gli Smart Contract per interconnettere clienti, fornitori e banche, senza la necessità di una relazione pregressa tra gli utenti. (Portale V., 2019)⁷⁶

In seguito tratterò in maniera approfondita la tematica degli smart contract nell’ambito del Supply Chain Management.

Dal punto di vista della finanza sono molteplici i progetti sviluppati negli ultimi anni: (Renga F., 2019)⁷⁷

- Progetto di Santander in collaborazione con Ripple: si occupa della gestione dei pagamenti interbancari o la creazione di servizi per semplificare i trasferimenti tra valute diverse.
- Nasdaq: è una soluzione per migliorare lo scambio di titoli finanziari.
- World Bank è una versione privata della rete Ethereum utilizzata per l’emissione dei bond.

⁷⁵ Vella G., 2019, La storia dei Bitcoin: tra passato e futuro della Blockchain, https://blog.osservatori.net/it_it/bitcoin-storia-blockchain, (consultato il 25/11/2020).

⁷⁶ Portale V., 2019, Le applicazioni della Blockchain: i 5 settori più promettenti, https://blog.osservatori.net/it_it/applicazioni-blockchain, (consultato il 25/11/2020).

⁷⁷ Renga F., 2019, L’impatto della Blockchain nel Finance e nelle assicurazioni, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-insurance-finance, (consultato il 29/11/2020).

- Intesa Sanpaolo: nel 2017 ha sviluppato sperimentalmente un’iniziativa per sfruttare l’immutabilità e la trasparenza della blockchain per la gestione di dati, documenti finanziari e certificati di garanzie bancarie.
- Nascono inoltre altri progetti per la gestione dell’identità con lo scopo di ridurre i costi del processo di identificazione dei clienti, migliorare la tracciabilità degli assegni o delle donazioni, permettere la gestione delle votazioni da remoto nelle assemblee degli azionisti.

3.1.2 Blockchain nelle Assicurazioni

L’utilizzo della blockchain permette di accedere in tempo reale ad una grande quantità di dati, monitorare i mutamenti degli stessi che vengono elaborati in ogni istante ed intervenire tempestivamente su eventuali tentativi di frode sui dati; ciò permette di offrire al cliente servizi e prodotti sicuri, grazie alla reperibilità di dati sicuri sui propri clienti nonché sulle loro preferenze e priorità. (Hamish T., 2017)⁷⁸

In Italia si è realizzato un progetto pilota realizzato con IVASS (Istituto per la Vigilanza sulle Assicurazioni), CeTIF (Università Cattolica), Reply e Aon Benfield Italia S.P.A, che ha coinvolto quattro compagnie assicurative come Mediolanum Assicurazioni, Cargeas, Nobis Filo Diretto e Reale Mutua, ed inoltre tre banche: Banca Mediolanum, Banca Popolare di Sondrio e UBI Banca. Dopo sei mesi di sperimentazione sono state realizzate, nel mercato italiano, tre tipologie di polizze parametriche legate al mondo dei viaggi: copertura del rischio maltempo, ritardo dei voli aerei e smarrimento del bagaglio. Il progetto prevede la creazione di polizze smart ed istantanee all’interno della rete Insurance Blockchain Sandbox, un ambiente controllato che permette di utilizzare prodotti e servizi assicurativi basati sulla tecnologia blockchain.

Il risultato di questo progetto ha potuto confermare una riduzione dei costi operativi nella fase di apertura sinistri e liquidazione del 60% rispetto ad un prodotto assicurativo tradizionale; inoltre con l’utilizzo di smart contract è stato possibile rendere automa-

⁷⁸Hamish T., 2017, How firms can overcome the obstacles blocking their path to blockchain, https://www.ey.com/en_gl/financial-services-emeia/global-blockchain-benchmarking-study-2017, (consultato il 29/11/2020)

tizzata l'esecuzione dei contratti in caso di sinistro, ottimizzando il processo di emissione e gestione delle polizze con una liquidazione immediata e certa del danno agli assicurati. (Bosco B., 2020)⁷⁹

Allianz Global Corporate & Speciality SE (Agcs) ha sperimentato con successo la tecnologia blockchain per un programma assicurativo denominato “captive” che include il trasferimento di contatti tra paesi, migliorando l'efficienza delle transazioni assicurative aziendali a livello globale. Questa blockchain si basa sul framework Hyperledger Fabric 1.0, permette di ridurre i tempi di stipulazione ed emissione della polizza, pagamento del premio, valutazione del sinistro e rilascio della liquidazione. (Frollà A., 2017)⁸⁰

“L'elaborazione automatizzata sostituisce lo scambio di migliaia di e-mail e file di dati. Ogni processo è trasparente e può essere monitorato in tempo reale. I nostri clienti traggono vantaggio da una maggiore velocità, affidabilità e verificabilità”, spiega Isabella Brom, EY Project Manager.

In Italia sono stati sviluppati altri progetti riguardanti l'adozione della blockchain nelle assicurazioni:

- Il consorzio internazionale B3i (Blockchain Insurance Industry Initiative).
- Progetto legato al settore dei contenziosi nell'RC auto promosso da ANIA.
- AXA sviluppa Fizzy, una polizza che sfrutta Ethereum e gli smart contract per offrire in automatico indennizzo in caso di ritardo di un volo aereo.

⁷⁹ Bosco B., 2020, Le prime polizze assicurative su blockchain sono dedicate ai viaggiatori, <https://www.insuranceup.it/it/business/le-prime-polizze-assicurative-su-blockchain-sono-dedicate-ai-viaggiatori>, (consultato il 29/11/2020).

⁸⁰ Frollà A., 2017, Assicurazioni, Allianz lancia la blockchain per il mercato “captive”, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/assicurazioni/assicurazioni-allianz-lancia-la-blockchain-mercato-captive>, (consultato il 29/11/2020).

3.1.3 Blockchain per pagamenti digitali e retail

Una prospettiva interessante dei sistemi di trasferimento di valore basati su blockchain è la possibilità di effettuare transazioni molto piccole, potenzialmente minime come una frazione di centesimo, economicamente fattibili.

Nei sistemi di transazione di pagamento convenzionali, ci sono costi fissi e limiti tecnologici che finora hanno reso tali operazioni irrealizzabili su larga scala; i “nanopagamenti” possono abilitare modelli di business completamente nuovi per i creatori di contenuti online, dove i clienti potrebbero essere addebitati per articoli di notizie, video ed altri contenuti simili su un pagamento diretto in base alla visualizzazione. (Mattila J., 2016)⁸¹

L'utilizzo di nanopagamenti potrebbe avere un impatto notevole sulla logistica in creazione di contenuti, che attualmente è sfruttata da tanti siti di upload media online; è possibile eliminare titoli “clickbait”, notizie utilizzate solo per attirare più visualizzazioni per i banner pubblicitari posti sul sito.

Un altro aspetto interessante potrebbe essere l'utilizzo di nanopagamenti come filtro antispam per le e-mail, il quale risulterebbe molto difficile da aggirare; impostando un prezzo su scala nanometrica per l'invio di un messaggio di posta elettronica il costo sarebbe insignificante, ma risulterebbe in proporzione proibitivo quando si tenta quotidianamente di inviare milioni di e-mail di spam.

Un'ulteriore opportunità della blockchain nei pagamenti digitali risiede nella compravendita immobiliare, avendo la capacità di condividere database e processi, è possibile condividere i dati immobiliari che risultano fondamentali per il processo di acquisto e vendita di case. Ogni transazione immobiliare passa attraverso il servizio di quotazione multipla (Multiple Listing Service – MLS), che tiene traccia di quali agenti rappresentano quali clienti, contratti, accordi di quotazione, valutazioni ed altro. La blockchain potrebbe fornire un database dei titoli per l'intero paese per archiviare in modo sicuro ed accessibile i record storici dei titoli, snellendo il processo di trasferimento del titolo in una vendita di proprietà; ancora oggi nonostante la digitalizzazione, risultano archiviati a livello locale ed inaccessibili in quanto offline. (Virbahu N. J., Devesh M., 2018)⁸²

⁸¹ Mattila J., 2016, *Ibidem*, pag. 51

⁸² Virbahu N. J., Devesh M., 2018, Blockchain for Supply Chain and Manufacturing Industries and Future It Holds!, *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*.

Nel sistema di vendita al dettaglio è necessario ottenere la fiducia da parte dell'acquirente, fondamentale per garantire un acquisto sicuro attraverso il marketplace; un esempio lampante è dato da Amazon che ad oggi risulta il retailer numero uno al mondo. Nel 2014 nasce OpenBazaar, una piattaforma di e-commerce basata su blockchain e completamente distribuita che consente di effettuare transazioni senza l'ausilio di un intermediario, non essendoci terziari vengono azzerati i costi delle operazioni o registrazioni di negoziazione tra acquirenti e venditori; la sicurezza e la fiducia sono assicurate dal sistema blockchain con l'ausilio degli smart contract.

Nessuna parte ha il potere di censurare acquisti o congelare pagamenti associati a transazioni, se necessario e se le parti sono in accordo possono assumere un moderatore di loro gradimento che si occuperà di supervisionare il commercio tra di loro e risolvere eventuali problemi di controversie che potrebbero sorgere. In tal caso l'acquirente, il venditore ed il moderatore hanno tutti la propria chiave crittografica, due delle quali necessarie per l'esecuzione del contratto che avverrà con l'utilizzo di criptovalute. (Mattila J., 2016)⁸³

Un'applicazione della blockchain nelle vendite di calzature ecosostenibili è stata implementata dal brand Womsh, azienda veneta di sneakers che con l'ausilio della blockchain Genuine Way offre al consumatore traccia dell'autenticità e della qualità dei suoi prodotti italiani, realizzati secondo tradizione, rispettando l'ambiente ed i valori etici del brand. (Costa C., 2020)⁸⁴

“Oggi non si acquista solo un prodotto, ma anche la storia che esso racconta e i valori che trasmette. Abbiamo certificazioni ufficiali e diversi documenti che raccontano e attestano la nostra storia e i nostri valori. Li vogliamo caricare sul database creato da Genuine Way. Stiamo inoltre studiando un modo creativo per inserire il QR Code sulle nostre sneakers” spiega Gianni Dalla Mora, fondatore del brand Womsh.

La blockchain potrebbe essere un'opportunità per l'acquirente di essere più consapevole ed attento nell'individuare informazioni veritiere da quelle ingannevoli, ad oggi la fiducia del cliente è fondamentale per ottenere un mercato trasparente.

⁸³ Mattila J., 2016, *Ibidem*, pag. 51

⁸⁴ Costa C., 2020, Made in Italy: la Blockchain di Genuine Way certifica le sneakers Womsh, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/industria4-0/made-in-italy-la-blockchain-di-genuine-way-certifica-le-sneakers-womsh>, (consultato il 02/12/2020).

3.1.4 Blockchain nella sanità

È possibile stabilire cartelle cliniche universali aggregando ed inserendo la storia sanitaria delle persone su un registro blockchain, affinché qualsiasi fornitore di assistenza sanitaria possa accedere ed effettuare eventuali aggiornamenti.

MedRec è un prototipo che utilizza blockchain, ha lo scopo di migliorare le cartelle cliniche elettroniche e consentire l'accesso sicuro alle cartelle dei pazienti da parte di qualsiasi clinica, ospedale, o altri fornitori di servizi sanitari che ne abbia bisogno, riducendo il tempo di attesa, denaro e la duplicazione nelle procedure, con lo scopo di rendere il processo meno confuso e migliorare così l'interoperabilità e lo scambio di informazioni tra record distribuiti di molte strutture e fornitori diversi.

L'obiettivo con MedRec è quello di fornire ai pazienti e ai loro fornitori un accesso completo alla loro intera storia medica, in particolare per quei fornitori che non hanno mai esaminato quel determinato paziente; inoltre, se i pazienti desiderano concedere l'accesso delle loro cartelle cliniche personali ai ricercatori i loro dati sarebbero forniti in forma anonima per essere utilizzati nella ricerca che potrebbe rendere possibili scoperte mediche più velocemente di quanto lo siano ora. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)⁸⁵

Con l'adozione della blockchain non solo è possibile facilitare lo sviluppo di nuovi farmaci rendendo i risultati dei pazienti più accessibili, ma potrebbe aiutare alla riduzione delle implicazioni dovute alla presenza sul mercato di farmaci contraffatti che attualmente costano alle aziende farmaceutiche circa 200 miliardi di dollari in perdite annue. (Virbahu N. J., Devesh M., 2018)⁸⁶ Molti farmaci, in particolare biologici, spediti dal produttore al magazzino, devono rimanere entro un determinato intervallo di temperatura, con la tecnologia blockchain questo può essere programmato attivando un avviso quando la temperatura diventa troppo alta o bassa così da poter seguire il farmaco in tutta la sua storia, dalla produzione fino alla spedizione per il cliente finale, fornendo una tracciabilità dei farmaci è possibile determinare la provenienza lungo tutto il percorso riducendo le perdite, migliorando la sicurezza dei consumatori. (Binance Academy, 2020)⁸⁷

⁸⁵ Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, *Ibidem*, pag. 32

⁸⁶ Virbahu N. J., Devesh M., 2018, *Ibidem*, pag. 55

⁸⁷ Binance Academy, 2020, Casi d'Uso della Blockchain: Sanità, <https://academy.binance.com/it/articles/blockchain-use-cases-healthcare>, (consultato il 26/11/2020).

3.1.5 Blockchain nel Agrifood

Le caratteristiche della blockchain, in particolare tracciabilità e trasparenza, possono essere applicate nell'ambito dell'agrifood per tracciare tutta la storia della materia prima, dalla raccolta del frutto fino alla spedizione per il cliente.

Con l'impiego della blockchain i prodotti possono essere monitorati in tempo reale durante tutto il loro percorso di vita su tutta la supply chain, dagli agricoltori ai trasformatori, dalla logistica ai distributori e sino al retail.

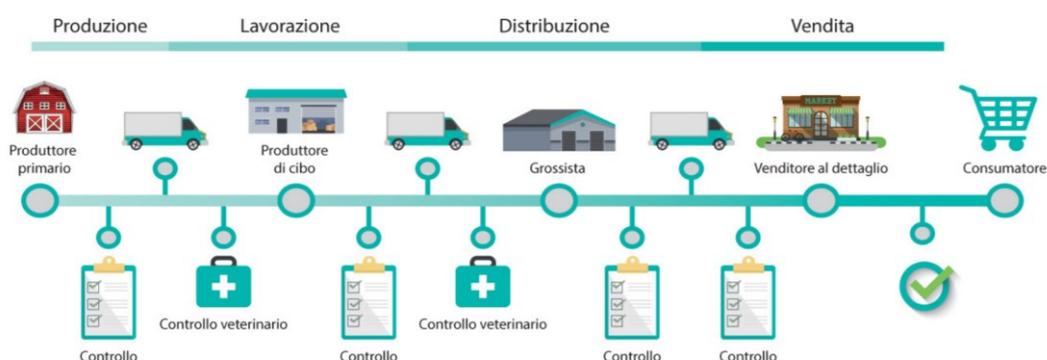


Fig 3.1: Esempio di applicazione della blockchain nell'agrifood (RuralHack, 2019)⁸⁸

Questo processo porta vantaggi sia ai produttori che ai consumatori in termini di sicurezza alimentare, è inoltre possibile raccogliere dati e verificare le merci che si muovono in grandi quantità lungo la catena di approvvigionamento, avere un registro immutabile su come, quando e dove il cibo è stato coltivato, imballato, ispezionato, spedito, consentirebbe un miglioramento dal punto di vista della qualità del cibo ed inoltre la rimozione strategica di fattori che potrebbero impattare sulla produttività.

IBM e Walmart hanno cercato di realizzare un progetto volto alla sicurezza alimentare al fine di tracciare ogni singolo passaggio di proprietà dei prodotti che subiscono prima di arrivare sugli scaffali del negozio, si vuole portare trasparenza per consentire di identificare e rimuovere processi che potrebbero compromettere l'intero sistema di produzione. Ciò garantisce le condizioni ideali dall'azienda agricola al mercato ed è possibile individuare rapidamente la fonte in caso di frodi, danni, epidemie, per la sicurezza alimentare, facendo risparmiare tempo, denaro e vite. (Rogerson M., Parry G., 2020)⁸⁹

⁸⁸ RuralHack, 2019, Blockchain per l'agrifood, <http://www.ruralhack.org/wp-content/uploads/2019/05/Blockchain-per-lagrifood..pdf>, (consultato il 30/11/2020).

⁸⁹ Rogerson M., Parry G., 2020, Blockchain: case studies in food supply chain visibility, *Emerald, Supply Chain Management: An International Journal*.

Trusty è la piattaforma blockchain che permette alle aziende agroalimentari di offrire tracciabilità sui prodotti, è possibile accedere tramite lo smartphone all'intera filiera produttiva prima che il prodotto venga messo sulla tavola, dall'approvvigionamento alla distribuzione, dalle materie prime utilizzate, alla data ed al luogo di provenienza. Realizzata su tecnologia IBM Food Trust, una startup Apio ha realizzato questa applicazione con l'obiettivo di rendere capillare la diffusione del sistema di certificazione, migliorando e proteggendo il certificato di eccellenza Made in Italy nel mondo. (Costa C., 2020)⁹⁰

Tale tecnologia può risultare molto importante per il mondo agroalimentare italiano che si contraddistingue nel globo con il sinonimo di qualità, Made in Italy; inoltre grazie alla caratteristica di registro immutabile e condiviso, questa tecnologia è in grado di aumentare la fiducia e la trasparenza all'interno delle filiere produttive come quelle del settore agroalimentare. (Torchiani G., 2020)⁹¹

ViDiTrust consente la verifica dell'autenticità di un documento o un prodotto fisico attraverso un adesivo antitampering chiamato ViseQR il quale consente di tutelare le aziende ed i consumatori, proteggendo l'immagine del brand dai prodotti non autentici e dal loro acquisto; l'applicazione del segno grafico validato in blockchain e posizionato sul prodotto permette la difesa alla contraffazione, garantendo trasparenza e verificabilità da parte dell'utente tramite il proprio smartphone utilizzando la relativa app. (Rando A., 2020)⁹²

Migliorerebbe, inoltre, un aspetto importante che coinvolge tutto il mondo, quale l'impatto ambientale e la sostenibilità; addetti ai lavori del settore agroalimentare, scienziati e politici denunciano da diverso tempo la necessità di correre ai ripari per i numerosi cambiamenti climatici in atto, migliorare la produzione per la sostenibilità del pianeta. La tecnologia blockchain potrebbe trasformare l'intera filiera alimentare per raggiungere una maggior sostenibilità in tutta la catena di approvvigionamento ed aziende come Nestlé, Carrefour, Barilla lavorano nello sviluppo ed attuazione di sistemi per il

⁹⁰ Costa C., 2020, Made in Italy: la Blockchain di Trusty certifica i prodotti agroalimentari, <https://www.blockchain4innovation.it/sicurezza/made-in-italy-la-blockchain-per-certificare-i-prodotti-agroalimentari>, (consultato il 30/11/2020).

⁹¹ Torchiani G., 2020, Data Science e Blockchain per il Made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/agrifood/data-science-e-blockchain-per-il-made-in-italy>, (consultato il 30/11/2020).

⁹² Rando A., 2020, come la blockchain può tutelare il made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/come-la-blockchain-puo-tutelare-il-made-in-italy>, (consultato il 30/11/2020).

controllo e la tracciabilità dei prodotti per migliorare la sostenibilità delle proprie aziende. (Livelli. F.M.R., 2020)⁹³

Un progetto molto interessante è stato sviluppato da EZ LAB e con la Cantina Volpone che cerca di tutelare il Made in Italy tracciando la filiera produttiva del vino; in particolare il vino è una delle eccellenze italiane ed è tra i prodotti maggiormente esportati nel mondo. Questa soluzione è stata realizzata grazie ad un database che contiene il registro di tutte le transazioni che caratterizzano la trasformazione e la produzione del vino, ogni partecipante alla filiera produttiva è nella condizione di verificare e validare ogni singolo passaggio nella produzione del vino. Wine Blockchain EY garantisce in qualsiasi momento di verificare la condizione, la provenienza e le caratteristiche organolettiche del prodotto, con tutti i passaggi che sono stati fatti a partire dalla materia prima fino alla realizzazione e spedizione del prodotto finito. (Bellini M., 2017)⁹⁴

Con l'ausilio di questa tecnologia è possibile controllare la presenza di allergeni o rendere più efficace le operazioni di individuazione e ritiro di lotti compromessi, migliorando il processo di food safety. (Renga. F, 2019)⁹⁵

La blockchain potrebbe inoltre rivelarsi una strategia per la riduzione degli sprechi alimentari, facendo emergere una maggiore consapevolezza di quello che si consuma, un'applicazione in Italia è nata nell'aprile del 2020 dal nome Spesa Sospesa, un progetto che consente l'acquisto, la vendita e la donazione di generi alimentari di prima necessità alle famiglie bisognose; basata sulla blockchain, le imprese del settore agroalimentare, le catene di distribuzione e i produttori locali possono donare o vendere i propri prodotti in eccedenza o scadenza a prezzi ridotti, riducendo sprechi e mettendo la tecnologia al servizio delle persone. (Ben L., 2020)⁹⁶

⁹³ Livelli. F.M.R., 2020, Come la blockchain può garantire maggiore sostenibilità nel settore agroalimentare, <https://www.agrifood.tech/blockchain/blockchain-agroalimentare-sostenibilita>, (consultato il 30/11/2020).

⁹⁴ Bellini M., 2017, Blockchain per la Smart Agrifood: EY presenta Wine Blockchain con EZ LAB a difesa del Vino Made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/agrifood/blockchain-la-smart-agrifood-ey-presenta-wine-blockchain-difesa-del-vino-made-italy>, (consultato il 01/12/2020).

⁹⁵ Renga. F, 2019, Blockchain nell'agrifood: grande opportunità... travestita da moda?, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-agrifood-grande-opportunita, (consultato il 01/12/2020).

⁹⁶ Ben L., 2020, «Spesasospesa», piattaforma per la solidarietà garantita dalla blockchain, <https://www.ilsole24ore.com/art/spesasospesa-solidarieta-garantita-blockchain-ADoRpHQ>, (consultato il 01/12/2020).

3.1.6 Blockchain nella Governance e pubblica amministrazione

I governi nel corso degli anni sono incaricati di gestire e tenere registri ufficiali di cittadini ed imprese, le applicazioni abilitate alla blockchain potrebbero cambiare il modo in cui operano i governi in modo locale. La responsabilità, l'automazione e la sicurezza che la blockchain offre per la gestione dei registri pubblici potrebbero ostacolare la corruzione e rendere più efficienti i servizi governativi.

In particolare, la blockchain potrebbe fungere da piattaforma di comunicazione sicura per l'integrazione di infrastrutture fisiche, sociali ed aziendali in un contesto di una "città intelligente"; la governance della blockchain mira a fornire gli stessi servizi offerti dallo Stato e dalle autorità pubbliche corrispondenti, in modo decentralizzato ed efficiente mantenendo la stessa validità. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)⁹⁷

Un progetto a livello internazionale riguarda Smart Dubai il cui obiettivo è quello di rendere la prima città completamente alimentata dalla blockchain entro il 2021, influenzando molti settori, dall'istruzione alla sanità, catasto e identità digitale. (Maragno G., 2019)⁹⁸

Un altro esempio di applicazione della blockchain nella pubblica amministrazione è il progetto implementato in un comune di Zurigo, in Svizzera. Sono state registrate le identità dei cittadini tramite Uport, una startup che fornisce servizi sulla gestione dell'identità tramite la piattaforma Ethereum; successivamente è stata implementata un'applicazione che consente di garantire ai cittadini il servizio di bikesharing AirBie.

In Italia vi sono molti progetti avviati con l'ausilio della blockchain: Il comune di Bari ha sperimentato la blockchain in un progetto di digitalizzazione del processo di gestione delle polizze fideiussorie; anche il Ministro dell'Economia e delle Finanze ha realizzato due progetti: PoSeID-on, una piattaforma per la gestione e protezione dei dati personali e per SUNFISH, soluzione per la condivisione protetta di dati tra cloud differenti. L'Università di Milano-Bicocca ha introdotto un sistema di blockchain per garantire agli studenti la validità e l'integrità di documenti e certificati ufficiali sul web. La regione Lombardia ha applicato il progetto "Nidi gratis" nel comune di Cinisello Balsamo, per semplificare e velocizzare l'accesso al bando attraverso la piattaforma

⁹⁷ Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, *Ibidem*, pag. 32

⁹⁸ Maragno G., 2019, Blockchain e PA, i casi di successo in Italia e nel mondo, <https://www.agendadigitale.eu/documenti/blockchain-e-pa-i-casi-di-successo-in-italia-e-nel-mondo>, (consultato il 02/12/2020).

blockchain viene infatti verificato in automatico il possesso di tutti i requisiti per l'azzeramento della retta. (CorCom, 2020)⁹⁹

Esempi di tali servizi offrono numerosi vantaggi: la riduzione dei tempi burocratici con la digitalizzazione, il cittadino e le aziende avrebbero una risposta alle loro esigenze in tempi brevi ed in maniera sicura, lo stato avrà un maggior monitoraggio dei principali servizi gestiti dalle varie aziende, garantendo le caratteristiche di trasparenza, tracciabilità ed immutabilità della blockchain; in particolare una soluzione al problema dell'evazione fiscale e della criminalità. (Nonnis W., 2020)¹⁰⁰

Per molti anni il voto elettronico è stato considerato uno sviluppo promettente ed inevitabile che potrebbe accelerare il processo di votazione, semplificare e ridurre il costo delle elezioni e lo sviluppo di democrazie più forti. Tuttavia, i sistemi di votazione elettronico esistente si basa su un'entità centralizzata, caratteristiche che danneggiano la fiducia degli elettori. (Maleddu M., 2020)¹⁰¹

Vi sono diverse problematiche legate al voto elettronico che hanno sempre suscitato perplessità nell'adozione di tale tecnologia: Rischio di violazione dei sistemi e modifica dei dati, furto dell'identità dei votanti, influenza sui risultati delle votazioni, azioni di sabotaggio che porterebbero ad invalidare i voti.

Il voto elettronico con l'ausilio della blockchain potrebbe risolvere tali problematiche rendendo reale l'adozione del voto elettronico, nello specifico con lo scopo di: (Bellini M., 2019)¹⁰²

- Ridurre i rischi di influenza mediatica scorretta utilizzando di strumenti crittografici, filtrando le notizie gestendo la quantità e la qualità delle informazioni.
- Garantire la gestione dell'identità dei partecipanti e verifica dei documenti.

⁹⁹ CorCom, 2020, Blockchain, si muove la PA italiana: ecco le best practice nazionali, <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/blockchain-si-muove-la-pa-italiana-ecco-le-best-practice-nazionali>, (consultato il 02/12/2020).

¹⁰⁰ Nonnis W., 2020, Le applicazioni della blockchain nell'ambito della PA, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/pubblica-amministrazione/le-applicazioni-della-blockchain-in-ambito-pa>, (consultato il 02/12/2020).

¹⁰¹ Maleddu M., 2020, Come utilizzare la blockchain in favore della democrazia partecipativa, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/come-utilizzare-la-blockchain-in-favore-della-democrazia-partecipativa>, (consultato il 03/12/2020).

¹⁰² Bellini M., 2019, Cosa può fare la blockchain per aumentare la sicurezza del voto elettronico, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/pubblica-amministrazione/cosa-puo-fare-la-blockchain-per-aumentare-la-sicurezza-del-voto-elettronico>, (consultato il 03/12/2020).

- Effettuare, data la trasparenza e l'immutabilità, il conteggio dei voti garantendo l'assenza di possibili forme di violazione.

3.1.7 Blockchain per la gestione dell'Energia

Le potenziali applicazioni della blockchain nel settore energetico sono di vasta portata e potrebbero avere un impatto enorme sia in termini di processi che di piattaforme. Ad esempio, la blockchain può ridurre i costi e abilitare nuovi modelli di business, è possibile gestire meglio la complessità della sicurezza dei dati e le proprietà lungo le reti, migliorare la trasparenza e la fiducia del sistema del mercato energetico, garantendo e preservando requisiti di privacy necessari per far funzionare correttamente la rete elettrica e gestire la risposta alla domanda, fornendo un quadro dei processi in base alla fatturazione degli utenti.

La gestione attuale del mercato energetico è di tipo centralizzato, dove gli utenti devono trattare con un ente centrale che produce e/o acquista energia e la rivende ai vari acquirenti. Con l'adozione della blockchain è possibile rendere questo sistema decentralizzato, permettendo ai cittadini e alle imprese di gestire con maggiore autonomia i fabbisogni energetici, adottare fonti di energia rinnovabile, gestire al meglio i carichi, consumi e bilanciamenti della rete, ottenendo un'efficienza complessiva migliore in termini di gestione della rete elettrica. (Bellini M., 2020)¹⁰³

Nasce l'idea di "rete intelligente" definita come Smart Grid, è possibile gestire la rete adottando soluzioni smart conoscendo in dettaglio ed in tempo reale i consumi della distribuzione e dei punti di immissione e prelievo; se in una determinata zona dovesse presentarsi un sovraccarico energetico, sarebbe possibile redistribuire istantaneamente la rete elettrica per evitare eventuali blackout portando all'interruzione della fornitura di energia. Rendere gli utenti più autonomi permette l'utilizzo di apparecchi elettrici in determinate ore del giorno, allo stesso modo è possibile realizzare ad hoc dei business per offrire l'energia ad un costo in funzione della fascia oraria. Il punto focale dello Smart Grid è aumentare la diffusione delle fonti rinnovabili non programmabili, come

¹⁰³ Bellini M., 2020, Energia e blockchain: come cresce il mercato e in quali ambiti applicativi, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/energy/energia-e-blockchain-come-cresce-il-mercato-e-in-quali-ambiti-applicativi>, (consultato il 04/12/2020).

il fotovoltaico o eolico, il quale necessita di avere reti intelligenti per garantire l'utilizzo corretto di energie sostenibili. (Condemi J., 2020)¹⁰⁴

La produzione di energia elettrica da fonti fossili, è una delle principali attività responsabili della produzione di CO2 con conseguenti cambiamenti climatici come il riscaldamento globale. Le istituzioni ed i governi cercano di incentivare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili e non inquinanti come eolico e solare.

Per incentivare un uso più consapevole dell'energia elettrica, l'utente ha la possibilità di diventare prosumer, ovvero essere simultaneamente consumatore e produttore di energia elettrica, adottando impianti di accumulo di energia solare presso le proprie abitazioni; l'energia prodotta da molteplici punti può essere utilizzata ed immessa nella rete, pertanto le reti elettriche devono gestire correttamente l'affluenza di energia da diversi punti, in particolare essendo fonti ad intermittenza non producono elettricità 24 ore su 24 ma solo in presenza di disponibilità della fonte, come vento o sole.

Secondo Confindustria le applicazioni delle Smart Grid sono: (Torchiani G., 2020)¹⁰⁵

- Monitoraggio e raccolta dati da diversi sensori posti sulla rete.
- Controllo e regolazione della distribuzione sulla rete.
- Protezione e sicurezza per migliorare la latenza sulla rete.

Per un corretto funzionamento della Smart Grid è necessario utilizzare gli Smart Metering, sono a tutti gli effetti dei contatori di energia elettrica intelligenti che permettono la lettura e la gestione del contratto di fornitura in modo automatico con l'ausilio di smart contract legati alla blockchain, senza un intervento manuale degli operatori.

Ciascuna comunicazione viene trascritta come transazione nel ledger, questo permette un consumo più razionale dell'energia elettrica, permettendo un risparmio in termini economici e di tempi burocratici. (Blockchain4innovation, 2017)¹⁰⁶

¹⁰⁴ Condemi J., 2020, Smart grid: cosa sono, come funzionano e ambiti applicativi, <https://www.internet4things.it/smart-energy/smart-grid-cosa-sono-come-funzionano-e-ambiti-applicativi>, (consultato il 04/12/2020)

¹⁰⁵ Torchiani G., 2020, Smart grid: cos'è e come funziona la rete elettrica intelligente in Italia, <https://www.energyup.tech/energy-management/smart-grid-cos-e-come-funziona-la-rete-elettrica-intelligente-in-italia>, (consultato il 04/12/2020).

¹⁰⁶ Blockchain4innovation, 2017, Cosa può fare la Blockchain per la Smart Energy, per lo Smart Metering e per l'IoT, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/smart-energy/cosa-puo-fare-la-blockchain-per-la-smart-energy-per-lo-smart-metering-e-per-liot>, (consultato il 04/12/2020).

Secondo alcuni studi, l'utilizzo della blockchain nel campo dell'energia può portare risparmi strutturali anche del 30-60%, avendo un forte impatto sulla sostenibilità ambientale. (Dell'Olio L., 2019)¹⁰⁷

Acea Energia con il progetto Areti, applicata nell'area urbana di Roma ha l'obiettivo di realizzare un modello flessibile per la gestione di domanda ed offerta dell'energia elettrica, le offerte verranno indirizzate al distributore che si occuperà di gestire monitorare i dati e di conseguenza bilanciare la rete. (Bellini M., 2020)¹⁰⁸

Enerbrain si pone l'obiettivo di aumentare l'efficienza energetica e la qualità dell'aria negli edifici installando sensori, tali sensori permettono di rilevare dati ambientali quali temperatura ed emissioni CO2 in tempo reale, trasmettendoli in un sistema informatico si cerca di ridurre così gli sprechi e di migliorare l'ambiente. (Salvadori G., 2019)¹⁰⁹

L'interesse nell'adozione di tale tecnologia ha spinto la commissione europea allo sviluppo del progetto Grid4EU, riunendo un consorzio di 6 enti europei con lo scopo di testare il potenziale delle Smart Grid per migliorare l'integrazione di energie rinnovabili, sviluppare la mobilità elettrica ed aumentare l'efficienza della gestione energetica per la riduzione dei carichi e dei costi. (Torchiani G., 2020)¹¹⁰

Secondo Global Market Insight, il mercato della blockchain nella gestione dell'energia crescerà notevolmente, gli investimenti saliranno al tal punto da stimare un valore complessivo di 3 miliardi di dollari entro 2025. (Gupta A., Bais S. A., 2019)¹¹¹

3.1.8 Blockchain nell'Internet of Things

Internet of Things rivoluziona il concetto di scambio di informazioni e dati, può essere visto come un ecosistema che collega tra loro innovazione tecnologica e culturale grazie all'utilizzo di device che ricevono e trasmettono dati generando flussi di informa-

¹⁰⁷ Dell'Olio L., 2019, Così la blockchain cambia volto al settore energy, https://www.repubblica.it/economia/rapporti/mondo5g/trend-e-stili-di-vita/2019/10/21/news/cosi_la_blockchain_cambia_volto_al_settore_energy-237750527, (consultato il 05/12/2020).

¹⁰⁸ Bellini M., 2020, La blockchain per ottimizzare le reti elettriche: in Europa si guarda a PlatOne, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/energy/la-blockchain-per-ottimizzare-le-reti-elettriche-in-europa-si-guarda-a-platone>, (consultato il 05/12/2020).

¹⁰⁹ Salvadori G., 2019, Cos'è la Smart Energy: soluzioni e startup per l'efficienza energetica, https://blog.osservatori.net/it_it/smart-energy-startup-iot-per-efficienza-energetica, (consultato il 05/12/2020).

¹¹⁰ Torchiani G., 2020, *Ibidem*, pag. 64

¹¹¹ Gupta A., Bais S. A., 2019, Blockchain in Energy Market, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/blockchain-in-energy-market>, (consultato il 05/12/2020).

zioni, i sensori sono gli elementi che consentono di misurare i dati relativi ad un processo o un'attività, ad esempio un accelerometro, un giroscopio, un sensore di temperatura o pressione; le consentono l'interconnessione, i device invece sono fondamentali per la condivisione di informazioni, infine i dati raccolti vengono elaborati da software in modo tale da poter essere leggibili ed utilizzabili a tutti i device che fanno parte dell'ecosistema IoT.

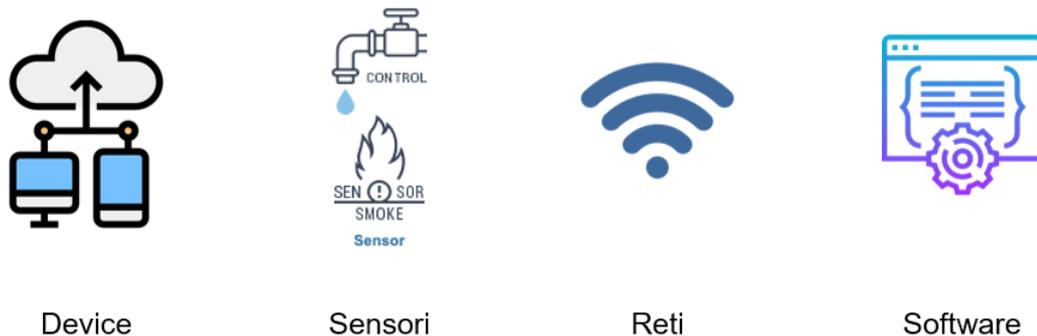


Fig 3.2: Componenti dell'ecosistema Internet of Things. (Miozzi L., 2020)¹¹²

È fondamentale estrarre valore dai dati per rendere più efficiente l'intero ecosistema, migliorando la gestione dei dispositivi e la comunicazione tra gli stessi.

Monitorare le misurazioni dei sensori consente di avere un quadro completo sulle attività ed i processi per valutarne l'efficienza, condividere le informazioni per avere dispositivi integrati tra loro rendendo l'ecosistema interoperabile, questo permette di poter effettuare analisi preventive in modo tale da poter avere una previsione sul futuro. Integrare la blockchain all'Internet of Things consente di passare al cosiddetto Internet of Value, dove il valore fluisce attraverso la rete garantendo l'inalterabilità delle informazioni; le informazioni vengono valorizzate garantendo trasparenza e fiducia attraverso le caratteristiche della blockchain di immodificabilità e sicurezza, tracciando lo scambio di informazioni. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)¹¹³

ADEPT è un progetto realizzato da IBM e Samsung che ha come scopo la realizzazione di un libro mastro pubblico decentralizzato per collegare tra loro una moltitudine di dispositivi, in modo tale che i dispositivi IoT potranno essere in grado di comunicare tra loro in modo autonomo; sono stati realizzati Smart Contract su struttura Ehtereum.

¹¹² Miozzi L., 2020, Blockchain: dall'Internet of Things all'Internet of Value, <https://www.internet4things.it/iot-library/blockchain-dallinternet-of-things-allinternet-of-value>, (consultato il 06/12/2020).

¹¹³ Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, Ibidem, pag. 32

La società tecnologica Autostrade Tech del Gruppo Autostrade per l'Italia ha realizzato in collaborazione con IBM e Fincantieri NexTech il progetto Argo, una piattaforma di monitoraggio delle infrastrutture; complessivamente monitora più di 4.500 infrastrutture che permette di aumentare la precisione e ridurre gli errori per garantire una maggiore sicurezza ed affidabilità, con l'ausilio di sensori e droni con telecamere ad altissima risoluzione. (Della Mura M.T., 2020)¹¹⁴

MindSphere è una piattaforma rilasciata da Siemens che permette di raccogliere dati industriali di macchinari ed inviarle sul cloud in totale sicurezza, successivamente con l'ausilio di applicazioni è possibile tracciare ed ottimizzare la produttività, i consumi energetici e la gestione della manutenzione. (Costa C., 2020)¹¹⁵

I principali obiettivi dell'Internet of Things (IoT) sono quelli di migliorare la qualità della vita delle persone ed offrire vantaggi ai consumatori ed alle aziende, dalla riduzione del consumo di risorse energetiche alla prevenzione di guasti, dal potenziamento della sicurezza allo sviluppo di automazione nelle attività quotidiane, con l'adozione di una capacità di raccolta ed analisi di dati in tempo reale questo rende possibili grandi benefici. (Experis Academy, 2020)¹¹⁶

L'applicazione di tecnologie di Artificial Intelligence (AI) e Machine Learning (ML) con IoT costituiscono un'innovazione nel campo dell'industria, denominata Industrial Internet of Things consente di accedere, analizzare ed utilizzare tutti i dati presenti in un ecosistema; in particolare con l'avvento dell'Industry 4.0 risulta necessario avere una visione globale dell'industria, il controllo della comunicazione e la gestione dell'intera azienda. (Macin M., 2020)

¹¹⁴ Della Mura M.T., 2020, Monitoraggio Infrastrutture: IBM con Autostrade Tech e Fincantieri NexTech, <https://www.internet4things.it/smart-city/monitoraggio-infrastrutture-ibm-con-autostrade-tech-e-fincantieri-nexttech>, (consultato il 06/12/2020).

¹¹⁵ Costa C., 2020, Con l'IIoT, Siemens supporta la ripartenza del manifatturiero italiano, <https://www.internet4things.it/smart-manufacturing/con-iiot-siemens-supporta-la-ripartenza-del-manifatturiero-italiano>, (consultato il 06/12/2020).

¹¹⁶ Macin M., 2020, Monitoraggio industriale e Industrial Internet of Things, <https://www.internet4things.it/industry-4-0/monitoraggio-industriale-e-industrial-internet-of-things>, (consultato il 06/12/2020).

3.1.9 Blockchain nella Supply Chain

Con l'avvento dell'Industry 4.0 è diventato fondamentale per le aziende sviluppare ed adottare tecnologie in grado di supportare la trasformazione industriale a livello distrettuale e di filiera.

Grazie alla blockchain è possibile sfruttare la logica decentralizzata per supportare la filiera produttiva, in particolare aumentare l'efficienza della produzione, logistica e Supply Chain. Adottare la blockchain nel settore manifatturiero consente di portare la logica del "Trust", preservando il dato e la sicurezza dello stesso, disponendo di massima affidabilità in termini di gestione dell'identità e dell'affidabilità.

3.1.10 Altri ambiti applicativi

Di seguito descrivo rapidamente altre possibili applicazioni della blockchain: (Blockchain4innovation, 2019)¹¹⁷

- Educazione: la blockchain può risolvere problemi di vulnerabilità, sicurezza e privacy in caso di ambienti di apprendimento, viene utilizzata, ad esempio, per archiviare documenti relativi alla valutazione degli studenti; gli insegnanti possono così aggiungere un blocco nella rete memorizzando i risultati di apprendimento degli studenti. Anche la gestione dei certificati di istruzione può essere migliorata tramite la blockchain, migliorando la sicurezza dei dati e la fiducia tra infrastrutture digitali, e per la gestione dei crediti formativi. Inoltre ottenendo dati sull'andamento accademico è possibile analizzarli ed ottenere informazioni per migliorare il sistema educativo.

- Musica: la blockchain è uno strumento per poter risolvere molte controversie nella gestione dei copyright, utilizzando gli smart contract è possibile migliorare la remunerazione dei musicisti per quanto concerne lo scambio di brani e la loro diffusione, inoltre i contenuti sono memorizzati ed immutabili.

- Sport: apre le porte ad un nuovo possibile business, decentralizzando il processo di finanziamento di un atleta, ad esempio i suoi fan ed i supporter possono acquistare una

¹¹⁷ Blockchain4innovation, 2019, Blockchain: i benefici concreti e le applicazioni più promettenti per 27 settori, <https://www.blockchain4innovation.it/iot/blockchain-benefici-concreti-le-applicazioni-piu-promettenti-27-settori>, (consultato il 07/12/2020).

partecipazione finanziaria che può assumere un valore in funzione del rendimento e della carriera dello sportivo; di conseguenza l'investitore ha la possibilità di ricevere un guadagno.

- Car Sharing: implementando all'interno dei veicoli un hardware, è possibile ottenere informazioni in tempo reale per migliorare il servizio di car sharing, ad esempio distanze percorse, traffico, migliorando l'efficienza del servizio.

- Compravendita di armi: utilizzando la blockchain è possibile rendere più sicuro il mercato della compravendita delle armi, permettendo di identificare coloro i quali acquistano armi e verificarne la posizione, in particolare uno strumento importante per le forze dell'ordine.

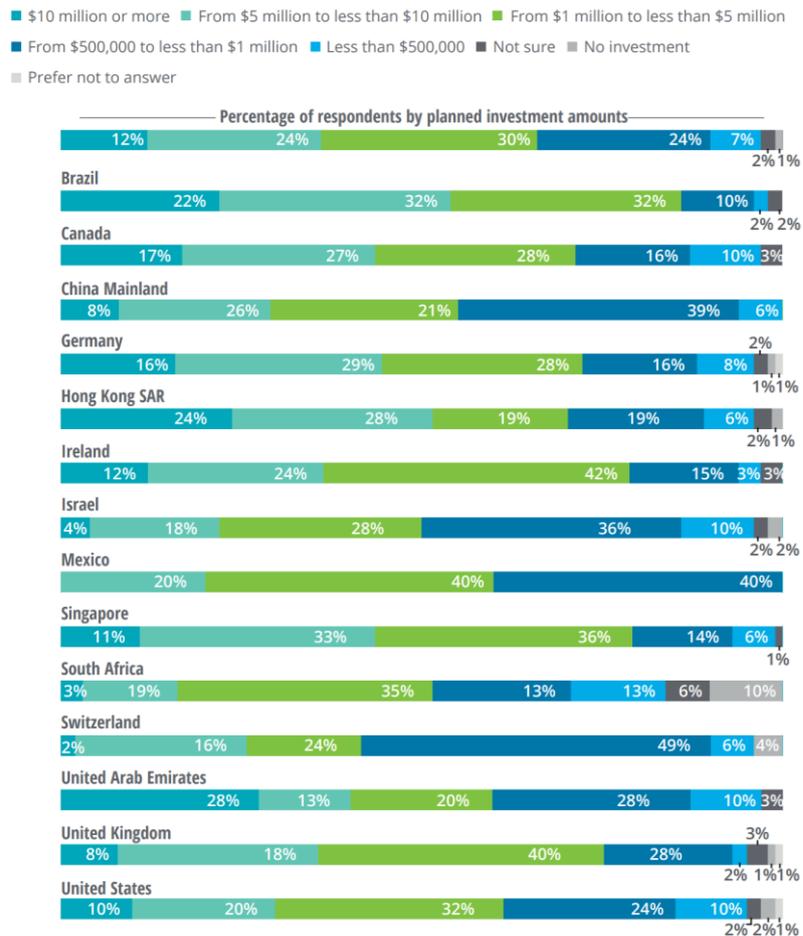
3.2 Investimenti nella Blockchain nel mondo ed in Italia.

Secondo una ricerca svolta dall'Osservatorio Blockchain del Politecnico di Milano, nel 2019 si è registrato un aumento del 56%, rispetto al 2018, degli investimenti nella tecnologia blockchain, in particolare con l'avviamento di oltre 500 progetti nel mondo per un totale di oltre 1050 progetti avviati negli ultimi 4 anni; in particolare si concentrano nel settore finanziario, pubbliche amministrazioni, agroalimentare, supply chain, gestione documenti e pagamenti. Stati Uniti, Corea del Sud e Cina sono i principali paesi ad aver investito in questa tecnologia, mentre in Europa i maggiori investimenti provengono dal Regno Unito e dall'Italia. (Balbio, B., 2020)¹¹⁸

Come già descritto nei paragrafi precedenti, le potenzialità della blockchain sono molteplici, i diversi ambiti applicativi mostrano l'importanza di investire in questa tecnologia che è diventata sempre di più sinonimo di sicurezza nello scambio di informazioni, con un registro decentralizzato ed inviolabile.

Come si può osservare nella Fig 3.3, Deloitte ha sviluppato una ricerca che evidenzia l'interesse suscitato dalla blockchain, stimando in termini di investimenti che le organizzazioni faranno nei prossimi 12 mesi in questa tecnologia:

¹¹⁸ Balbio, B., 2020, Cresce la Blockchain, <https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/cresce-la-blockchain-488-progetti-nel-mondo-plus56-nel-2019-e-grandi-opportunita-per-litalia>, (consultato il 08/12/2020).



Notes: N=1,488. Some totals may not add up to 100% due to rounding. All currency values are in US dollars.
Source: Deloitte's 2020 Global Blockchain Survey.

Fig 3.3: Stima degli investimenti nella blockchain nei prossimi 12 mesi. (Deloitte, 2020)¹¹⁹

In Italia lo scenario della blockchain risulta ancora acerbo, ma è in fase di evoluzione grazie allo sviluppo di nuove applicazioni.

“Nel corso del 2018 le aziende italiane hanno speso in tecnologie blockchain e Distributed Ledger circa 15 milioni di euro, con 150 attività di diverso tipo.” (Portale V., 2019)¹²⁰

Gli investimenti risultano ancora limitati a causa della scarsa conoscenza tecnologica della blockchain, sono necessari corsi di formazione e consulenza strategica orientate a capire le modalità di utilizzo della blockchain, bisogna comprendere la piattaforma più idonea in base all'ambito applicativo.

¹¹⁹ Deloitte, 2020, Deloitte's 2020 Global Blockchain Survey, www2.deloitte.com, (https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6608_2020-global-blockchain-survey/DI_CIR%202020%20global%20blockchain%20survey.pdf).

¹²⁰ Portale V., 2019, La Blockchain parla italiano: investimenti e applicazioni nel nostro Paese, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-in-italia, (consultato il 08/12/2020).

La maggior parte degli investimenti in Italia sono stati rivolti al settore finanziario, agroalimentare, assicurazioni ed utility.

Uno dei maggiori interessi scaturiti nell'ambito della blockchain in Italia è la sua applicazione nella Supply Chain, inoltre, secondo il report di Capgemini Research Institute denominato *“Does blockchain hold the key to a new age of supply chain transparency and trust?”* ci sarà un aumento dei progetti relativi alle Supply Chain basate su blockchain. (Capgemini, 2018)¹²¹

La blockchain nel Supply Chain Management sarà il focus di questo studio, nei capitoli successivi affronterò nel dettaglio molteplici aspetti, partendo da quelli che vengono identificati come i suoi benefici ed analizzando di conseguenza quelle che sono invece le barriere.

Tutto ciò a partire da un'analisi approfondita degli studi realizzati fino ad oggi e che hanno analizzato i diversi aspetti di questa tecnologia.

¹²¹ Capgemini, 2018, Does blockchain hold the key to a new age of supply chain transparency and trust?, (<https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/10/Digital-Blockchain-in-Supply-Chain-Report.pdf>).

CAPITOLO 4 - Supply Chain Management

In questo capitolo descriverò gli aspetti teorici del Supply Chain Management analizzando i vari processi che ne fanno parte, secondo modelli proposti nel corso degli anni; in particolare, presenterò varie tecniche utilizzate per ciascun processo.

4.1 Supply Chain Management

Negli ultimi trent'anni il mondo delle imprese industriali è cambiato notevolmente e ciò ha comportando una profonda trasformazione dell'organizzazione interna delle imprese e delle relazioni esterne; le imprese devono relazionarsi in catene di fornitura (Supply Chain) o in veri e propri network per affrontare con successo la competizione del mercato, rispondendo con anticipo ai cambiamenti richiesti dai clienti.

Non è facile fornire una definizione univoca di Supply Chain Management, nel 1982 Oliver e Webber pubblicano "Supply-Chain Management: Logistics Catches up with Strategy" dove per la prima volta in letteratura appare il termine Supply Chain Management. Christopher (2005) definisce il SCM come *"la gestione a monte e a valle di fornitori e clienti in modo da creare valore aggiunto al mercato finale al minor costo possibile considerando l'intera supply chain"*.

Partendo da questo concetto si può affermare che il Supply Chain Management si focalizza sulle relazioni distribuite tra monte e valle dell'azienda, legando la rete di fornitori con il sistema di distribuzione ed i clienti finali.

Le aziende prendono coscienza migliorando la gestione dei flussi delle merci all'interno della catena logistica, non come una logistica integrata, ma come un nuovo approccio di management dove la singola azienda diventa parte di una rete che integra i processi per fornire prodotti e servizi al consumatore.

Come illustrato nella figura 4.1, un'impresa non è un'entità isolata, ma si trova all'interno di una supply network dove interagisce con altre imprese quali fornitori e clienti.

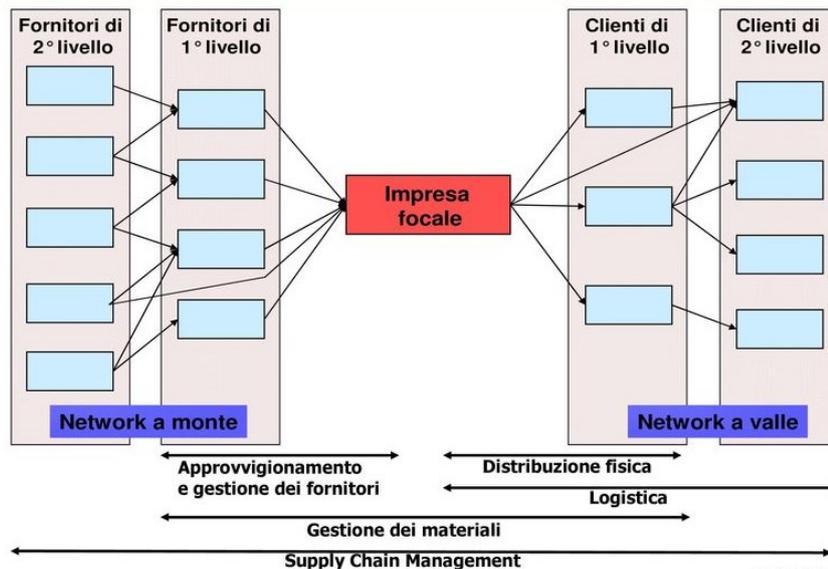


Fig 4.1: Articolazione della catena di fornitura (Slack et al., 2004).

L'impresa all'interno di un supply network si suddivide in:

- Network di monte: costituito dai fornitori di primo livello a diretto contatto con l'impresa che a loro volta si riforniscono dai fornitori di secondo livello;
- Network di valle: costituito dai clienti di primo livello a diretto contatto con l'azienda che potrebbero a loro volta avere altri clienti denominati di secondo livello.

Adottare la Supply Chain Network rispetto alla tradizionale supply chain, aiuta l'impresa a capire che è necessario guardare oltre il primo livello di fornitori e clienti, per comprendere perché si comportano in un certo modo e quali sono i bisogni dei clienti finali di tutto il network poter inoltre identificare i legami che portano valore aggiunto focalizzandosi su una prospettiva a lungo termine, ad esempio valutando il vantaggio relativo nella sostituzione piuttosto che l'assistenza ed il supporto di un anello debole del network.

Si è così cominciato a costruire una serie di relazioni commerciali, dove l'impresa si concentra internamente sui processi che sa fare meglio (Know-How) affidando a terzi tutte le altre attività.

Nel 2007 “The Council of SCM Professionals” (CSCMP)¹²² ha definito che il Supply Chain Management “comprende la pianificazione e la gestione di tutte le attività coinvolte nella ricerca, nella fornitura, nella conversione e nella gestione delle attività logistiche. Include, inoltre, la coordinazione, l'integrazione e la collaborazione con i partner della Supply Chain, che possono essere fornitori, intermediari, fornitori di servizi, e clienti. In poche parole, il SCM integra e coordina la supply chain e la gestione dei rapporti tra i vari attori della supply chain stessa”. (Digital4, 2020)¹²³

Lo scopo del Supply Chain Management è quello di controllare le prestazioni e migliorare l'efficienza del livello di servizio reso al cliente, è necessario quindi, gestire correttamente la catena di approvvigionamento per consentire la riduzione di tempi e costi nelle operazioni che vengono svolte, diminuire il costo del prodotto ed assicurare una differenziazione rispetto ai competitor.

Per comprendere le esigenze dei consumatori è necessaria una precisa previsione della domanda, per realizzare piani attendibili e ridurre il numero di sprechi.

L'uso del SCM permette di ottimizzare gli ordini, migliorare la capacità produttiva, incrementare l'efficienza degli impianti di produzione, integrare fornitura e produzione per gestire al meglio la logistica ed il marketing.

Nel mondo odierno le aziende producono prevalentemente per parti e non più per processo, anche se il fornitore e il produttore possono essere due aziende distinte e separate, la loro collaborazione è fondamentale per raggiungere un'importante competitività nel mercato; l'integrazione tra le aziende è diventato il principale requisito per ottenere un alto livello di servizio; si stima che il valore medio del prodotto finale creato tramite Supply Chain si aggira intorno all' 80%.

Se per esempio, si considera la produzione di una bicicletta, la sua filiera produttiva potrebbe essere costituita da diversi attori: il fornitore della materia prima, il produttore che realizza i semilavorati, l'azienda che assembla il prodotto finito, l'ente incaricato alla spedizione; nonostante ci possano essere attori che potrebbero recitare una o più di questi ruoli, non potrà comunque sostenerli tutti contemporaneamente, da qui nasce

¹²² Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP). Fondata nel 1963, il CSCMP è un'associazione professionale mondiale e si occupa di promuovere la ricerca e la conoscenza del Supply Chain Management.

¹²³ Digital4, 2020, Supply Chain Management: cos'è e perché è importante per le aziende, <https://www.digital4.biz/supply-chain/supply-chain-trends/supply-chain-management-cose-e-perche-e-importante-per-le-aziende>, (consultato il 14/12/2020).

il concetto di Supply Chain Management che si focalizza a monte tra impresa e fornitori ed a valle tra il sistema di distribuzione ed i clienti finali.

Il Supply Chain Management si compone di una serie di sottoprocessi che successivamente andrò ad analizzare, ci sono diversi modelli di SCM sviluppati nel corso degli anni, uno dei più importanti modelli è stato definito nel 1986 dal Council of Logistics Management

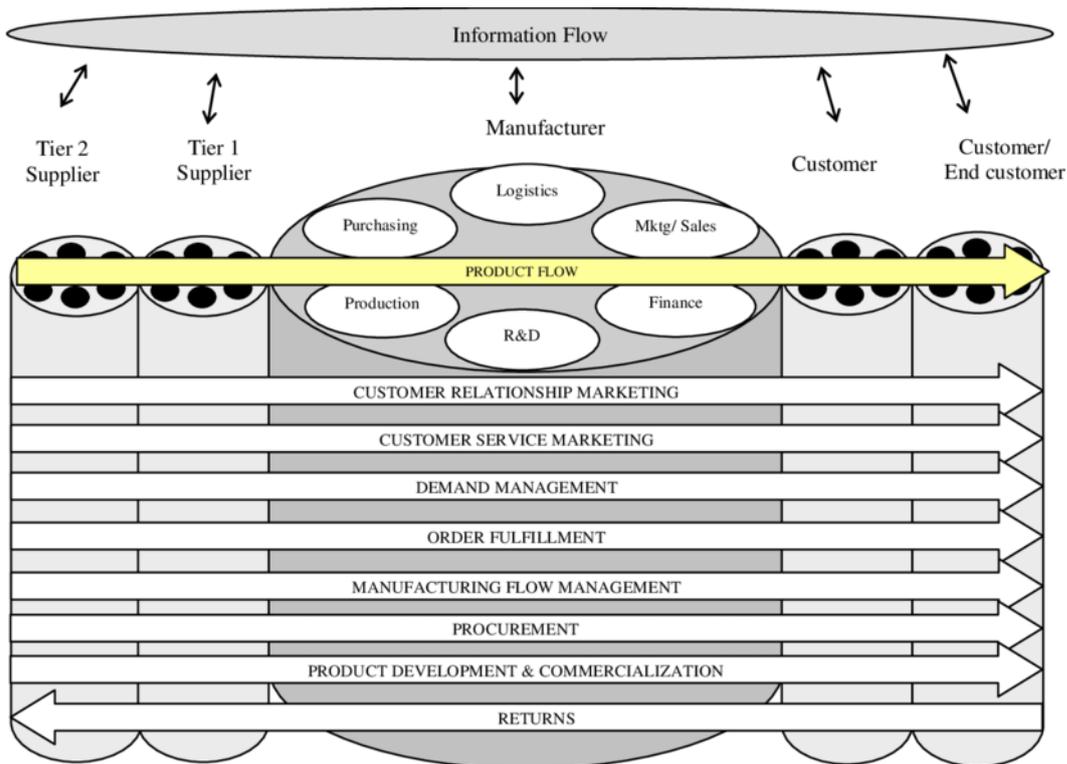


Fig 4.2: Processi del Supply Chain Management (Cooper, Lambert, Pagh, 2000)¹²⁴

Si osservi in particolare la presenza del processo Return che rappresenta la Logistica Inversa, finalizzato al recupero, riutilizzo e smaltimento dei materiali; questo processo negli ultimi anni ha assunto una grande rilevanza visto l'affermarsi dei modelli di sostenibilità economica.

Nel 2005 l'azienda SAP fornitrice di soluzioni, applicazioni e servizi legati all'enterprise software per supportare la gestione del magazzino, il procurement, i computer e dispositivi mobili, i dati e le informazioni, presenta un modello non accademico di SCM, denominato mySAP Supply Chain Management, risultando uno dei più completi

¹²⁴ Cooper, Lambert, 2000, Issues in Supply Chain Management, Elsevier – Industrial Marketing Management.



Fig 4.3: Modello mySAP Supply Chain Management (SAP, 2005)¹²⁵

Analizzerò poi le attività più importanti del Supply Chain Management con riferimento ai modelli precedentemente proposti.

- Approvvigionamento e Gestione Fornitori (Procurement & Supplier Relationship Marketing);
- Manutenzione e parti di ricambio (Service Parts Planning);
- Pianificazione (Demand & Supply Planning);
- Produzione (Manufacturing);
- Logistica e Trasporti (Warehousing & Transportation);
- Evasione degli ordini (Order Fulfillment);
- Gestione Clienti (Customer Relationship Marketing);
- Sviluppo Nuovo Prodotto e Analisi (SC Design & Analytics);

¹²⁵ SAP, 2005, mySAP Supply Chain Management, https://faculty.biu.ac.il/~shnaidh/zooloo/erp/mySAP_Supply_Chain_Management_Solution_Map.pdf, (consultato il 23/12/2020).

4.1.1 Approvvigionamento e Gestione Fornitori

Il Supplier Relationship Marketing (SRM) è una tecnica basata sulle relazioni con i fornitori, con lo scopo di ottimizzare il portafoglio fornitori e relazionare i costi di acquisto di prodotti e servizi.

Il processo di gestione dei fornitori è composto da sei attività:

- 1) Definizione delle specifiche: definizione dei prodotti e servizi che l'azienda intende acquistare, in particolare caratteristiche tecniche, quantità e qualità come requisiti di conformità, una stima dei fabbisogni di medio-lungo termine del prodotto;
- 2) Ricerca dei potenziali fornitori: questo processo viene chiamato anche marketing d'acquisto, vengono scelti dei possibili fornitori per l'azienda ed attraverso uno studio con relative visite presso gli stabilimenti vengono recepite le informazioni di ciascun fornitore;
- 3) Selezione dei fornitori e negoziazione: l'azienda invia la richiesta d'offerta chiedendo tutte le caratteristiche della negoziazione come il prezzo, i tempi di consegna, le modalità di pagamento e sulla base delle offerte ricevute vengono definite in dettaglio le offerte. Dopo un confronto tra le varie offerte dei fornitori viene selezionato il più adatto all'azienda attraverso strumenti di valutazione come il Total Cost of Ownership (TCO).
- 4) Emissione degli ordini: vengono emessi gli ordini di acquisto ai fornitori selezionati che di conseguenza valuteranno se accettarli o meno.
- 5) Monitoraggio e controllo degli ordini: si effettuano attività di monitoraggio della merce dal momento in cui l'ordine è stato emesso ed accettato come avanzamento dell'ordine, ispezione o tracking;
- 6) Post-acquisto e valutazione fornitori: sono attività che riguardano la gestione dei reclami, il reperimento dei ricambi, l'assistenza e l'aggiornamento delle informazioni sui fornitori; le prestazioni di fornitori vengono monitorate costantemente con lo scopo di migliorare l'efficienza con l'implementazione di azioni correttive.



Fig 4.4: Attività del processo di approvvigionamento e gestione dei fornitori (Romano e Danese, 2006)¹²⁶

Vengono definiti piani strategici con i fornitori per supportare il flusso di produzione ed il processo di gestione e sviluppo di nuovi prodotti.

I fornitori sono classificati in base a diverse dimensioni, come il loro contributo e le loro criticità nell'organizzazione. Nelle aziende in cui le operazioni si estendono in tutto il mondo, l'approvvigionamento dovrebbe essere gestito su base globale.

Vengono sviluppate alleanze strategiche a lungo termine con lo scopo di ottenere una relazione vantaggiosa per tutti, in cui entrambe le parti traggono vantaggio.

Avviene il coinvolgimento di un fornitore chiave all'inizio del ciclo di progettazione, che può portare a una drastica riduzione dello sviluppo del prodotto e dei tempi di ciclo. Avere un input tempestivo da parte del fornitore riduce i tempi di coordinamento richiesto tra ingegneria, acquisto e il fornitore prima della finalizzazione del progetto.

In caso di fornitori critici questi possono essere definiti Ordini Quadro, viene di conseguenza stipulato un contratto d'acquisto del quantitativo globale che sarà ordinato nell'arco di tempo coperto dal Piano Aggregato di Produzione ed eventuali quantitativi minimi di acquisto con soglia di flessibilità, il prezzo unitario che può variare in base ad alcune variabili decise, definizione della modalità con cui verranno emessi gli ordini esecutivi per le effettive fornitore, e la modalità con cui avviene il trasporto ed il pagamento delle merci.

La funzione acquisti sviluppa una comunicazione rapida grazie alla presenza di meccanismi come lo scambio elettronico di dati o Electronic Data Interchange (EDI) e collegamenti Internet per trasferire rapidamente i requisiti.

Questi strumenti di comunicazione rapida forniscono un mezzo per ridurre il tempo e il costo spesi per la porzione di transazione dell'acquisto.

¹²⁶ Romano e Danese, 2006, Supply Chain Management - la gestione dei processi di fornitura e distribuzione, McGraw-Hill.

4.1.2 Manutenzione e parti di ricambio

La pianificazione delle parti di ricambio o Service Parts Planning (SPP) fornisce funzioni di pianificazione specifiche per le parti di servizio e garantisce la trasparenza lungo tutta la catena di fornitura, dal momento in cui si verifica la domanda fino alla consegna del prodotto. La pianificazione delle parti di servizio avviene in strutture di distribuzione, le posizioni possono essere, ad esempio, centri di distribuzione, imballatori a contratto o clienti e rivenditori. (SAP, 2016)¹²⁷

SPP considera le caratteristiche di ogni prodotto durante la pianificazione, prendendo in considerazione, ad esempio, le località in cui l'impresa ha più bisogno di un determinato prodotto, se un prodotto si muove velocemente o lentamente e il comportamento di vendita di un prodotto.

A seconda di queste proprietà, è possibile decidere per ogni prodotto se si desidera eseguire la pianificazione delle parti di servizio basata sul periodo in base alla previsione o se si preferisce pianificare le parti di servizio in base a un punto di riordino.

Se si utilizza la pianificazione basata sul periodo, SPP genera la previsione per un prodotto sulla base dei valori di vendita passati o sulla base di indicatori anticipatori. Si utilizzano indicatori anticipatori come base per la generazione della previsione se si dispone di informazioni affidabili che sono rilevanti per il futuro comportamento di vendita dei propri ricambi.

Se si utilizzano i valori delle vendite passate come base per la previsione di una parte di servizio, SPP distingue tra prodotti con domanda costante, tendenze, domanda stagionale e prodotti con domanda sporadica.

Consente di ridurre i costi di ordinazione e stoccaggio, migliorare i livelli di servizio e abbreviare i tempi di consegna di tutti i materiali di ricambio o per la manutenzione.

Per monitorare e valutare in modo ottimale la pianificazione, SPP offre applicazioni di analisi di alta qualità: genera avvisi in situazioni non programmate o critiche che si verificano durante il processo di pianificazione.

¹²⁷ SAP, 2016, Service Parts Planning (SPP), https://help.sap.com/doc/saphelp_scm700_ehp04/7.0.4/enUS/47/e12f019e014ac5e10000000a42189d/frameset.htm, (consultato il 24/12/2020).

Vengono visualizzate le carenze di approvvigionamento imminenti nel monitoraggio della carenza in modo da poter intervenire manualmente nella pianificazione, se necessario, e quindi prevenire la carenza. È possibile analizzare il processo di pianificazione completo e l'esecuzione della pianificazione nel monitoraggio dei materiali di ricambio per poter identificare i punti di forza e di debolezza nella catena logistica.

È inoltre possibile utilizzare il monitoraggio della consegna in entrata e la valutazione delle prestazioni di consegna del fornitore. Queste funzioni consentono di analizzare e valutare non solo la pianificazione e l'esecuzione interna, ma anche le prestazioni dei fornitori e degli spedizionieri.

4.1.3 Pianificazione

L'architettura di un sistema di pianificazione e controllo della produzione (Manufacturing Planning and Control System – MPC) si distingue in tre livelli di attività:

(De Toni A.F., Panizzolo R., 2018)¹²⁸

1. Primo livello: Pianificazione della produzione (Front End) – stabilisce le direttive generali.
2. Secondo livello: Programmazione della Produzione (Engine) – definisce i piani dei materiali e delle capacità produttive.
3. Terzo livello: Esecuzione e controllo della Produzione (Back End) – realizza il rilascio e l'avanzamento degli ordini.

Ciascun livello viene elaborato su tre orizzonti temporali in funzione delle Previsioni delle Vendite (Forecasting) e Gestione Ordini Clienti (Demand Management):

- Lungo Termine: detto anche piano aggregato di produzione o Production Plan (PP) è un documento che definisce il programma delle attività produttive sul un lungo periodo (circa 12 mesi), con un anticipo lungo, si definiscono alcune delle caratteristiche strutturali del sistema produttivo a partire da input fondamentali, quali le previsioni di vendita aggregate¹²⁹ e, sulla base delle politiche, sulle scorte adottate dall'azienda

¹²⁸ Panizzolo R., De Toni A.F., 2018, *Sistemi di gestione della produzione*, Isedi, Novara.

¹²⁹ Si fa riferimento ad una famiglia di prodotti, oppure ad un prodotto equivalente come il prodotto medio rappresentativo di un'intera famiglia.

- Medio Termine: detto anche principale di produzione o Master Production Schedule (MPS) guida tutte le attività di gestione della produzione con riferimento ad un periodo di 4-6 mesi. È un piano di produzione più dettagliato del PP in quanto comporta la trasformazione delle quantità aggregate previste nel PP in quantità fisiche, ovvero da famiglie a prodotti finiti. Definito sulla base di previsioni di vendita e del portafoglio, vengono verificate le compatibilità tra fabbisogni di materiali e disponibilità in termini di capacità produttive, viene autorizzato l'MPS per elaborare il Material Requirements Planning (MRP) dove viene esplosa la distinta base dei prodotti ed attraverso il processo di nettificazione dei fabbisogni lordi viene pianificato il fabbisogno dei materiali. La pianificazione del fabbisogno di capacità produttiva viene realizzata tramite la procedura di Capacity Requirement Planning (CRP) dove viene verificato il caricamento a capacità infinita/finita dei centri di lavoro, utilizzando i cicli di produzione e le informazioni relative alla capacità disponibile. Verificata la disponibilità di fabbisogno di materiali e capacità produttiva, vengono rilasciati gli ordini di acquisto e produzione, gestiti dal Controllo Avanzamenti o Shop Floor Control (SFC).

- Breve Termine: detto anche piano finale di produzione o Final Assembly Schedule (FAS) definisce le quantità dei prodotti finiti sulla base degli ordini del cliente (portafoglio ordini) ad esempio per un'azienda ATO, il FAS è relativo alle sole operazioni di assemblaggio, guida tutte le operazioni del ciclo finalizzate al configurare in via definitiva i prodotti. Tramite l'MRP viene effettuata la verifica dei mancanti della distinta base, quindi soltanto dei figli intermedi per la realizzazione del padre, ovvero il prodotto finito. Il CRP è utilizzato solo per macchine guaste o variazioni sull'impianto, vengono verificate le capacità produttive esclusivamente sui reparti finali. L'SFC si occupa delle attività di rilascio, schedulazione, avanzamento e versamento ordini di produzione.

Tabella 4.1: Architettura del sistema di pianificazione e controllo della produzione, (Manufacturing Planning and Control System – MPCS). (Panizzolo R., De Toni A.F., 2018)

		ORIZZONTI TEMPORALI						
		Lungo termine		Medio termine		Breve termine		
		L I V E L L I D I A T T I V I T A	PIANIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE (Front End)	PREVISIONI DELLE VENDITE (Forecasting) e GESTIONE ORDINI CLIENTI (Demand Management)				
PIANO AGGREGATO DI PRODUZIONE PP (Production Plan)				PIANO PRINCIPALE DI PRODUZIONE MPS (Master Production Schedule)		PIANO FINALE DI PRODUZIONE FAS (Final Assembly Schedule)		
RISORSE	MATERIALI			RISORSE PRODUTTIVE	MATERIALI			
PIANIFICAZIONE GREZZA FABBISOGNI DI RISORSE (RRP)	ORDINI QUADRO			ROUGH CUT CAPACITY PLANNING (RCCP)	X			
PROGRAMMAZIONE DELLA PRODUZIONE (Engine)	RISORSE		MATERIALI	RISORSE PRODUTTIVE	MATERIALI		RISORSE PRODUTTIVE	MATERIALI
	X		PIANIFICAZIONE A CAPACITA' INFINITA DEI FABBISOGNI DI CAPACITA' PRODUTTIVA (CRP)	PIANIFICAZIONE DEI FABBISOGNI DEI MATERIALI (MRP)		PIANIFICAZIONE A CAPACITA' FINITA DEI FABBISOGNI DI CAPACITA' PRODUTTIVA DEI CENTRI FINALI (CRP)	VERIFICA MANCANTI (MRP)	
ESECUZIONE E CONTROLLO DELLA PRODUZIONE (Back End)	RISORSE		MATERIALI	RISORSE PRODUTTIVE	MATERIALI		RISORSE PRODUTTIVE	MATERIALI
	X		SCHEDULAZIONE E AVANZAMENTI DELLE LAVORAZIONI INIZIALI E INTERMEDIE (SFC)	ACQUISTI	DEFINIZIONE SEQUENZE DI PRELIEVO MATERIALI INIZIALI E INTERMEDIE (SFC)	SCHEDULAZIONE E AVANZAMENTI DELLE OPERAZIONI FINALI (SFC)	DEFINIZIONE SEQUENZE DI PRELIEVO MATERIALI FINALI (SFC)	

Il processo di pianificazione, denominato anche come Supply Planning, determina la strategia migliore per bilanciare le scorte in funzione della domanda del mercato.

Nel corso degli anni si sono sviluppate diverse tecniche di gestione dei materiali, dalle tecniche tradizionali basate sul punto di riordino (ROP) o MRP fino a raggiungere il concetto di Just In Time (JIT) e Vendor Managed Inventory (VMI).

Il successo della Toyota nell'industria automobilistica giapponese ha reso popolare la Lean Strategy applicata al manufacturing, un concetto che si basa sull'aumentare l'efficienza del processo produttivo riducendo sprechi ed accumulo di pezzi in stock; denominato Lean Thinking, la filosofia dell'industria giapponese identifica come Muda (Sprechi) tutte quelle fonti di spreco nell'ambiente lavorativo, non solo dal punto di vista fisico come l'accumulo di stock o scarti, ma riduzione di tempo e sforzi per aumentare la produttività. Una tecnica Lean Production adottata nella Supply Chain viene chiamata Just in Time espressione che significa "appena in tempo" che ha lo scopo di ridurre le scorte ed il lead time a zero, vengono realizzati i prodotti finiti solo quando è il mercato a "tirare" la richiesta di produzione, ovvero si produce solo ciò che è stato venduto o si prevede di vendere in tempi brevi, si passa da una logica tradizionale push ad una logica pull.

Una tecnica ancora più all'avanguardia è il Vendor Managed Inventory, dove la responsabilità del rifornimento passa nelle mani del produttore che decide la quantità da inviare sulla base delle informazioni sulle uscite ed il livello di stock presso i centri di distribuzione, tenendo conto degli ordini già acquistati dai punti vendita e secondi i programmi di approvvigionamento prestabiliti.

Il distributore deve garantire un flusso di informazioni continuo, per consentire al produttore di formulare proposte d'ordine e fare previsioni attendibili.

Una delle tecniche adottate è il Consignment Stock, dove il materiale ubicato presso il cliente è di proprietà del fornitore, si parla di conto deposito presso il cliente e la fatturazione da parte del fornitore avviene dopo l'effettivo prelievo del cliente.

4.1.4 Produzione

Le attività che costituiscono la fase di produzione, dove le materie prime ed i semilavorati vengono trasformati in prodotto finito, devono essere progettate sulla base di tre assi:

- Classificazione secondo il modo di rispondere alla domanda
- Classificazione secondo il modo di realizzare il prodotto
- Classificazione secondo il modo di realizzare il volume di produzione

Il modello Wortmann propone una classificazione in base alla risposta della domanda del mercato, che si articola su sei livelli.

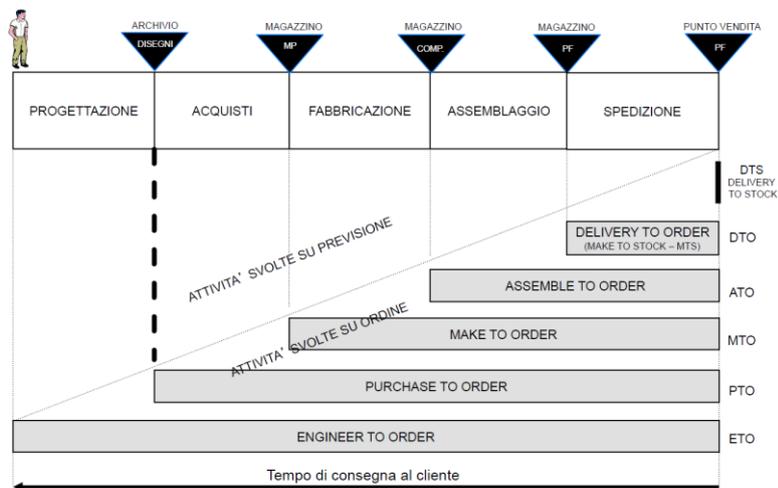


Fig 4.5: Modello Wortmann (De Toni A.F., Panizzolo R., 2018)

Facendo riferimento alla continuità del flusso, osservando in entrata ed uscita il flusso del processo produttivo e la ripetitività delle operazioni si possono identificare le imprese secondo la classificazione della modalità di realizzazione del volume di produzione:

- Flusso: sistemi caratterizzati da assoluta ripetitività delle operazioni e da continuità del flusso entrante/uscente; dei tipici sistemi a flusso sono le linee di produzione manifatturiere e gli impianti di processo funzionante in condizione di regime costante.
- Lotti: caratterizzati da una produzione di una quantità predeterminata di prodotti, denominati lotti; quando vengono lavorati da macchinari specializzati, vengono depositati in buffer nell'attesa di essere processati nelle fasi successive.
- Celle: rappresenta una via di mezzo tra lotti e flusso, le macchine sono raggruppate in celle sulla base del tipo di lavorazione e i prodotti in famiglie in base alla sequenza delle operazioni secondo il ciclo di lavoro; modalità di produzione caratterizzata da una ridotta scorta in attesa della lavorazione (WIP), i lead time ed i tempi di set-up.
- Prodotto singolo: sistemi caratterizzati da scarsa o nulla ripetitività delle operazioni e da discontinuità del flusso entrante/uscente; ogni prodotto è diverso da quello precedente e successivo, sistemi di questo tipo sono ad esempio i cantieri navali.

Si osserva il modo di realizzare il prodotto in funzione del modo di realizzare il volume di produzione, si distinguono le varie tipologie di produzione attuabili in un'impresa. (Fig 4.6)

- Produzione per Parti: Il prodotto finale risulta costituito da una serie di parti di natura diversa, come ad esempio nell'industria automobilistica, produzione di macchine utensili, etc. Le macchine possono svolgere una moltitudine di lavorazioni diverse per ottenere prodotti diversi, prevedono una fase di produzione ed una di assemblaggio attuabili in tempi e luoghi diversi. I cicli di lavoro sono diversi per ogni componente, viene definita una produzione con ciclo tecnologico non obbligatorio.

- Produzione per Processo: le materie prime utilizzate per la produzione del prodotto finale non sono più distinguibili o hanno cambiato natura. Impianti specifici attraverso cui fluiscono le materie prime ed i prodotti finiti, caratterizzati da operazioni di natura chimica, termica, meccanica prevedono una sola fase di fabbricazione. I cicli di lavoro vengono determinati e vincolati in maniera ben definita ad un prodotto, viene definita una produzione con ciclo tecnologico obbligatorio, l'attività di produzione è strettamente legata all'impianto.

Classificazione secondo il modo di realizzare il volume di produzione / Classificazione secondo il modo di realizzare il prodotto	PRODUZIONE SINGOLA	PRODUZIONE A LOTTI	PRODUZIONE A FLUSSO
	PRODUZIONE PER PARTI (PRODOTTI INTEGRALI)	1	2 PRODUZIONE INTERMITTENTE
PRODUZIONE PER PROCESSO (PRODOTTI DIMENSIONALI)	PRODUZIONE SINGOLA	4 PRODUZIONE DISCONTINUA	5 PRODUZIONE CONTINUA

Fig 4.6: Modo di realizzare il prodotto in funzione del modo di realizzare il volume produttivo

Le differenti classificazioni dei sistemi produttivi rappresentano le possibili combinazioni di un'impresa. In realtà una singola impresa può essere collocata contemporaneamente in più categorie in funzione delle scelte specifiche di prodotto, mercato e processo. Ad esempio per due famiglie di prodotto differenti, una stessa azienda adotta due modalità di produzione differenti per ciascuna famiglia di prodotto.

4.1.5 Logistica e Trasporti

Un sistema di gestione del magazzino, definito come Warehouse Management System (WMS) è una parte fondamentale della catena di approvvigionamento e mira principalmente a controllare il movimento e lo stoccaggio dei materiali all'interno di un magazzino ed elaborare le transazioni associate, tra cui spedizione, ricezione, stoccaggio e prelievo. I sistemi inoltre dirigono e ottimizzano il deposito delle scorte sulla base di informazioni in tempo reale sullo stato di utilizzo dei magazzini.

Monitorare lo stato di avanzamento dei prodotti attraverso il magazzino, coinvolge l'infrastruttura del magazzino fisico nonché i sistemi di monitoraggio e la comunicazione tra le stazioni di prodotto. Più precisamente, la gestione del magazzino prevede

il ricevimento, lo stoccaggio e la movimentazione della merce, verso luoghi di stoccaggio intermedi o verso un cliente finale in caso di prodotti finiti.

Nel modello multilivello per la distribuzione, possono esserci più livelli di magazzini, ciò include un magazzino centrale, magazzini regionali e potenzialmente magazzini al dettaglio.

La gestione della logistica o Logistics Management è il coordinamento ed il controllo del flusso lungo tutta la Supply Chain e riguarda una serie di scelte chiave che di seguito analizzerò in maniera sintetica gli sviluppi delle scelte che riguardano il Logistics Management, in particolare si evidenziano le variabili che si tengono in considerazione per l'elaborazione della scelta ottimale (KPI).¹³⁰

1. Layout Impianto e scelte distributive

Lo spazio fisico deve essere adeguato alle dimensioni dei macchinari, allo spazio per manovrarli e deve essere messo nelle condizioni di poter effettuare le manutenzioni, adatto alla movimentazione dei materiali tra i vari reparti produttivi ed infine rendere disponibile le infrastrutture di servizio come acqua, elettricità, aria compressa.

Per progettare il layout dell'impianto è necessario considerare la modalità di gestione delle scorte e dimensionare il magazzino adattandolo alle esigenze richieste, configurare quindi le facilities e decidere la modalità di consegna se diretta o indiretta.

Consegna diretta: i prodotti sono inviati direttamente dal fornitore al cliente finale senza intermediazione.

Consegna indiretta: il prodotto passa per un'intermediazione tra fornitore e cliente, dove avviene la presentazione dei magazzini come punti di smaltimento e stoccaggio della merce.

L'obiettivo è quello di ottimizzare lo spazio disponibile dell'impianto, velocizzare i trasferimenti di materiale tra i vari reparti dell'impianto e garantire, che i reparti siano vicini per migliorare il flusso di materiale tra gli stessi.

Nel caso di una strategia distributiva con logica pull, la metodologia per la regolazione dei flussi sviluppata da Toyota è il Kanban. In pratica è un segnale visivo che indica la

¹³⁰ Key Performance Indicator o KPI è l'indice dell'andamento di un processo aziendale, vengono determinati dall'analisi di un determinato processo per il raggiungimento di un livello di servizio desiderato. Dopo aver individuato l'inizio dello studio di una strategia, vengono fissati gli obiettivi da raggiungere e si cerca di capire la strategia migliore da adottare in base alla valutazione dei KPI.

necessità di iniziare un'azione, che può essere la produzione di un particolare componente, oppure l'erogazione di una determinata informazione. (Panizzolo R., De Toni A.F., 2018)¹³¹

L'importante è che il segnale sia sempre visibile e che implichi l'impiego di procedure concordate o standardizzate.

Il Kanban può essere sottoforma di cartellino, in forma di contenitore o richiesta digitale (e-kanban), pertanto tutte le attività da monte a valle di un processo possono essere definite mediante un Kanban.

2. Modalità di trasporto

La scelta e la tipologia dei mezzi per la movimentazione durante il processo produttivo, dipendono dalle caratteristiche fisiche, chimiche e dimensionali delle materie prime, dei materiali in lavorazione e dai prodotti finiti, la tipologia di politica delle scorte adottate e dai servizi stipulati con il cliente, dal valore della merce da trasportare e dalla distanza da percorrere.

Una tecnica per ottimizzare il percorso da effettuare è il Milk Run, l'azienda cliente invia un veicolo che compie un giro secondo un percorso prestabilito presso i vari fornitori, dove viene eseguito il prelievo ed il deposito secondo kanban (contenitori). I giri di Milk Run vengono effettuati secondo tempi concordati, in funzione della frequenza di passaggio e dalla quantità di prodotto da consegnare.

Il percorso è progettato in base al rifornimento che avviene in tempi fissi e in quantità variabili, pertanto viene prelevata la quantità sufficiente a coprire il consumo fino al passaggio successivo. (Panizzolo R., 2019)¹³²

3. Packaging

L'art. 218, c. 1, lett. a), del D.L.vo 152/06 definisce "imballaggio": *"il prodotto, composto di materiali di qualsiasi natura, adibito a contenere determinate merci, dalle materie prime ai prodotti finiti, a proteggerle, a consentire la loro manipolazione e la loro consegna dal produttore al consumatore"*

¹³¹ Panizzolo R., De Toni A.F., 2018, *Ibidem*, pag. 81

¹³² Panizzolo R., 2019, *Corso di Organizzazione della Produzione e dei Sistemi Logistici*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.

o all'utilizzatore, ad assicurare la loro presentazione, nonché gli articoli a perdere usati allo stesso scopo" (Maglia S., 2020)¹³³

Vengono definiti gli imballi secondo tre categorie: (Fig 4.7)

- Imballaggio primario: packaging che contiene o racchiude direttamente i prodotti, come ad esempio una boccetta di profumo, pacchetti di frutta e verdura.
- Imballaggio secondario: packaging che consente di raggruppare più imballaggi primari, utilizzato per catturare l'attenzione del consumatore con l'ausilio di marketing e promozioni.
- Imballaggio terziario: concepito per facilitare la manipolazione o il trasporto dei prodotti di un certo numero di unità di vendita verso i punti vendita, consente di raggruppare più imballaggi secondari e primari.



Fig 4.7: classificazione imballaggi.

Uno dei più utilizzati e standardizzati nel mondo è il pallet, utilizzato per la catena di distribuzione in quanto consente di proteggere il prodotto da impurità ed agenti esterni durante il tutto il tragitto. Il Decreto Ronchi¹³⁴ ha introdotto nel nostro ordinamento un sistema diretto del recupero e della valorizzazione dei rifiuti di imballaggio, inoltre consente di individuare criteri per la progettazione e la fabbricazione degli imballaggi stessi.

Si vuole ridurre la quantità e la nocività dei materiali di imballaggio, effettuando attività di gestione dei rifiuti come la raccolta, il trasporto, il recupero e lo smaltimento. (Pareschi, 2011)¹³⁵

¹³³ Maglia S., 2020, Cosa si intende per imballaggio?, <https://www.tuttoambiente.it/commenti-premium/cosa-si-intende-per-imballaggio>, (consultato il 25/12/2020).

¹³⁴ Decreto Legislativo 5 febbraio 1997 n.22 (consultabile al sito: <https://www.ambientediritto.it/Legislazione/Rifiuti/2002/Decreto%20Ronchi%201997%20n.%2022.htm>)

¹³⁵ Pareschi, 2011, *Logistica integrata e flessibile*, Esculapio, Bologna.

4. Configurazione dei percorsi

La movimentazione e lo stoccaggio dei materiali detto anche Material Handling (MH) ha lo scopo di rendere disponibile, attraverso l'impiego di opportuni metodi e strumento, la giusta quantità del giusto materiale nel posto giusto, rispettando i tempi e le sequenze richieste, minimizzando i costi. (Battini L., 2019)¹³⁶

Le attività di movimentazione riguarda l'analisi dei trasporti interni nel caso di materiali da lavorare all'interno degli stabilimenti e in caso di spedizione dei prodotti finiti.

Il trasporto non accresce il valore del prodotto ma ne aumenta il costo, quindi è necessario ridurre al minimo i trasferimenti e riprese dei materiali, inoltre evitare congestioni, ritardi e trasporti inutili.

Si vuole minimizzare il numero di movimentazioni, le distanze da percorrere ed ottimizzare gli spazi, limitare i danni durante i trasporti, razionalizzare il controllo dei materiali immagazzinati, infine, assicurare condizioni di sicurezza e minimizzare lo sforzo. Per ottimizzare e scegliere la routing da realizzare, viene pianificato il percorso della merce dall'origine fino alla sua spedizione, viene inclusa la scelta del mezzo di trasporto e del vettore per ogni singolo segmento del percorso: si stima che l'incidenza delle percorrenze potrebbe aggravare sul tempo totale di trasporto del 50%, pertanto è importante rendere questo processo il più efficiente possibile. (Logistica Efficiente, 2015)¹³⁷

Vi sono diverse classificazioni dei vettori:

- Classificazione per tipo di comando

- con manovratore a bordo
 - carroponti
 - carrelli
 - autogru
 - trattori
- con manovratore a terra
 - paranchi e carroponti
 - carrelli
- senza manovratore
 - convogliatori a catena e nastro
 - trasportatori pneumatici
- automatici
 - paranchi scorrevoli su monorotaia
 - convogliatori aerei

Fig 4.8: classificazione per tipo di comando, continui e discontinui. (Battini L., 2019)

¹³⁶ Battini L., 2019, *Corso di Logistica Industriale*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.

¹³⁷ Logistica Efficiente, 2015, Politiche di routing, <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/magazzino/politiche-routing.html>, (consultato il 26/12/2020).

- Classificazione per tipo di movimento



Fig 4.9: classificazione per tipo di movimento, continui e discontinui. (Battini L., 2019)

- Classificazione sistemi flessibili di trasporto a guida automatica:

Automated Guided Vehicle (AGV) è un macchinario utilizzato in vari settori produttivi per spostare materiale, semilavorati e prodotti finiti, senza la necessità di un conduttore umano.

Si distinguono in AGV a percorso fisso o percorso variabile.



Fig 4.10: sistemi di guida AGV. (Battini L., 2019)

È possibile servire i magazzini automaticamente con l'ausilio di trasloelevatori, la struttura mobile del trasloelevatore può compiere contemporaneamente due movimenti, uno orizzontale ed uno verticale, ai quali consegue un moto composto lungo un tragitto inclinato rispetto ai due movimenti base. Ciò permette di indirizzare il trasloelevatore verso una qualunque posizione delle scaffalature, dove è possibile depositare o prelevare l'unità di carico dal magazzino.

5. Reverse Logistics

Con il termine Reverse Logistics o Logistica inversa si intende l'insieme delle attività e dei processi per la gestione dei resi ed i rientri dei prodotti dai punti vendita al produttore, le operazioni possono essere la riparazione, il riciclaggio o lo smaltimento dei materiali.

Il Council of Logistic Management, definisce la logistica inversa come: *“il processo di pianificazione, implementazione e controllo dell'efficienza (da un punto di vista di costi delle materie prime, gestione del prodotto finito e relative informazioni) dal luogo di consumo del prodotto al suo punto di origine, con lo scopo di recuperare il valore del prodotto o di eseguire appropriatamente lo smaltimento dei materiali.”* (Corrado M., 2016)¹³⁸



Fig 4.11: La Reverse Logistics è il flusso a ritroso della Supply Chain. (Logisticamente, 2018)¹³⁹

Vengono movimentati i prodotti dalla destinazione finale a ritroso nella catena di distribuzione; i materiali resi devono essere gestiti in stock separati, è necessario effettuare una valutazione qualitativa sul materiale reso che potrebbe essere reimpresso in commercio come materiale vendibile o, in alternativa, viene effettuata una riparazione o scartato e successivamente smaltito.

Negli ultimi anni sono stati sempre più inclusi lo smaltimento, la gestione dei rifiuti ed il recupero dei materiali esausti per la salvaguardia dell'ambiente e l'aumento della sostenibilità aziendale, fino ad essere diventata una delle attività principali della logistica

¹³⁸ Corrado M., 2016, L'evoluzione del ruolo della logistica inversa, <https://www.logisticaefficiente.it/le/supplychain/management/evoluzione-del-ruolo-della-logistica-inversa.html>, (consultato il 27/12/2020).

¹³⁹ Logisticamente, 2018, La gestione dei resi: è possibile ottimizzare i processi e ridurre gli sprechi?, <https://www.logisticamente.it/Articoli/11060/la-gestione-dei-resi-e-possibile-ottimizzare-i-processi-e-ridurre-gli-sprechi>, (consultato il 27/12/2020).

inversa; definita come logistica sostenibile, che si occupa di gestire i prodotti, componenti e materiali utilizzati con lo scopo di riutilizzare i beni per quanto possibile e ridurre la quantità di rifiuti prodotti.

Riutilizzando prodotti scartati, è possibile evitare la necessità di attivare processi di produzione per nuove materie prime, riducendo i costi di produzione ed il consumo energetico in termini di inquinamento ambientale ed economico.

Secondo uno studio di Thierry M., Salomon M., et al, dal titolo Strategic issues in product recovery management, vi sono diverse modalità per la gestione dei rientri delle merci: (Mecalux, 2018)¹⁴⁰

- Riparazione: riparare il prodotto.
- Ripristino: restituire il prodotto come usato.
- Ricostruzione: il prodotto usato viene ricostruito conferendogli una qualità simile al prodotto originale ma ad un costo inferiore.
- Cannibalismo: recuperare parte dei componenti per riutilizzarli.
- Riciclaggio: i materiali scartati vengono utilizzate per nuove produzioni.

Vantaggi della logistica inversa:

- Riduzione dell'impatto sull'ambiente: il riutilizzo e riciclaggio delle materie prime riduce l'utilizzo di energia, garantendo l'ottenimento di benefici in termini etici ed economici.
- Miglioramento immagine aziendale: incrementa il livello reputazionale dell'impresa dimostrando coerenza nelle azioni di sostenibilità.
- Nuove soluzioni per materiali riutilizzati: si recupera il valore economico degli articoli scartati, sfruttandoli nel mercato dell'usato.
- Controllo dello stock: viene migliorata l'organizzazione dello stock evitando lo stoccaggio di prodotti obsoleti.

¹⁴⁰ Mecalux, 2018, Reverse logistics: cos'è e quali sono i vantaggi della logistica inversa, <https://www.mecalux.it/articoli-sulla-logistica/reverse-logistics>, (consultato il 27/12/2020).

4.1.6 Evasione degli Ordini

Denominato Order Fulfillment, è il processo che comprende tutte le attività dalla richiesta del punto vendita fino alla consegna del prodotto al cliente; può essere tradotto come il modo con cui le aziende rispondono agli ordini dei clienti.

Come già menzionato nel paragrafo 3.1.4 relativo alla produzione nel Supply Chain Management, il modello Wortmann propone una classificazione in base alla risposta della domanda del mercato, che si articola su sei livelli: (Panizzolo R., 2019)¹⁴¹

1. Engineer To Order (ETO): il tempo di risposta del cliente è pari a quello di progettazione, acquisto, fabbricazione, assemblaggio e spedizione, in quanto la progettazione viene svolta una tantum su ordine; definendosi azienda che opera con prodotti su commessa.
2. Purchase TO Order (PTO): le fasi di acquisto, fabbricazione, assemblaggio, spedizione sono svolte su ordine del cliente; in quanto i dati tecnici di prodotto, come il ciclo di lavoro, sono stati definiti precedentemente in fase progettuale. Questa tecnica predilige la realizzazione di prodotti standard a catalogo, in quanto le specifiche del cliente impattano fin dalle prime fasi del ciclo di produzione, quindi sulle caratteristiche fisiche/dimensionali del prodotto.
3. Make To Order (MTO): i componenti fabbricati ed i prodotti vengono assemblati e spediti sulla base dell'ordine del cliente a partire da materiali acquistati su previsione delle vendite; in quanto i materiali di acquisto sono stati acquistati su previsione, mentre i componenti sono fabbricati e i prodotti finiti sono assemblati e spediti al cliente su ordine.
4. Assemble To Order (ATO): le quantità dei componenti fabbricati sono versate nel magazzino componenti su previsione della domanda, mentre l'assemblaggio e la spedizione avvengono sulla base dell'ordine del cliente: in quanto i componenti e i sottoassiemi sono stati realizzati su previsione e versati nel magazzino componenti, mentre i prodotti finiti sono assemblati e spediti al cliente su ordine;
5. Delivery To Order/Make To Stock (DTO/MTS): le quantità prodotte sono versate nel magazzino prodotti finiti su previsione della domanda e vengono

¹⁴¹ Panizzolo R., 2019, *Ibidem*, pag. 90

spediti al cliente su ordine; garantiscono al cliente un tempo di consegna pari a quello di spedizione, in quanto i prodotti finiti sono realizzati su previsione della domanda e versati nel magazzino centrale in anticipo sull'ordine del cliente;

6. **Delivery To Stock (DTS):** le quantità prodotte sono versate nel magazzino prodotti finiti su previsione della domanda e vengono spedite al magazzino intermedio distributivo o direttamente al punto vendita in anticipo rispetto alla vendita; garantiscono al cliente un tempo di consegna nullo, in quanto la merce è già presso il punto vendita del cliente, consegnata in anticipo rispetto al consumo. Predilige una rapidità di risposta al mercato a discapito della capacità di personalizzare il prodotto.

È raro che un'azienda sia associata ad una sola categoria, risultano ibride in quanto si può lavorare un prodotto seguendo una determinata risposta al mercato, mentre per un altro prodotto si sceglie di adottare un'altra strategia.

Il tentativo di ottenere vantaggi dall'operare su base di ordini anziché di previsioni, richiede, a parità di tempo di consegna, la riduzione dei lead time operativi.

4.1.7 Gestione dei Clienti

Il Customer Relationship Marketing (CRM) è una tecnica basata sulle relazioni con i clienti e sulla fedeltà del cliente. Utilizzando i dati e il feedback dei clienti, le aziende che utilizzano questa strategia di marketing sviluppano relazioni a lungo termine con i clienti.

Il marketing delle relazioni con i clienti si basa sulla gestione dell'esperienza del cliente e pone il miglioramento delle interazioni con i clienti per promuovere la fedeltà al marchio al centro delle attività e con lo scopo di ridurre l'abbandono dei clienti; ad esempio, fornendo un eccellente servizio clienti in ogni momento, conoscendo i singoli clienti per anticipare le loro esigenze e offrire vantaggi e premi del programma fedeltà per i clienti abituali, migliorando notevolmente l'immagine dell'azienda. Le aziende in genere si rivolgono a Internet e ai Social Media per perseguire iniziative di marketing delle relazioni con i clienti, il che significa che anche le piccole imprese possono trarne vantaggio invitando i clienti a visitare i loro siti Web, leggere e commentare i post del

blog e comunicare tramite piattaforme di social media come Twitter e Instagram. (Cross A., 2018)¹⁴²

Per realizzare in maniera ottimale le attività di gestione dei clienti, le aziende fanno buon uso dei dati dei loro clienti e identificano i clienti che avranno più valore per l'azienda stessa. Con le campagne di marketing della relazione con i clienti, le aziende risparmiano tempo e denaro concentrandosi su clienti che non saranno così costosi in termini di mantenimento dei rapporti con loro; prendono anche decisioni migliori su clienti che hanno un potenziale sottosviluppato.

Uno degli strumenti maggiormente utilizzati è l'analisi ABC, utilizzata anche per analizzare l'importanza di diversi clienti o fornitori, dove ad esempio si decide quale tipologia di prodotti può essere tenuta a catalogo, in base alla domanda del cliente.

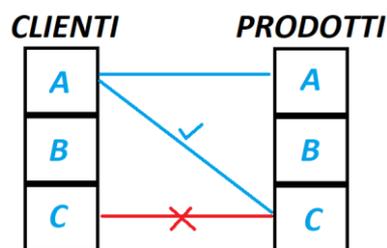


Fig 4.12: Analisi ABC Clienti e Prodotti. (Adattato da La Rocca A.)

Un altro vantaggio dell'utilizzo del marketing delle relazioni con i clienti è che aumenta la soddisfazione dei clienti ed i livelli di comunicazione. I clienti che hanno forti relazioni con le aziende interagiscono con loro più frequentemente, il che rende più facile saperne di più sui clienti tramite le piattaforme di dati dei clienti. Queste aziende risparmiano anche costruendo relazioni con i clienti esistenti piuttosto che spendere per attirare nuovi clienti.

Altri vantaggi dell'utilizzo di una strategia di marketing delle relazioni con i clienti includono:

- Fornire un'esperienza coerente: incentrandosi sul cliente e concentrandosi sulle relazioni con i clienti, le aziende allineano i loro punti di contatto e lavorano in tutta l'organizzazione per soddisfare le esigenze;

¹⁴² Cross A., 2018, What is Customer Relationship Marketing?, <https://www.ngdata.com/what-is-customer-relationship-marketing/>, (consultato il 28/12/2020).

- Raccogliere il feedback dei clienti: costruire relazioni solide con i clienti richiede comunicazione e le aziende si impegnano maggiormente nella raccolta del feedback e nell'analisi per prendere decisioni aziendali migliori per costruire relazioni più solide;
- Migliorare la redditività dei clienti: i clienti fedeli ai marchi spendono di più con loro, infatti, i consumatori stanno ora antepoendo l'esperienza del cliente ai costi quando prendono decisioni di acquisto;
- Creare sostenitori del cliente: più sono felici i clienti, maggiori sono le possibilità che diffondano la voce sul brand; quando crei una relazione forte con loro e offri un'esperienza coerente avrai più possibilità di ottenere una recensione positiva da condividere.

4.1.8 Sviluppo dei Nuovi prodotti

La modalità di gestione del processo ed il successo del prodotto sono molto legati tra loro; il successo del prodotto inteso come vendite, margini, fidelizzazione del cliente, reputazione dell'azienda, si raggiunge con notevole difficoltà.

L'esperienza insegna che il successo del prodotto è fortemente legato alla modalità con cui si gestisce lo sviluppo del prodotto, è necessario adottare un modello, come ad esempio lo "Stage – Gate" (Cooper R.G., 1990)¹⁴³

- Stage: macrofasi che richiedono specifiche informazioni, come disegni, documenti, misure, per ridurre l'incertezza e preparare lo stage successivo. Prima di passare allo stage successivo è necessaria l'approvazione del Gate; con l'aumentare degli stage aumenta il livello di investimento.

- Gate: momento decisionale fra uno Stage ed il successivo; usualmente questa decisione viene approvata, rifiutata o da rivedere (go – kill - revise) dal senior manager.

¹⁴³ Cooper R.G., 1990, Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products, https://www.researchgate.net/publication/4883499_Stage-Gate_Systems_A_New_Tool_for_Managing_New_Products, (consultato il 29/12/2020).

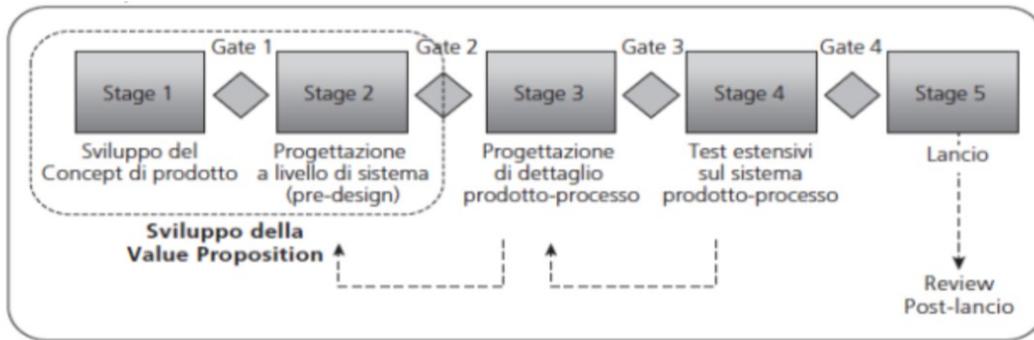


Fig. 4.13: modello generico Stage-Gate (Biazzo S., Filippini R., 2020)¹⁴⁴

Per ogni stage si ha come dati di input la raccolta delle informazioni per il project team, successivamente viene effettuata un'analisi integrata delle attività svolte ed infine viene fornita una documentazione come risultato delle analisi svolte, tali risultati verranno utilizzati come input per il gate in cui avverrà la fase decisionale.

È possibile applicare il modello in modo completo per prodotti completamente nuovi o ridotto per prodotti con piccole modifiche.

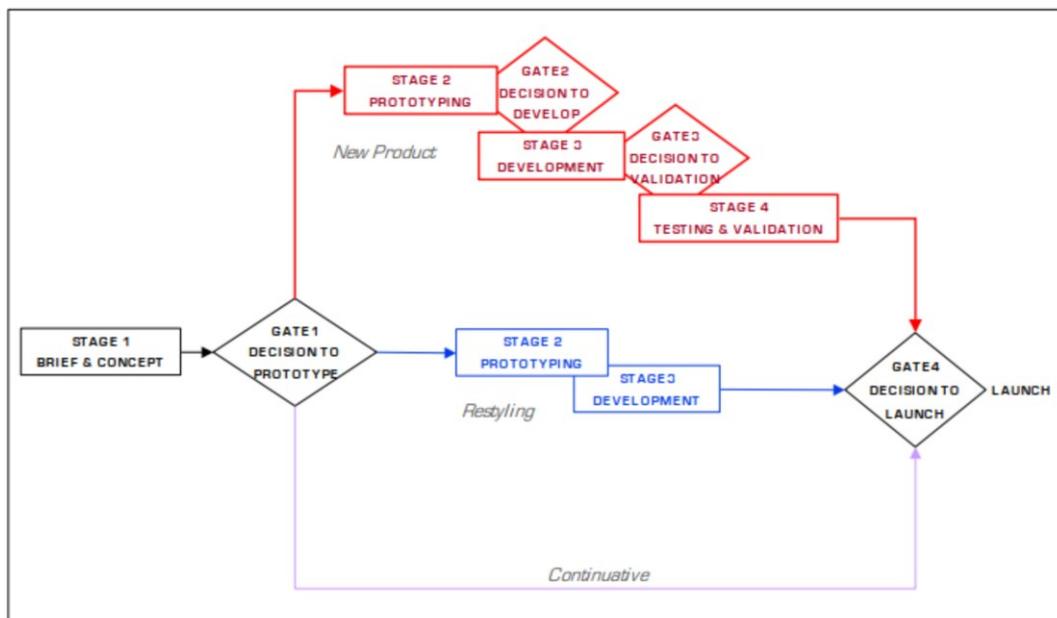


Fig 4.14: modello Stage-Gate completo e ridotto. (Biazzo S., Filippini R., 2020)

A causa della forte competizione sul mercato, le aziende hanno focalizzato i loro investimenti nelle fasi iniziali di progettazione, che si stima siano in grado di generare l'80% del valore del prodotto. La collaborazione dei fornitori è fondamentale fino dalle prime

¹⁴⁴ Biazzo S., Filippini R., 2020, *Corso di Gestione dello Sviluppo del Prodotto*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.

fasi di pianificazione, è necessario coinvolgere i partner strategici per limitare gli errori nelle fasi successive, individuare possibili criticità produttive e realizzare con la massima efficienza tutte le attività da svolgere per la realizzazione del prodotto, da monte a valle della supply chain.

Inoltre una delle attività più importanti è quella relativa al feedback dai clienti, fondamentale per trarre informazioni per operare alla realizzazione ed al miglioramento di nuovi prodotti, seguendo in questo modo le esigenze e le richieste del cliente, rendendo il prodotto sostenibile e considerando un possibile recupero o riciclo dei suoi componenti.

CAPITOLO 5 - Blockchain nel Supply Chain Management

Nei capitoli precedenti, sono state esposte le possibili applicazioni della blockchain in vari ambiti, illustrando la potenzialità di questa tecnologia e giungendo al tema centrale di questa ricerca: applicazione della tecnologia blockchain nel Supply Chain Management.

Andrò quindi in questo capitolo a descrivere l'importanza dell'utilizzo degli Smart Contract e ad illustrare i cambiamenti dovuti all'applicazione della tecnologia blockchain ai processi che compongono il Supply Chain Management.

5.1 Smart Contract

Prima di introdurre l'applicazione della blockchain nel Supply Chain Management, è necessario aprire una parentesi fondamentale sugli Smart Contract.

Nei capitoli precedenti è stato menzionato più volte il termine Smart Contract, in particolare è stato citato nei vari ambiti applicativi della blockchain senza fornire però un'accurata definizione, pertanto descriverò il concetto di Smart Contract, la sua definizione ed il suo possibile utilizzo nelle catene di approvvigionamento.

Letteralmente “Contratti Intelligenti” o Smart Contract dal punto di vista normativo, con la legge di conversione del Decreto Semplificazioni (Legge n. 12/2019, G.U. 12/02/2019) in vigore dal 13 febbraio 2019, è stata introdotta la definizione di Smart Contract: *“Si definisce “Smart Contract” un programma per elaboratore che opera su Tecnologie basate su registri distribuiti e la cui esecuzione vincola automaticamente due o più parti sulla base di effetti predefiniti dalle stesse. Gli Smart Contract soddisfano il requisito della forma scritta previa identificazione informatica delle parti interessate, attraverso un processo avente i requisiti fissati dall’Agenzia per l’Italia Digitale con linee guida da adottarsi entro 90 giorni dall’entrata in vigore della legge di conversione del decreto-legge.”* (Russo N., 2019)¹⁴⁵

Una delle caratteristiche principali della blockchain è la sua capacità di agire come una catena decentralizzata e condivisa tra tutte le parti della rete, eliminando così il coinvolgimento di intermediari. Questa proprietà è particolarmente utile poiché consente

¹⁴⁵ Russo N., 2019, Facciamo chiarezza sugli Smart Contract, <https://www.riskcompliance.it/news/facciamo-chiarezza-sugli-smart-contract>, (consultato il 31/12/2020).

di evitare qualsiasi rapporto con agenzie e dunque avere un risparmio in termini economici e di tempo.

Gli Smart Contract sono sicuramente l'applicazione più utilizzata della tecnologia blockchain, sono stati introdotti da Nick Szabo, uno studioso di diritto e crittografo nel 1994. Egli è giunto alla conclusione che qualsiasi libro mastro decentralizzato può essere utilizzato per eseguire contratti “automatici” che, in seguito, sono stati definiti come Smart Contract. (Russo S., 2019)¹⁴⁶

Gli Smart Contract hanno la necessitano di essere sviluppati come modelli in grado di realizzare relazioni tra parti diverse in automatico, utilizzando un linguaggio di programmazione in grado di reagire ad azioni al verificarsi di condizioni ben precise.

“Uno Smart Contract è la “traduzione” o “trasposizione” in codice di un contratto in modo da verificare in automatico l'avverarsi di determinate condizioni (controllo di dati di base del contratto) e di autoeseguire in automatico azioni (o dare disposizione affinché si possano eseguire determinate azioni) nel momento in cui le condizioni determinate tra le parti sono raggiunte e verificate.” (Bellini M., 2018)¹⁴⁷

Nella pratica vengono definite delle clausole del contratto per le quali devono verificarsi delle condizioni operative concordate per autoeseguire lo Smart Contract; pertanto si ha la necessità di un supporto legale quando viene sottoscritto un contratto intelligente, ma allo stesso tempo non se ne ha il bisogno per la verifica e l'approvazione dello stesso.

I contratti smart devono essere realizzati con descrizioni estremamente precise, devono far fronte a tutte le circostanze, condizioni e situazioni possibili che possono verificarsi dal momento in cui è stato stipulato il contratto fino alla sua estinzione.

Dunque è necessario che gli Smart Contract vengano sviluppati ed implementati su piattaforme blockchain, in questo modo il codice scritto non può essere modificato, ed inoltre i dati per cui si determinano le condizioni indicate dal contratto devono essere certificati ed affidabili; le informazioni degli Smart Contract sono elaborate in modo deterministico. (Singh N., 2020)¹⁴⁸

¹⁴⁶Russo S., 2019, Cosa sono gli smart contract e perché adottarli, <https://blog.yourtarget.ch/cosa-sono-smart-contract-e-perche-adottarli>, (consultato il 01/01/2021).

¹⁴⁷ Bellini M., 2018, Smart Contracts: che cosa sono, come funzionano quali sono gli ambiti applicativi, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/legal/smart-contract/blockchain-smart-contracts-cosa-funzionano-quali-gli-ambiti-applicativi>, (consultato il 01/01/2021).

¹⁴⁸ Singh N., 2020, How Contract Management Solutions And Blockchain Work Together, <https://101blockchains.com/contract-management-solutions-and-blockchain>, (consultato il 01/01/2021).

Essendo contratti realizzati in assenza di intermediari, questo meccanismo rappresenta una sicurezza, garantendo un'assoluta oggettività alle parti in gioco escludendo una qualsiasi forma di interpretazione.

Nell'ambito del Supply Chain Management gli Smart Contract sono stati affiancati all'utilizzo di dispositivi IoT, conferendo un controllo più sicuro ad esempio nelle fasi di approvvigionamento dei materiali; avvicinandosi al concetto di Industry 4.0 vengono portati nuovi paradigmi di Supply Chain basati su reti di produzione complesse ed intrecciate, tra fornitori di prodotti fisici, clienti, progettisti e gestione di servizi logistici, pertanto i concetti di Industria 4.0, blockchain e Smart Contract infatti, non solo si adattano strutturalmente insieme ma si completano l'un l'altro, aggiungendo il concetto di auto-miglioramento dell'azienda ed eseguendo un monitoraggio costante dei dati. (Prause G., 2019)¹⁴⁹

Poiché i contratti sono realizzati su blockchain, si ha la sicurezza che ciascun dato elaborato, e quindi l'esecuzione dei contratti, è realizzata e registrata su tutti i nodi della rete, in particolare risultano immutabili, irrevocabili e consultabili in tempo reale.

Uno Smart Contract è costituito da tre elementi,

- Un account, combinazione delle chiavi private dei due soggetti facenti parte del contratto, la chiave pubblica della rete utilizzata per verificare le informazioni.
- Un codice di esecuzione.
- Quota della memoria del registro distribuito.

Una volta che le due parti, in accordo comune, decidono i termini e le clausole del contratto, esso viene inserito in un blocco tramite le chiavi crittografiche; successivamente il blocco verrà esaminato dai nodi, tramite la chiave pubblica potranno verificare le informazioni contenute nel blocco e verificarne la validità, una volta avvenuta la sua approvazione verrà aggiunto alla catena di blocchi della rete.

Secondo una logica di funzionamento come IF/THEN, se il sistema registrerà gli avvenimenti secondo le clausole stabilite, il contratto potrà progredire; nel caso di violazione del contratto, in automatico si attiveranno soluzioni previste dal contratto.

¹⁴⁹ Prause G., 2019, Smart Contracts for Smart Supply Chains, IFAC (International Federation of Automatic Control) - Elsevier

5.2 Blockchain nel Supply Chain Management

Ogni due anni, la Banca Mondiale pubblica un rapporto che misura l'indice di performance logistica su 160 economie, ciò si basa su dati ottenuti attraverso un'indagine di oltre 1.200 professionisti nel campo della logistica in tutto il mondo. (Gonzalez A., 2016)¹⁵⁰ Sei fattori chiave vengono valutati nella gestione della Supply Chain: dogane, infrastrutture, spedizioni internazionali, qualità e competenza nella logistica, tracciabilità, monitoraggio e puntualità. Ad esempio, l'introduzione di miglioramenti nelle dogane e nei confini sono fattori critici di successo, pertanto, è necessario migliorare l'affidabilità delle filiere che collegano le economie ai mercati e trasformare l'attuale funzionamento delle organizzazioni.



Fig 5.1: Informazioni condivise in ogni archetipo della filiera, impatto sulla competitività e potenziale crescita delle organizzazioni.

Risultano quattro gli archetipi utilizzati fino ad ora, filiera tradizionale, commessa gestita dal fornitore, informazione condivisa e catena sincronizzata (Fig 5.1), al fine di ottenere un'evoluzione che favorisca la crescita delle performance logistiche globali con il supporto di tecnologie dirompenti come Big Data e blockchain.

Durante l'evoluzione della filiera (Fig 5.2), si osserva che tutte le transazioni sono realizzate con modelli centralizzati. Questi modelli portano le organizzazioni a investire in sistemi di gestione che dipendono dalla velocità di trasferimento e sull'accuratezza dei dati sulla gestione di soggetti terzi, sulla fiducia e sulla qualità dei rapporti di questi con gli elementi della catena; inoltre, questo rappresenta un costo aggiuntivo per la gestione in quanto rappresenta per l'organizzazione l'efficienza nella comunicazione.

¹⁵⁰ Gonzalez A., 2016, Germany Tops 2016 Logistics Performance Index, <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2016/06/28/germany-tops-2016-logistics-performance-index>, (consultato il 30/12/2020).

L'archetipo della catena decentralizzata cerca di rivalutare la visione centralizzata della gestione, proponendo un modello che favorisce l'interoperabilità tra tutte le organizzazioni della filiera che nasce dall'applicazione di un paradigma tecnologico emergente, chiamata blockchain.

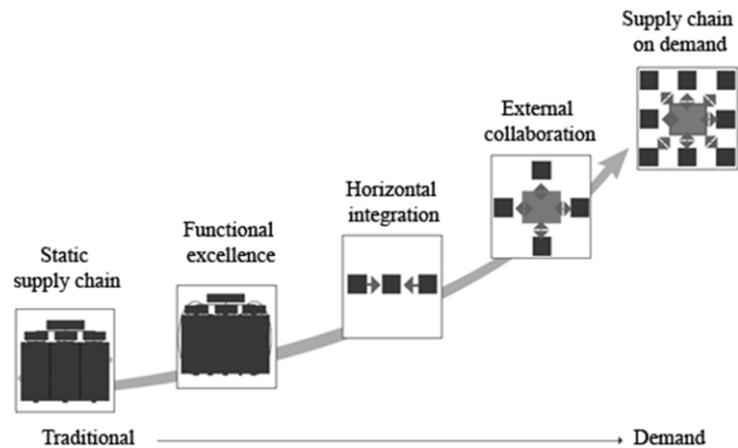


Fig 5.2: evoluzione del modello Supply chain (DeAngelis S., 2011)¹⁵¹

Dall'integrazione del modello di evoluzione della supply chain, contribuito da IBM Institute per Business Value Analysis (Fig 5.2) e i quattro archetipi, viene proposto un quinto archetipo (Fig 5.3) che si basa sull'evoluzione verso la collaborazione integrale attraverso catene decentralizzate, in cui le operazioni sono sviluppate secondo modelli automatizzati e dove esiste un flusso di informazioni comune e affidabile con database condivisi.

La proposta di integrazione con questo nuovo paradigma di configurazione decentralizzata, propone alle organizzazioni che compongono la filiera di crescere secondo le esigenze di un mercato dominante basato su rapporti sinergici che favoriscono la riduzione degli sprechi in termini di tempi e costi nei trasporti, nei processi e nella sovrapproduzione.

Inoltre, promuove rapporti di fiducia tra tutti gli anelli della catena, un fattore fondamentale di competitività.

¹⁵¹ DeAngelis S., 2011, Supply Chain Evolution and Transformation, <https://www.enterrasolutions.com/blog/supply-chain-evolution-and-transformation>, (consultato il 30/12/2020).

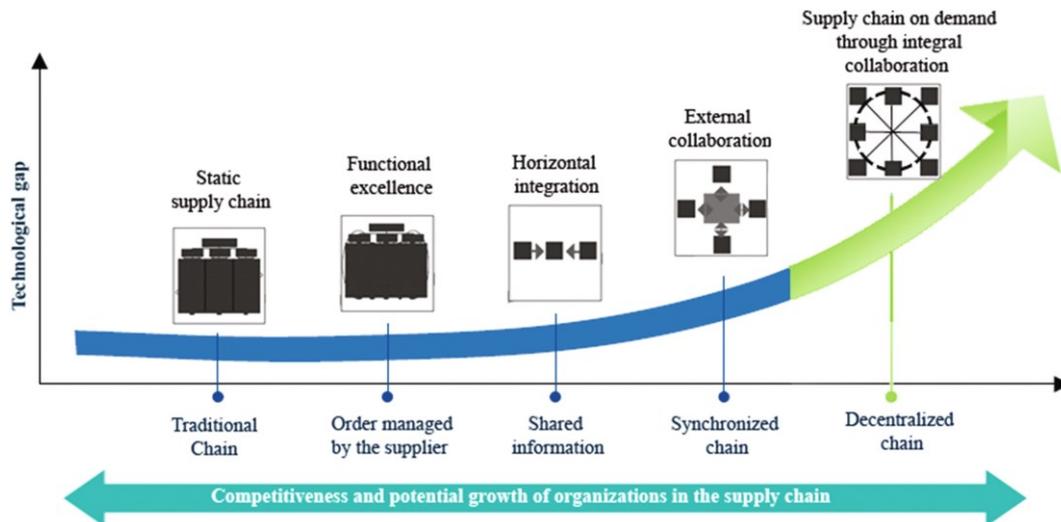


Fig 5.3: Proposta di un quinto archetipo a supporto dell'ultima fase di evoluzione della filiera. (Rubio M.A., Tarazona G.M., Contreras L., 2018)¹⁵²

L'evoluzione della filiera è supportata da strumenti tecnologici che consentono l'applicazione delle strategie necessarie per favorire e mantenere il potenziale di crescita delle organizzazioni.

La proposta del quinto archetipo come ultimo livello di evoluzione per la collaborazione integrale, si basa sull'applicazione della blockchain come base per il funzionamento di Supply Chain decentralizzate.

Dal 2012, ogni giorno vengono creati circa 2,5 exabyte ($\times 10^{18}$) di dati e tale numero è raddoppiato circa ogni 40 mesi, ad esempio, si stima che Walmart raccolga di più di 2,5 petabyte ($\times 10^{15}$) di dati all'ora dalle transazioni dei clienti. (McAfee A., Brynjolfsson E., 2012)¹⁵³

La facilità con il quale questo grande volume di dati, da diversi tipi di strutture, viene archiviato potrebbe essere definito come Big Data.

La funzionalità del quinto archetipo si basa sull'utilizzo dei Big Data sotto l'applicazione della blockchain, come è stato già ampiamente discusso nel capitolo 1 di questa ricerca, tutte le transazioni sono pubbliche, il che favorisce la creazione di una società completamente democratizzata, una rete di fiducia che elimina le necessità di intervento da parte di intermediari; inoltre promuove collaborazione tra i partecipanti che

¹⁵² Rubio M.A., Tarazona G.M., Contreras L., 2018, Big Data and Blockchain Basis for Operating a New Archetype of Supply Chain, *Springer International Publishing*.

¹⁵³ McAfee A., Brynjolfsson E., 2012, Big Data: The Management Revolution, <https://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution>, (consultato il 30/12/2020).

offre innumerevoli vantaggi rispetto alla tradizionale gestione della filiera, come la sicurezza delle informazioni, l'accesso immediato alle informazioni ed in tempo reale, tracciabilità end to end in pochi secondi, aumentando il livello di soddisfazione del servizio per il cliente finale e risparmiando tempo e denaro.

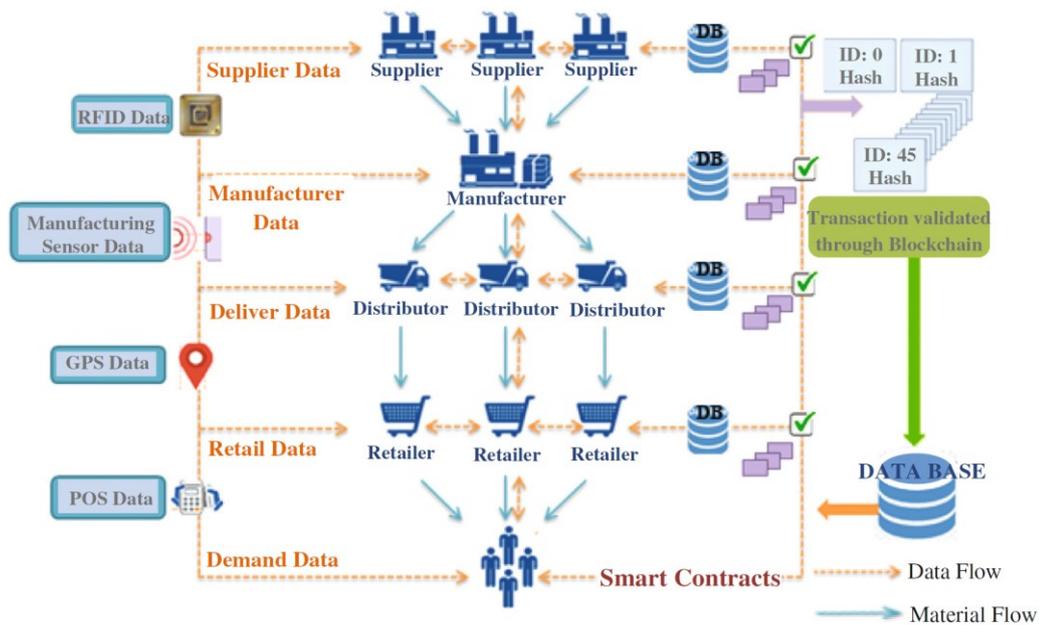


Fig 5.4: Funzionamento dell'archetipo di Supply Chain decentralizzata (Rubio M.A., Tarazona G.M., Contreras L., 2018)

In figura 5.4 viene descritto il funzionamento della catena decentralizzata, dove l'applicazione della sorgente Big Data con l'integrazione dei flussi informativi della blockchain permette di realizzare una collaborazione integrale, come ultimo livello dell'evoluzione dove viene proposta la fiducia tra i rapporti e l'equilibrio tra domanda e offerta, aumentando l'efficienza delle Supply Chain e la loro capacità di risposta al mercato.

La funzionalità del quinto archetipo si basa sull'utilizzo di un database condiviso tra tutti gli anelli della catena, dove una rete blockchain traccia uno specifico dato attivo, lo convalida con la crittografia di verifica e lo propaga automaticamente in tutto la rete della catena, creando una scia di informazioni verificabile permettendo di semplificare la complessità dei processi che compongono l'intera Supply Chain, offrendo una migliore esperienza dell'utente, basata sulle relazioni di fiducia attraverso un controllo della tracciabilità; inoltre favorendo la crescita sinergica della filiera, migliorando la crescita delle singole organizzazioni che la compongono.

Con l'avvento dell'Industry 4.0, l'utilizzo di internet ha accelerato la comunicazione rendendo più semplice ed immediata la coordinazione tra i membri della filiera che vengono integrati lungo la catena di distribuzione.

Implementando il protocollo con sensoristica IoT (Internet of Things) e con soluzioni di data analytics si possono avere sempre sotto controllo numerosi parametri dei beni tra cui temperatura, peso, umidità e ubicazione del collo all'interno del container. La digitalizzazione delle forniture consentirebbe alle imprese di digitalizzare anche il magazzino. (Labchain, 2019)¹⁵⁴

Per compensare le informazioni incomplete ed approssimative come la quantità di materiali in stock, dovute ad un'imprecisa pianificazione della domanda, le aziende sono spesso costrette ad aumentare il livello di giacenze nel magazzino, aumentando così i costi; la blockchain potrebbe assicurare un monitoraggio della domanda più accurato e migliorare le previsioni della domanda, garantendo un livello di servizio maggiore con livelli di stock inferiori.

Oggi, il processo di fornitura coinvolge fornitori a più livelli, la produzione, terzisti, magazzini regionali e nazionali, centri di distribuzione locali ed internazionali; il costo delle scorte è una preoccupazione per tutti i settori.

Con l'avvento della distribuzione omnicanale, il marketing, le vendite e la distribuzione dei prodotti diventano estremamente complessi e coinvolgono un numero maggiore di partner commerciali, ciò si traduce in una scarsa visibilità dell'offerta.

Adottare filosofie snelle come il Just-In-Time (JIT) prevede un inventario che risulti essere sempre disponibile nella quantità richiesta, questo approccio richiede una profonda fiducia tra i partner e la garanzia della disponibilità del prodotto al momento giusto e nella giusta quantità. Il mancato rispetto di queste richieste potrebbe compromettere l'efficienza dell'intera Supply Chain.

Assicurando impegni di fornitura in tutti i siti di produzione, le aziende possono promuovere la trasparenza della catena di approvvigionamento, riducendo così lo sforzo amministrativo, i costi e i prodotti contraffatti.

La blockchain può abilitare questi alti livelli di offerta, permettendo una condivisione dei dati di fornitura, gli stakeholder possono essere parte della rete condividendo le informazioni quando necessarie.

¹⁵⁴ Labchain, 2019, Blockchain e supply chain management, <https://www.fintastico.com/it/blog/blockchain-e-supply-chain-management>, (consultato il 31/12/2020).

Tale condivisione dei dati può essere impostata e gestita tramite contratti intelligenti dove il nodo richiesto condivide le informazioni rilevanti con una frequenza adeguata. Il modo migliore per condividere le informazioni è connettere il sistema ERP alla blockchain offrendo vantaggi significativi quali: (Banerjee A., 2018)¹⁵⁵

- Riduzione della contraffazione: fornire dettagli sulla provenienza del prodotto aiuta i partner a tracciare l'origine del prodotto, i materiali utilizzati per la sua realizzazione, la proprietà e dettagli di conservazione, eliminando così i prodotti contraffatti.
- Abilitazione del digitale: i dettagli del prodotto e il relativo ciclo di vita sono archiviati in un sistema in formato digitale, eliminando l'ambiguità del prodotto.
- Approvvigionamento migliorato: sebbene l'implementazione della blockchain tra tutti i partner sarà impegnativa, in particolare per i fornitori multipli e multistrato, porterà benefici a lungo termine come trasparenza, crescita e approvvigionamento responsabile.
- Operazioni più veloci: l'audit trasparente migliora la conformità dei regolamenti governativi e accelera lo sdoganamento, in particolare si elimina la necessità di richiedere rapporti sui paesi d'origine e documenti di sdoganamento/frontiera. Tutte queste informazioni saranno prontamente disponibili in blockchain per la verifica da parte delle agenzie governative.

Nei paragrafi successivi analizzerò l'applicazione della tecnologia blockchain nelle varie attività che compongono il Supply Chain Management, fornendo soluzioni in termini di sistemi trasparenti della gestione delle catene di approvvigionamento.

5.2.1 Blockchain nell'approvvigionamento e gestione dei fornitori

Procure-to-Pay o Source-to-Settle è un processo di approvvigionamento fondamentale che coinvolge decisioni di approvvigionamento, selezione dei fornitori, acquisizione dei fornitori, acquisti, ricezione, fatture e pagamenti; questo processo si estende oltre

¹⁵⁵ Banerjee A., 2018, Blockchain Technology: Supply Chain Insights from ERP, Advances in Computers volume 111 – Blockchain Technology: Platforms, Tools and Use Cases.

la divisione acquisti per includere finanza, magazzino e dipartimenti legali. (Murphy K., 2019)¹⁵⁶

In genere, tutti questi processi si verificano in un sistema ERP che coinvolge trasferimento di dati e interazione tra partner commerciali.

Ad esempio, nei sistemi tradizionali i team legali e di procurement negoziano con il trading partner per stabilire standard, termini e condizioni, ed infine i dati concordati vengono trasferiti attraverso sistemi di database ed archiviati usualmente in formato elettronico o cartaceo. Con l'adozione della blockchain si può cambiare in modo significativo le modalità con cui queste transazioni avvengono, la blockchain può fungere come unico archivio per lo scambio di dati e per la fatturazione.

Come descritto nel capitolo 4, il processo di approvvigionamento e gestione dei fornitori è composto da diverse attività, è possibile stimare le conseguenze e gli effetti nell'adozione della blockchain in alcune di esse secondo lo schema in Fig 5.5.



Fig 5.5: Applicazione blockchain al processo di approvvigionamento e gestione dei fornitori. (Adattato da La Rocca A.)

- Ricerca e qualifica fornitori: la blockchain può aiutare a formare consorzi in scenari aziendali specifici e consentendo inoltre la condivisione delle informazioni come le prestazioni dei fornitori, la credibilità e gli aspetti sulla qualità della fornitura. Questo permette alle organizzazioni di poter confrontare i fornitori nei vari consorzi, consentendo ai partner della blockchain di prendere decisioni sui potenziali fornitori e future decisioni di approvvigionamento.

- Selezione fornitori e negoziazione: la maggior parte dei termini di pagamento, di trasporto e di negoziazione non sono standardizzati tra i partner commerciali. Ciò signi-

¹⁵⁶ Murphy K., 2019, The Differences Between Source To Pay and Procure To Pay, <https://www.purchasecontrol.com/blog/source-to-pay-vs-procure-to-pay>, (consultato il 02/01/2021).

fica che le organizzazioni devono destreggiarsi tra diverse proposte di fornitori collocati in varie aree geografiche, caratterizzati da categorie e business differenti. La blockchain può semplificare questa attività utilizzando contratti intelligenti, eliminando la necessità di utilizzare una moltitudine di file e riducendo la manutenzione dei dati, poiché si utilizzerebbe un archivio dati decentralizzato di termini e condizioni, accessibile a tutti i partner dell'impresa. Usualmente i partner commerciali comunicano tra loro tramite e-mail, in questo modo è possibile introdurre un sistema di messaggistica basato su blockchain consentendo uno scambio di informazioni sicure e trasparenti; così facendo i dati non risultano sparsi in diversi database con la possibilità di essere modificati, ottenendo rappresentazioni diverse della comunicazione tra i membri della filiera. (Stinnes A., 2020)¹⁵⁷

- Monitoraggio e controllo: essendo il fornitore ed il cliente legati tra loro tramite la blockchain, questi possono collaborare attraverso uno scambio reciproco di informazioni; ad esempio il fornitore può consultare in tempo reale il livello di stock in magazzino e le stime sulla domanda del cliente, e dal momento in cui è stata elaborata la richiesta di fornitura il cliente può verificare in ogni istante la tracciabilità del prodotto, verificando le specifiche di produzione, la modalità di trasporto, tempi sulla consegna della merce ed altre informazioni utili al cliente. È possibile effettuare solleciti dovuti a ritardi sulla consegna ed in tal caso applicare automaticamente le penali previste dallo Smart Contract.

- Valutazione fornitori: controversie sulle fatture dei fornitori per le merci consegnate sono una preoccupazione molto comune e fondamentale in tutte le aziende. In media, il 10 - 40% di tutte le fatture dei fornitori sono contestate (Fidesic Corporation, 2020)¹⁵⁸. L'indagine IBM Global Finances mostra che negli Stati Uniti oltre \$ 100 milioni di fatture sono in discussione tra l'acquirente e il fornitore, richiedendo una media di 40 giorni per la risoluzione. (Groenfeldt T., 2016)¹⁵⁹

Blockchain può eliminare tali cause di controversia con l'adozione degli Smart Contract consentendo di utilizzare la prova dell'origine e la registrazione della transazione

¹⁵⁷ Stinnes A., 2020, Is blockchain perfect for the supply chain?, <https://www.dcvelocity.com/articles/44343-is-blockchain-perfect-for-the-supply-chain>, (consultato il 03/01/2021).

¹⁵⁸ Fidesic Corporation, 2002, The True Costs of Invoicing and Payment, (<http://www.enlivensoftware.com/Portals/0/docs/Cost%20of%20Invoicing.pdf>).

¹⁵⁹ Groenfeldt T., 2016, IBM Trials Blockchain For Supply Chain Dispute Resolution, <https://www.forbes.com/sites/tomgroenfeldt/2016/11/03/ibm-trials-blockchain-for-supply-chain-dispute-resolution/?sh=21232ae12496>, (consultato il 03/01/2021).

verificabili grazie al registro immutabile della blockchain, autenticando così la domanda, i trasferimenti e le transazioni, riducendo l'insorgere di controversie. Anche in caso di controversie i dati della blockchain fungono da verità ultima per risolvere facilmente le problematiche che potrebbero nascere tra acquirente e fornitore. Inoltre, fornendo una valutazione di post-acquisto, è possibile intraprendere azioni correttive per migliorare il rapporto tra i partner.

L'applicazione della tecnologia blockchain nelle fasi di approvvigionamento e gestione dei fornitori può cambiare radicalmente lo svolgersi delle attività di questa fase, ogni cambiamento effettuato da ciascuna parte viene automaticamente trascritto ed aggiornato nel database, ove ogni singolo attore può verificare ed approvare tali modifiche in tempo reale.

Il tempo nelle fasi di stipulazione del contratto e di gestione dei fornitori è notevolmente ridotto, riducendo costi e semplificando eventuali azioni correttive; migliorando il rapporto tra imprese ed incrementando la fiducia e la trasparenza, è possibile costruire collaborazioni tra cliente e fornitore a lungo termine.

Fondamentale è l'eliminazione di potenziali truffatori i quali non potranno eseguire transazioni non autentiche o tentare di modificare transazioni esistenti.

Nello schema in Fig 5.6 viene proposta una sequenza temporale di un possibile processo basato su blockchain:

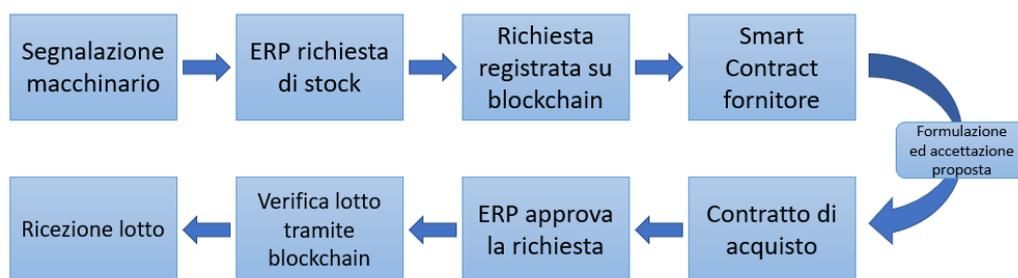


Fig 5.6: processo di approvvigionamento basato su blockchain. (Adattato da La Rocca A.)

5.2.2 Blockchain nella manutenzione e parti di ricambio

Tipicamente, i registri di manutenzione di un'automobile di solito risiedono nei database di concessionarie, officine di riparazione o società di assicurazioni, ciò rende difficile il processo di OEM¹⁶⁰ per divulgare nuove modifiche a nuovi progetti, modelli esistenti o prodotti venduti. In caso di ritiro del prodotto, il produttore è costretto a dipendere dai rivenditori in quanto non si ha l'accesso diretto alle informazioni sui clienti; la blockchain non solo risolve questi problemi, ma consente ai produttori di promuovere nuovi progetti e monitorare i prodotti sul mercato.

L'assistenza e la manutenzione del prodotto sono processi complessi che riuniscono diverse aziende come OEM, società di assistenza, team tecnici, catene di fornitura, rivenditori e servizi tecnici. Coinvolgere così tante parti diverse significa anche coinvolgere diversi metodi di archiviazione dei record come PLM, sistemi ERP, database, fogli Excel, e-mail e persino stampe cartacee. Nel mondo manifatturiero moderno, un prodotto tende ad essere una fusione di parti prodotte da aziende diverse. Quando si tratta di un prodotto specifico, raccogliere tutte le informazioni richieste è molto difficile, e con l'aggiunta di vincoli di tempo, risulta quasi impossibile.

La tracciabilità ed il controllo del livello di stock sono gli aspetti più critici nella gestione della Supply Chain dei pezzi di ricambio, in particolare ogni componente ha caratteristiche diverse, che possono essere installati, rimossi e spediti tra le varie organizzazioni più volte nel corso del loro ciclo di vita; inoltre, la crescente domanda di componenti e parti di ricambio motiva il produttore all'utilizzo di OEM per fornire direttamente un supporto di assistenza ed assicurazione al cliente. (Hasan R.H., et al., 2020)¹⁶¹

La tipologia, la natura e la complessità delle parti di ricambio spingono la richiesta di algoritmi sempre più complessi ed ottimizzati, per assicurare una pianificazione robusta ed un processo decisionale efficiente durante la gestione della catena di fornitura.

¹⁶⁰ è l'acronimo di *Original Equipment Manufacturer*, cioè "produttore di apparecchiature originali" ovvero un'azienda che realizza prodotti, parti o componenti utilizzati poi da altre società definite "casa madre" che vi appongono il proprio logo sopra. La "Casa Madre" con l'utilizzo di OEM può realizzare prodotti utilizzando integralmente o quasi componenti prodotti da fornitori (gli OEM) e spesso senza dover entrare all'interno dei processi produttivi. I prodotti OEM sono, quindi, quei prodotti con design personalizzato che vengono realizzati dai produttori OEM tramite l'utilizzo di componenti standard, ma con il marchio dell'azienda che li commercializza.

¹⁶¹ Hasan R.H., Salah K., Jayaraman R., Ahmad W.R., Yaqoob I., Omar M., 2020, Blockchain-based Solution for the Traceability of Spare Parts in Manufacturing, *IEEE Access*.

Lo scopo principale è quello di garantire un livello di servizio soddisfacente per il cliente. Utilizzando la blockchain, le aziende manifatturiere sono in grado di migliorare la velocità con cui vengono rintracciati i difetti su uno specifico prodotto e quindi risalire al produttore dei suoi componenti e materiali. Aiuta ad aumentare la sicurezza, migliorare il servizio e il funzionamento con lo scopo di ridurre i costi di manutenzione.

I fornitori e i produttori di componenti possono etichettare i loro prodotti e rintracciare le parti che li compongono, con tutte le operazioni di assistenza e manutenzione effettuate relative ai prodotti contrassegnati. (OpenBOM, 2017)¹⁶²

5.2.3 Blockchain nella pianificazione

Con l'avvento della pianificazione collaborativa di previsione e approvvigionamento, i livelli delle catene di approvvigionamento oggi sono inseriti e condivisi in una catena di fornitura integrata, la previsione è sincronizzata tra i partner per migliorare la pianificazione della fornitura. La maggior parte dei prodotti ERP fornisce la pianificazione dei fornitori per condividere la domanda tra i partner.

Tale condivisione è abilitata tramite diverse soluzioni:

1. Transazioni EDI: i clienti utilizzano le transazioni di pianificazione o le transazioni di spedizione in un formato elettronico standard per la condivisione delle informazioni tra i partner delle imprese, tali transazioni sono definite con la sigla EDI (Electronic Data Interchange).
2. Condivisione di Excel: molte aziende utilizzano un formato Excel predeterminato per condividere le richieste tra i partner. Questi file Excel vengono generalmente caricati nel sistema di gestione dei fabbisogni di materiali (MRP) per migliorare la catena di approvvigionamento.
3. Modifica diretta ERP: avviene una manutenzione diretta al sistema di gestione, infatti molti sistemi ERP (Enterprise Resource Planning) forniscono ai clienti un login

¹⁶² OpenBOM, 2017, How blockchain can change product service and maintenance, <https://medium.com/@openbom/how-blockchain-can-change-product-service-and-maintenance-e323dcd10811>, (consultato il 07/01/2021).

specifico per accedere al sistema in modo tale da poter caricare, modificare e confermare richieste. Queste richieste vengono successivamente utilizzate per guidare la catena di approvvigionamento tramite MRP (Material Requirements Planning).

Poiché la condivisione dei dati è limitata a queste tre opzioni, non esiste integrazione in tempo reale, i dati devono essere scambiati più volte prima di essere definitivamente approvati ed utilizzati nella pianificazione della fornitura. Questo crea confusione per quanto riguarda i dati finali, determinando la necessità di implementare processi aggiuntivi come l'approvazione delle previsioni, con un conseguente rallentamento nell'attività di pianificazione. Inoltre, questo approccio non offre visibilità della domanda ai partner della catena di fornitura, all'interno di un'azienda e tra le aziende.

Le imprese che vogliono adottare le filosofie della produzione snella (Lean Production) nel Supply Chain Management devono sincronizzare i dati dei programmi di produzione ed esigere tali requisiti tra tutti i partner in modo che possano rispondere sinergicamente ai cambiamenti della domanda. Tuttavia, ciò richiede visibilità dei dati in tempo reale, fiducia, regole di ingaggio e, soprattutto, la giusta tecnologia per supportare tali interazioni tra i partner.

In questo scenario, la blockchain può fornire una vera trasformazione migliorando le modalità con cui vengono eseguite le transazioni, in tal caso la scelta migliore è l'adozione di una blockchain privata (Permissioned ledgers) in quanto i partner e le loro relazioni devono essere verificate prima di essere integrati nella blockchain autorizzata. Gli Smart Contract possono essere utilizzati per impostare regole e condividere dati affidabili in tempo reale, consentendo di migliorare l'accuratezza della previsione; ciò elimina la necessità di approvazioni previsionali e riconciliazioni, consentendo alle organizzazioni di rispondere in modo intuitivo e veloce alle richieste dinamiche della Supply Chain.

Come citato nel capitolo 4, vi sono diverse tecniche adottate per la gestione dei materiali tra cui VMI e CS, dove l'obiettivo è quello di rendere disponibili le informazioni in tempo reale tra monte e valle dell'impresa e viceversa, riducendo le scorte in magazzino ed in particolare migliorando la gestione della domanda del cliente finale.

Uno dei principali impedimenti nell'adozione di tecniche VMI è che solitamente il retailer gode di maggiori benefici rispetto al fornitore, come riduzione dei costi di stoccaggio e di movimentazione, in quanto la responsabilità del rifornimento passa nelle

mani del produttore che decide la quantità da inviare in base alle informazioni sulle vendite ed il livello di stock presso i centri di distribuzione. (Casino F., et al., 2019)¹⁶³

L'implementazione della blockchain in sistemi già esistenti che adottano tali tecniche di gestione, potrebbe apportare notevoli benefici:

- Sensori IoT: con l'ausilio di strumenti di controllo è possibile segnalare il livello di stock in magazzino trasmettendo i dati su blockchain.
- Integrazione con sistema ERP: integrando la blockchain a sistemi di gestione come ERP, il vendor è in grado di calcolare il fabbisogno del retailer in funzione della domanda e delle previsioni di vendita, ed attraverso l'utilizzo di Smart Contract l'offerta viene inviata e codificata tramite ERP che stabilisce la quantità da inviare in una determinata finestra temporale. Tale offerta è visualizzabile da tutti i nodi della rete appartenenti alla Supply Chain.
- Visualizzazione in tempo reale: il sistema ERP del retailer riceverà le quantità calcolate secondo quanto indicato dallo Smart Contract, di conseguenza l'ordine di replenishment verrà accettato e dal magazzino verranno spedite le quantità richieste.

La merce dal magazzino del vendor verrà trasferita a quello del retailer tramite i distributor.

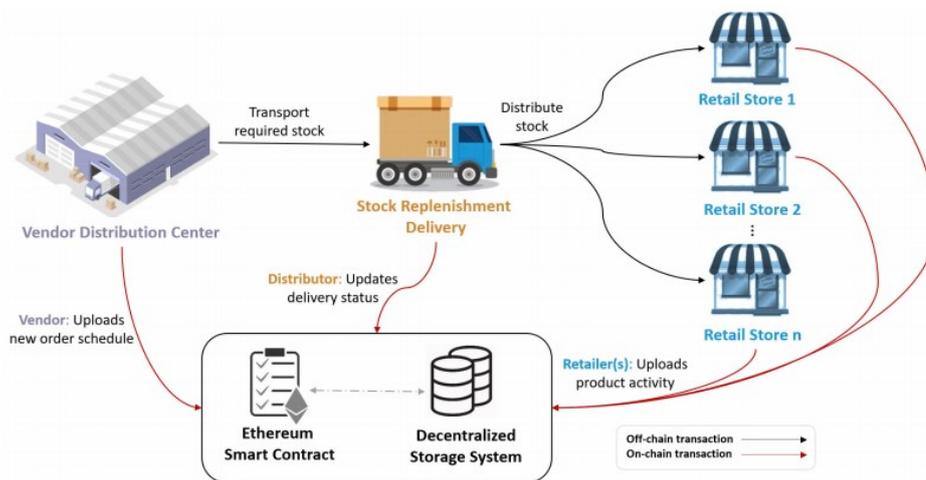


Fig 5.7: Panoramica di un sistema VMI tramite Smart Contract e sistema di archiviazione decentralizzato. (Ilhaam A., et al., 2020)¹⁶⁴

¹⁶³ Casino F., Dasaklis K. T., Patsakis C., 2019, Enhanced Vendor-managed Inventory through Blockchain, *IEEE Access*.

¹⁶⁴ Ilhaam A., et al., 2020, 2020, Enhancing Vendor Managed Inventory Supply Chain Operations Using Blockchain Smart Contracts, *IEEE Access*.

L'informazione è trasmessa a tutti i nodi della Supply Chain e in questo modo ciascuno di essi è in grado di allineare la produzione e la gestione dei materiali in funzione delle richieste effettuate; ogni attore della Supply Chain può verificare il livello di stock, i Lead Time di produzione e di spedizione in quanto i dati sono tutti visibili e condivisi sulla rete blockchain, migliorando il processo di pianificazione e controllo della produzione.

Una soluzione VMI basata su blockchain consente una maggiore produttività e migliori prestazioni della catena di approvvigionamento, stabilendo una forte comunicazione tra i diversi partner commerciali e promuovendo la trasparenza; si assicura una forte partnership lungo tutta la catena con un aumento della fiducia tra le parti interessate. Inoltre, migliora l'accuratezza dell'ordine garantendo l'integrità dei dati portando un aumento dei profitti a tutti gli stakeholder della catena di fornitura.

Il sistema di gestione VMI potenziato con l'adozione della blockchain offre una soluzione conveniente ed un approccio efficiente alle strategie di inventario e rifornimento in varie catene di approvvigionamento, incentrandosi sull'utilizzo di Smart Contract per la gestione delle transazioni in modo decentralizzato senza la necessità di intermediari.

5.2.4 Blockchain nella produzione

L'azienda Foxconn è una delle prime imprese ad utilizzare la tecnologia blockchain per semplificare l'integrazione con i suoi partner con lo scopo di snellire il movimento di denaro e merci, in particolare migliorando l'efficienza nella produzione ad alta tecnologia abilitando gli aggiornamenti in tempo reale di informazioni sulla domanda, fornitura, stato di produzione e disponibilità dei prodotti finiti e materie prime. (Neil S., 2017)¹⁶⁵

La competitività nelle imprese manifatturiere si traduce in sfide chiave da superare, come garantire la qualità del prodotto, evitare componenti contraffatti, rispettare le conformità dettate dalle normative, rimanere competitivi con prodotti migliori a costi

¹⁶⁵ Neil S., 2017, Blockchain Meets the Manufacturing Supply Chain, <https://www.automation-world.com/factory/supply-chain-management/blog/13317960/blockchain-meets-the-manufacturing-supply-chain>, (consultato il 04/01/2021).

inferiori, garantire la trasparenza della catena di approvvigionamento, controllare i costi, gestire una fornitura frammentata, gestione di dati e record, collaborazione tra fornitori e produttori.

Uno sguardo più da vicino a queste sfide mostra che le capacità intrinseche della blockchain possono essere utilizzate per offrire vantaggi significativi. La domanda principale è: come può la blockchain affrontare tali sfide per i produttori?

Una blockchain autorizzata conferisce il controllo dei partner della catena di fornitura risultando come nodo della rete, agendo come un registro distribuito centralizzato di proprietà del produttore. Conferisce la capacità di raccogliere dati da più ERP appartenenti a clienti, fornitori e distributori, questi dati possono quindi essere utilizzati dal produttore originale per il processo decisionale, utilizzando trasparenza e aggiornamenti di stato, in questo modo, la blockchain affronta la sfida delle catene di approvvigionamento frammentate.

Per essere conformi agli audit, i produttori necessitano di certificati che di solito sono ottenuti dopo molte pratiche burocratiche, come e-mail, telefonate, visite in loco, controlli a sorpresa, ed inoltre, i produttori spesso non hanno visibilità sullo stato e sulle operazioni di un produttore; la blockchain può aiutare i produttori a ottenere risultati migliori sulle normative governative poiché tutte le transazioni legali sono archiviate crittograficamente nella blockchain. Qualsiasi revisore o ente governativo può accedere al nodo blockchain sul database distribuito e utilizzarlo per lo scopo previsto, i dati immutabili memorizzati sulla blockchain semplificano il processo burocratico riducendo così i costi ed i tempi necessari per realizzare tali operazioni. (Camerinelli E., 2016)¹⁶⁶

Inoltre, la blockchain consente di monitorare il costo dei prodotti da più fonti per avere una stima più robusta sul costo del prodotto finale.

Attraverso sistemi di controllo della produzione IoT collegati fra loro su piattaforma blockchain è possibile ottenere informazioni sullo stato di lavorazione delle macchine, come Lead Time produzione, tempi di set-up, tempi di fermo per manutenzione; è possibile stabilire delle azioni in base al verificarsi di condizioni premeditate, ad esempio quando un lotto di produzione è pronto per la movimentazione, con l'ausilio di

¹⁶⁶Camerinelli E., 2016, https://www.logisticmanagement.it/it/articoli/20161124/blockchain_nella_supply_chain, (consultato il 07/10/2020).

vettori AGV/LGV è possibile programmare in automatico la movimentazione del lotto secondo un percorso prestabilito, oppure posizionare la macchina in standby su previsione di una manutenzione programmata con lo scopo di ridurre i tempi di fermo macchina e riducendo al minimo gli sprechi.

Un cambiamento radicale che la blockchain apporterebbe all'attività di produzione è la completa digitalizzazione dei documenti necessari alla lavorazione dei materiali, come cicli di lavoro per macchine CNC, che necessitano di particolari documentazioni con specifiche tecniche riguardanti le operazioni da svolgere sul materiale da lavorare, in questo caso essendo ogni file digitalizzato sulla rete è possibile ridurre l'errore umano causato da errate documentazioni caricate sulle macchine, eliminare l'utilizzo di cicli di lavoro in forma cartacea che spesso sono soggetti a smarrimenti, ed inoltre, ciascuna documentazione specifica relativa ad ogni lavorazione è registrata sulla rete ed è possibile verificare in tempo reale lo stato di ogni lavorazione se è eseguita, in esecuzione o non ancora eseguita.

Ogni prodotto può essere allegato con un'etichetta informativa sottoforma di codice a barre, RFID o codice QR, questo tag rappresenta un identificatore crittografico digitale univoco che collega il prodotto fisico alla sua identità virtuale sulla rete, verificando la descrizione del prodotto, l'ubicazione, le certificazioni e l'associazione con altri prodotti. Vengono registrate tutte le movimentazioni del prodotto durante il suo ciclo di vita, dal cambio di proprietà tra produttori, fornitori, distributori ed infine al suo cliente finale. (Tricomi N., 2020)¹⁶⁷

Sistemi di tracciabilità come RFID, possono essere efficienti anche se la loro semplicità rappresenta un problema in quanto facilmente manomessibili. Le opzioni di tracciabilità di base possono essere messe a dura prova anche dai processi produttivi dei diversi fornitori, i cui componenti vengono poi assemblati per realizzare il prodotto finale. Questa situazione può risultare particolarmente complessa nei processi a ciclo continuo, pertanto integrare questi sistemi alla blockchain migliorerebbe la sicurezza di questi dispositivi ostacolandone la manomissione.

¹⁶⁷ Tricomi N., 2020, Tracciabilità della logistica alimentare: dall'RFID all'IoT, passando per la Blockchain, <https://www.digital4.biz/supply-chain/tracciabilita-della-logistica-alimentare-dallrfid-alliot-passando-per-la-blockchain>, (consultato il 10/01/2021).

Nella Fig 5.8 viene presentata una panoramica su un possibile concept:

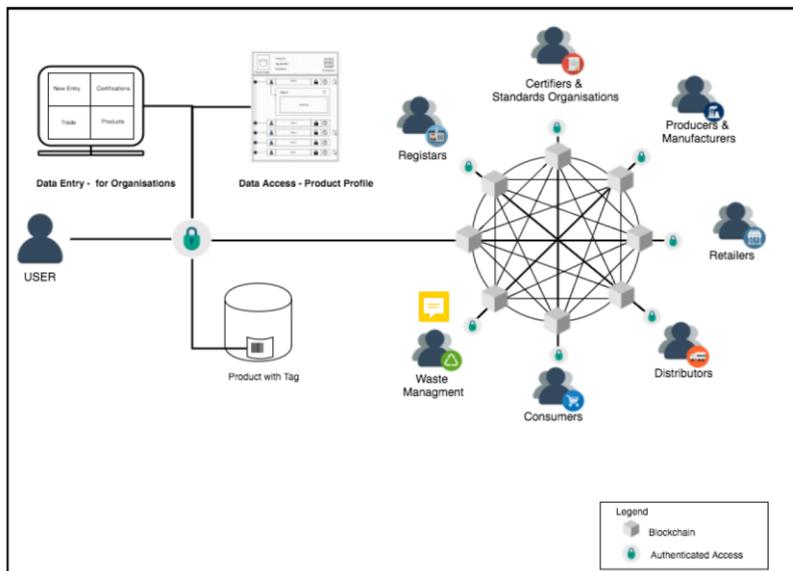


Fig 5.8: Panoramica del concetto proposto. (Saveen A. A., Radmehr P. M., 2016)¹⁶⁸

5.2.5 Blockchain nella logistica e trasporti

Il settore della logistica sta attualmente subendo forti cambiamenti dovuti a sfide sempre più impegnative, come scarsa comunicazione tra i partner, non conformità con i regolamenti governativi, scarsa responsabilità, condivisione ritardata delle informazioni e problematiche ambientali. (Kavas S., 2015)¹⁶⁹

Il flusso di informazioni nel settore della logistica è altamente inefficiente, soggetto a errori, dati non digitali e non automatizzati.

La blockchain può garantire una maggiore trasparenza, ridurre o rimuovere le dipendenze dagli intermediari, abilitare la visibilità dell'inventario nella catena di fornitura e promuovere un monitoraggio e una comunicazione più efficace dei sistemi tradizionali. Queste capacità possono migliorare in modo significativo il funzionamento della logistica, uno dei primi progetti è stato realizzato da Maersk e IBM che hanno sviluppato congiuntamente una piattaforma di digitalizzazione del commercio globale basata su blockchain, qualsiasi azienda che utilizza questa piattaforma potrà effettuare trasferi-

¹⁶⁸ Saveen A. A., Radmehr P. M., 2016, Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger, *International Journal of Research in Engineering and Technology – IJRET*.

¹⁶⁹ Kavas S., 2015, The five biggest problems of global logistics, <https://www.morethanshipping.com/the-5-biggest-problems-of-global-logistics>, (consultato il 05/01/2021).

menti di merci in maniera completamente digitalizzata e senza interruzioni. Ciò è possibile perché le organizzazioni doganali sono un nodo facente parte della rete e possono identificare cosa, quando, dove e quanto viene trasferito. (Van Kralingen B., 2018)¹⁷⁰

Un altro esempio è Transport Alliance che fornisce una piattaforma standardizzata basata su blockchain per il settore dei trasporti monitorando la movimentazione delle merci prevenendo il rischio di furti, in particolare accelera il processo di sdoganamento, riducendo i tempi di consegna, migliorando la visibilità e la tracciabilità del prodotto in sia per i clienti che per i fornitori, ottenendo aggiornamenti sullo stato della spedizione in tempo reale, verificando se vi sono disastri ambientali e valutando percorsi alternativi; inoltre, vengono fornite informazioni sulla capacità del container, la capacità del magazzino ed è in grado di fornire informazioni utili per promuovere iniziative ecologiche per la favorire la sostenibilità ambientale. (Patel D., 2017)¹⁷¹

L'eliminazione di figure intermedie riduce il tempo con cui vengono elaborate richieste di movimentazione, semplificando operazioni come l'accettazione, la verifica e l'autorizzazione dei contratti di spedizione utilizzando Smart Contract; essendo i contratti gestiti in mondo intelligente, i pagamenti vengono effettuati in automatico quando la merce arriva a destinazione.

È possibile schematizzare i principali benefici che la blockchain applicata all'attività del Logistic Management potrebbe apportare:

- Visualizzazione in tempo reale: è possibile registrare, consultare, aggiornare e condividere numerose informazioni ed assicurare la trasparenza e la visibilità a ciascun nodo della rete; eliminando la condivisione di dati tramite email, strumenti di messaggistica o rapporti telefonici è possibile ridurre i tempi con cui questi dati vengono raccolti ed elaborati.

- Sicurezza del registro: essendo una blockchain ristretta ad un numero ben definito di partecipanti, quali i partner della Supply Chain, è possibile ostacolare azioni scorrette da parte di malintenzionati come la modifica dei dati e la condivisione di dati privati.

¹⁷⁰ Van Kralingen B., 2018, IBM, Maersk Joint Blockchain Venture to Enhance Global Trade, <https://www.ibm.com/blogs/think/2018/01/maersk-blockchain>, (consultato il 05/01/2021).

¹⁷¹ Patel D., 2017, UPS bets on blockchain as the future of the trillion-dollar shipping industry, <https://techcrunch.com/2017/12/15/ups-bets-on-blockchain-as-the-future-of-the-trillion-dollar-shipping-industry>, (consultato il 05/01/2021).

- Privacy: le informazioni riguardante dati sensibili dei partner, come specifiche tecniche e prestazioni dell'impresa sono tenuti al sicuro poiché crittografati sulla rete.
- Qualità ed autenticità: essendo a conoscenza di ogni singolo passaggio di proprietà dei prodotti utilizzati si assicura che il prodotto non sia stato contraffatto e che provenga da fonti sicure come indicato dal registro distribuito.
- Riduzione tempi e costi: l'eliminazione di figure intermedie permette la riduzione di tempi dovute ad operazioni di accettazione e verifica delle merci lavorate, in particolare con l'ausilio di Smart Contract queste operazioni sono automatizzate riducendo i costi.
- Integrabilità: è possibile integrare sistemi di gestione come ERP alla blockchain, inoltre sfruttare strumenti di monitoraggio come Internet of Things.
- Riduzione errore umano: con l'utilizzo di strumenti informatici ed automatizzando molti dei processi burocratici come la condivisione di documenti, il caricamento di specifiche tecniche sulle macchine è possibile ridurre l'errore umano riducendo i costi attribuiti in perdite ed azioni correttive.

È necessario stabilire un buon rapporto di fiducia tra i partner della catena di distribuzione per ottenere un'elevata efficienza nel coordinamento tra i vari attori della Supply Chain. (Mehrdokht P., et al., 2019)¹⁷²

5.2.6 Blockchain nell'evasione degli ordini

Quando un prodotto arriva presso la sede del cliente, quest'ultimo non ha informazioni chiare sui vari passaggi di proprietà del prodotto, chi lo ha gestito e che tipo di processi sono stati coinvolti durante la sua produzione. La blockchain può memorizzare le informazioni sui prodotti in tutto il suo ciclo di vita, ad esempio come è stato realizzato, chi l'ha realizzato, dove è stato realizzato e la sua provenienza.

Questo fornisce ai clienti funzionalità track-and-trace (Fretty P., 2020)¹⁷³, che consentono una migliore visibilità, un maggiore controllo, un rischio inferiore di contraffazione ed una conformità normativa più efficiente.

¹⁷² Mehrdokht P., et al., 2019, Ibidem, pag. 11

¹⁷³ Fretty P., 2020, Blockchain: When Accurate Tracking, Tracing and Recording Matter, <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21132176/blockchain-when-accurate-tracking-tracing-and-recording-matter>, (consultato il 03/01/2021).

Inoltre abilitando contratti intelligenti tra partner commerciali, la blockchain può fornire un record digitale e automatizzato che viene costantemente aggiornato con lo stato di merci vendute e consegnate.

L'uso della blockchain per abilitare la tracciabilità della provenienza del prodotto sta riscontrando un grande interesse ed una rapida adozione attraverso due principali tipi di soluzioni:

- Tracciamento indipendente tramite blockchain: aziende come Provenance e Sourcemap forniscono il diritto di tracciamento del prodotto indipendente dalle materie prime o dall'origine del prodotto finito che viene consegnato al consumatore. Provenance funziona su piattaforme come Ethereum ed è una soluzione blockchain completa. Sourcemap è una piattaforma interattiva che utilizza una mappa globale per mostrare agli utenti da dove provengono i vari elementi del prodotto.

- Soluzioni di provenienza personalizzate: i fornitori di servizi software possono utilizzare il framework blockchain per costruire soluzioni di provenienza per i propri clienti, ad esempio, Infosys ha sviluppato una soluzione di provenienza del prodotto che utilizza i servizi Oracle Blockchain Cloud che si basa sul tessuto Hyperledger. (Banerjee A., 2017)¹⁷⁴ Ad esempio utilizza un file soluzione di tracciamento della provenienza dei chicchi di caffè per i propri clienti.

Questi esempi dimostrano che è necessaria una soluzione di provenienza personalizzata che può essere sviluppata con prodotti o settori specifici.

È importante notare che l'idea di provenienza può funzionare solo quando tutti gli stakeholder della catena di approvvigionamento fanno parte della rete blockchain.

L'architettura della blockchain traccia intrinsecamente i prodotti mentre passano da un'entità della catena di approvvigionamento ad un'altra, queste transazioni vengono memorizzate come blocchi e sono cronologicamente collegate secondo il movimento fisico dei beni.

¹⁷⁴ Banerjee A., 2017, Product Provenance and Supply Chain Transparency using Oracle Blockchain Services - An Infosys offering!, https://www.infosysblogs.com/oracle/2017/10/product_provenance_and_supply_.html, (consultato il 06/01/2021).

Un esempio calzante di provenienza e visibilità della catena di fornitura è l'etica soluzione di tracciabilità dei frutti di mare fornita da Hyperledger, nella quale viene registrato il percorso dei prodotti dalla loro origine, ovvero dove viene pescato fino al consumatore finale; i clienti possono visualizzare tutte queste informazioni sul proprio smartphone utilizzando un'applicazione mobile.

Quando il pesce viene catturato, è collegato a sensori IoT che ne tracciano il movimento durante il trasporto, il meccanismo di tracciamento monitora proprietà, possesso, posizione, temperatura, umidità, movimento ed eventuali urti.

Con la crescente domanda dei clienti di voler conoscere la fonte e il percorso dei prodotti, sarà fondamentale per i produttori abilitare una catena di approvvigionamento sempre più trasparente, garantendo in questo modo, la tracciabilità della provenienza del prodotto.

5.2.7 Blockchain nella gestione dei clienti

Il comportamento di acquisto dei clienti sta subendo enormi cambiamenti grazie a Internet ed allo sviluppo di nuove tecnologie. La sfida per un'impresa odierna è realizzare il prodotto a disposizione del cliente e renderlo disponibile nella posizione desiderata indipendentemente da come è stato ordinato, questa è chiamata distribuzione omnicanale, l'esperienza del cliente deve essere la stessa indipendentemente da come è stato effettuato l'ordine e da come è stato ricevuto a livello di spedizione, ritiro o punto di raccolta. Per la maggior parte delle organizzazioni, la gestione e il monitoraggio degli ordini è un lavoro a tempo pieno, in particolare per i rappresentanti di vendita, senza visibilità dell'inventario in tempo reale, risulta difficile garantire una consegna del prodotto accurata ed in tempi brevi. (Frosi D., 2018)¹⁷⁵

Gli elementi critici di un ordine come il costo della spedizione, i tempi di spedizione e l'assistenza, sono guidati dalla fiducia tra cliente e venditore, spesso soggetta a controversie, dovute ad una scarsa gestione dei clienti; questo porta ad una valutazione negativa da parte cliente con una conseguente riduzione del livello di reputazione del fornitore.

¹⁷⁵ Frosi D., 2018, Omnicanalità: il ruolo strategico della Logistica, https://blog.osservatori.net/it_it/omnicanalit%C3%A0-strategia-logistica, (consultato il 08/01/2021).

La tecnologia blockchain può affrontare queste sfide cambiando il meccanismo di interazione tra cliente e fornitore, ad esempio, i processi di ordinazione potrebbero basarsi su una struttura blockchain privata (autorizzata), dove il nuovo cliente è integrato nella rete blockchain prima ancora che possa effettuare ordini, ottenendo piena visibilità sugli aggiornamenti in tempo reale sul catalogo dei prodotti con i relativi prezzi, promozioni, etc. Una volta che l'ordine viene prenotato e confermato dal cliente, viene registrato sulla rete, dove il fornitore può procedere con la spedizione e successivamente il cliente è in grado di verificare lo stato dell'ordine verificando ogni singolo passaggio del prodotto, fino al raggiungimento presso la destinazione desiderata.

I dettagli sensibili delle transazioni non saranno consultabili dai partecipanti alla blockchain, ma è possibile verificare la reputazione del fornitore in base al suo storico delle spedizioni; ciò elimina la necessità di transazioni e contatti con i clienti, riducendo al minimo i ritardi nella trasmissione degli ordini.

L'utilizzo di Contratti intelligenti tra il cliente ed il fornitore guiderà il meccanismo di prenotazione e conferma degli ordini, inoltre è possibile verificare eventuali cambiamenti sull'ordine in tempo reale così da effettuare tempestivamente azioni correttive.

Un'importante strategia di business adottata nella gestione dei clienti è la creazione di programmi di fedeltà, si cerca di aggiungere valore all'esperienza del cliente con lo scopo di fidelizzare il cliente in un coinvolgimento autentico per il brand, costruendo una fedeltà del cliente a lungo termine. (Clear C2, 2020)¹⁷⁶

È necessario considerare l'eventualità di un ritorno dei beni sottoforma di reso, che necessitano di essere gestiti in modo corretto e puntuale, la blockchain permette di verificare in anticipo le modalità di reso ed effettuare azioni in risposta alla richiesta di reso in automatico; stabilire se un prodotto è stato effettivamente realizzato dal venditore, se un prodotto risulta difettoso oppure un errato utilizzo da parte del cliente, verificare il difetto se il prodotto non funziona correttamente ed intraprendere una ricerca a ritroso della documentazione del prodotto e delle parti che lo compongono, per comprendere l'origine del difetto e quindi verificare se si tratta di un errore sistematico e se altri prodotti presentano lo stesso difetto di fabbricazione. (Camerinelli E., 2016)¹⁷⁷

¹⁷⁶ Clear C2, 2020, Blockchain customer relationship management, <https://www.clearc2.com/blockchain-technology-crm>, (consultato il 08/01/2021).

¹⁷⁷ Camerinelli E., 2016, *Ibidem*, pag. 120

Con l'ausilio della blockchain è possibile raccogliere informazioni fondamentali per incrementare la fidelizzazione del cliente, come la preferenza dei prodotti, la variabilità e la frequenza del consumo, tali dati sono necessari per realizzare programmi di fedeltà per i clienti offrendo servizi a valore aggiunto ed ottenendo, in questo modo, anche un vantaggio competitivo sul mercato. (Deloitte, 2020)¹⁷⁸

5.2.8 Blockchain nello sviluppo di nuovi prodotti

La progettazione ingegneristica riguarda l'utilizzo di strumenti, tecniche e conoscenza di dati scientifici per risolvere problemi tecnici; oggi ci sono aziende specializzate che forniscono soluzioni di progettazione ingegneristica nelle loro aree di competenza. Sebbene queste istituzioni memorizzino elevati volumi di informazioni, i dati sono spesso strettamente controllati e comunicati solo tramite alcuni enti.

Questo processo richiede elevati tempi di burocrazia e per ovviare a questo problema, il settore della progettazione ingegneristica ha sviluppato un software di progettazione che si integra con sistemi ERP per trasferire dati, un tipico esempio è il sistema CAD/CAM dove vengono trasferite le distinte base ed i cicli di lavoro all'ERP; oppure un altro esempio è il sistema di monitoraggio della qualità, il sistema di valutazione tecnica del prodotto si integra anche con i sistemi ERP.

Poiché questi sistemi funzionino in modo indipendente, integrandoli con blockchain ed i sistemi ERP, è possibile fornire vantaggi significativi; un esempio di tale integrazione è SAP Leonardo che fornisce l'accesso a clienti e partner con l'ausilio della blockchain per migliorare la comunicazione e potenziare la collaborazione e la funzionalità dell'attività di progettazione e sviluppo di nuovi prodotti. (Burt A., 2017)¹⁷⁹

Vi sono diverse modalità con cui la blockchain può essere utilizzata per la progettazione ingegneristica: (Banerjee A., 2018)¹⁸⁰

- Piattaforma unica: nella progettazione tecnica, la blockchain può unificare i clienti e partner in tutto il mondo su un'unica piattaforma, semplificando i processi di proprietà

¹⁷⁸ Deloitte, 2020, Making blockchain real for customer loyalty rewards programs, <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/financial-services/articles/making-blockchain-real-customer-loyalty-rewards-programs.html>, (consultato il 09/01/2021).

¹⁷⁹ Burt A., 2017, SAP debuts new 'Leonardo' Blockchain as a Service, <https://www.supplychain-dive.com/news/sap-leonardo-blockchain-as-a-service-2017/442974>, (consultato il 11/01/2021).

¹⁸⁰ Banerjee A., 2018, *Ibidem*, pag. 111

dell'identità, verifica, autenticità, provenienza dei dati, inoltre accelerando i processi di progettazione e prototipazione, incoraggerà anche la collaborazione nella produzione dei prodotti realizzati in comunione con altre imprese.

- Agenti di certificazione: nel settore manifatturiero, ci sono società di terze parti, o agenti di certificazione, che forniscono servizi di verifica, benchmark, certificati e servizi di identificazione dei materiali. Un esempio è il National Center for Manufacturing Sciences che abbina le aziende con abilità complementari, queste autorità/società di certificazione condividono dati sotto forma di copie fisiche o addirittura digitali, il che rende l'audit complicato e richiede tempo per la convalida e la condivisione degli stessi. Nei casi in cui sorgono problemi di qualità, la disponibilità tempestiva di questi certificati e la loro autenticità diventano estremamente critiche. Quando i sistemi ERP delle agenzie di certificazione sono collegati tramite blockchain, si semplifica enormemente tali processi di transazione abilitando trasparenza e tracciabilità dei dati.

La casa automobilistica francese Renault sta già utilizzando una soluzione basata su Blockchain su Microsoft Azure per gestire la proprietà dell'auto e i dettagli di manutenzione, monitorare i prodotti sul mercato semplificano il processo di rilascio di nuovi design. (Higgins S., 2017)¹⁸¹ Con lo scopo di facilitare ai produttori OEM il lancio sul mercato di nuovi prodotti o modifiche ai modelli preesistenti; inoltre, in caso di richiamo del prodotto, il produttore è costretto a dipendere dai rivenditori in quanto non hanno accesso diretto alle informazioni sui clienti.

La blockchain non solo risolve questi problemi, ma consente ai produttori di promuovere nuovi progetti e monitorare i prodotti sul mercato.

Nello schema in Fig 5.9 l'obiettivo è quello di indicare le principali attività nel processo di sviluppo di un nuovo prodotto ed i possibili miglioramenti con l'adozione della blockchain nelle relative attività:

¹⁸¹ Higgins S., 2017, Automaker Renault Trials Blockchain in Bid to Secure Car Repair Data, <https://www.coindesk.com/automaker-renault-trials-blockchain-bid-secure-car-repair-data>, (consultato il 06/01/2021).



Fig 5.9: principali attività del processo di sviluppo di un nuovo prodotto con l'ausilio della blockchain. (Adattato da La Rocca A.)

- Definizione nuovo prodotto: quando viene definito un nuovo prodotto spesso si ricorre a documenti tecnici di prodotti già realizzati per poter avere una solida base di partenza, tali documenti se registrati e condivisi su blockchain sono reperibili e consultabili in tempi brevi; inoltre, è possibile stabilire delle condizioni con i partner delle imprese, come, le tempistiche sulla realizzazione del progetto, specifiche tecniche del prodotto, etc.
- Specifiche tecniche del prodotto: vengono realizzati i documenti tecnici con le specifiche del prodotto, quote, dimensioni, tolleranze, materiali. Per garantire una robusta collaborazione tra i partner del progetto è necessario condividere questi dati in tempo reale, inoltre, tali dati essendo registrati sulla rete risultano consultabili, consentendo la presa visione di eventuali modifiche apportate, riducendo notevolmente potenziali errori.
- Ingegnerizzazione del prodotto: una volta stabilite le specifiche tecniche del prodotto, viene realizzata la documentazione relativa ai preventivi per la sua realizzazione ed è necessario stipulare i contratti con i fornitori, con eventuali terzisti ed organizzare le spedizioni, tali contratti possono essere formalizzati tramite Smart Contract.
- Prototipazione e simulazione: viene realizzato il prototipo del prodotto con il quale verranno effettuate le simulazioni ed i test per verificarne le performance, i risultati dei test possono essere visualizzati da tutti i partner attraverso la blockchain in modo tale da consentire valutazioni collaborative e decidere eventuali azioni correttive.

CAPITOLO 6 - Stato dell'arte blockchain nel Supply Chain Management

In questo capitolo verranno confrontate alcune delle ricerche fino ad ora pubblicate, con lo scopo principale di far emergere i benefici individuati e le criticità menzionate, in particolare andando ad analizzare approfonditamente quelli che rappresentano i limiti che ostacolano l'adozione della blockchain nel Supply Chain Management.

6.1 Limiti interni ed esterni

Le potenzialità della blockchain rappresentano un'opportunità in vari ambiti applicativi, nonostante i possibili benefici e migliorie, vi sono diverse limitazioni legate a questa tecnologia. I limiti sono distinguibili in due categorie: i limiti interni legati agli aspetti tecnologici, ed i limiti esterni che si riferiscono all'ecosistema ed al contesto nel quale la blockchain viene implementata.

Di seguito descriverò i principali limiti tecnologici:

- Risorse limitate: l'utilizzo di dispositivi IoT, il calcolo della funzione di hash, gli algoritmi di consenso, la crittografia e l'utilizzo degli Smart Contract sono tutte elaborazioni che portano ad una richiesta di calcolo computazionale elevata, che come conseguenza porta ad ottenere un alto livello di latenza. È necessaria un'elevata potenza, hardware specifici ed un consumo di energia elettrica per ovviare a tali problemi. La latenza è il tempo che intercorre tra la validazione del blocco ed il momento in cui risulta disponibile a tutti i nodi della rete, il tempo medio di latenza nella piattaforma Bitcoin è in media 10 minuti, senza considerare che vi possono essere situazioni dove questo tempo è maggiore, dell'ordine di alcune ore. Questo compromette la performance della blockchain, in quanto in realtà dovrebbe risultare dell'ordine dei secondi; una soluzione parziale è l'utilizzo di blockchain private per l'adozione della blockchain in una Supply Chain, con lo scopo di poter gestire il flusso di informazioni lungo tutta la catena di approvvigionamento. (Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019)¹⁸²

¹⁸² Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, *Ibidem*, pag. 32

- Scalabilità: la natura distribuita della blockchain deve essere implementata con attenzione per evitare il problema della scalabilità. Come la scala di una blockchain aumenta, anche la dimensione dell'hash aumenta, ciò richiede un notevole spazio di archiviazione, inoltre, l'enorme quantità di dati elaborata comprometterebbe la performance della rete senza una tecnologia adeguata a supportare tale mole di informazioni. Il throughput delle transazioni è la velocità con cui le transazioni valide vengono inserite nella blockchain in un periodo di tempo definito secondo la formula: $Transaction\ Throughput = Total\ committed\ transactions / total\ time\ in\ seconds$ (Hyperledger.org, 2018)¹⁸³ le soluzioni blockchain pubbliche generano un valore di throughput basso, dell'ordine di 7 tps (throughput per secondo) nel caso di Bitcoin; su Hyperledger è possibile raggiungere 3500 tps, ma risulta essere un valore ancora basso in quanto il circuito VISA è in grado di processare in media 2000-10.000 tps. Nell'ambito della Supply Chain, il numero di transazioni aumenta quanto più complessa risulta essere la catena di fornitura, l'adozione di blockchain private può risolvere parzialmente questo problema.
- Sicurezza: nonostante le funzionalità alla base della blockchain per proteggere dispositivi, dati e reti, come la funzione di hash e la crittografia che risultano interessanti e robuste, una delle principali preoccupazioni della blockchain è la sicurezza. Le applicazioni blockchain ed eventuali dispositivi sono connesse tramite internet, dunque vulnerabili ai vari attacchi informatici tra cui furto, tentativi di spionaggio ed attacchi DoS (Denial of Service), compromettendo l'intera rete basata su blockchain. Uno degli attacchi più famosi è stato contro MtGox, uno scambio di bitcoin con sede a Tokyo che ha provocato una perdita di \$600 milioni. (Porru S., et al., 2017)¹⁸⁴ Come già discusso nel Capitolo 2, uno degli attacchi che può compromettere la rete è il cosiddetto attacco del 51%, dove la maggior parte dei miner gestiti da una singola entità, avrebbe la possibilità di selezionare quali transazioni approvare, consentendo loro di rifiutare

¹⁸³ Hyperledger.org, 2018, Hyperledger Blockchain Performance Metrics White Paper, <https://www.hyperledger.org/learn/publications/blockchain-performance-metrics>, (consultato il 12/01/2021).

¹⁸⁴ Porru S., Pinna A., Marchesi M., Tonelli R., 2017, Blockchain-oriented software engineering: Challenges and new directions, *IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C)*.

altre transazioni facendo emergere il problema del Double Spending. Quindi sono stati sviluppati diversi algoritmi di consenso in grado di contrastare attacchi di questo genere; inoltre, tali attacchi si manifestano principalmente in applicazioni di criptovalute e piccole blockchain, pertanto, nell'applicazione della Supply Chain, adottando blockchain private è possibile eludere tali problematiche.

- **Infrastruttura:** per poter consentire un corretto funzionamento della blockchain è necessario possedere un elevato spazio di archiviazione, in modo tale che le transazioni, informazioni e dati di storage possano essere salvati sul registro. Inoltre, essendo tali operazioni svolte “online” comporta un notevole consumo di banda. Gli sviluppatori indicano questo fenomeno con il termine “bloat” (“gonfiarsi”), la dimensione della blockchain non deve compromettere la performance della blockchain, i dati devono risultare sempre accessibili in tempi molto brevi; la performance è inversamente proporzionale alla dimensione della blockchain. Per ovviare a questo problema vengono utilizzati degli algoritmi di compressione, con lo scopo, appunto, di comprimere i dati, rendendoli facilmente trasferibili ed all’occorrenza con l’obiettivo di estrarli per la loro consultazione senza compromettere l’integrità degli stessi e l’accessibilità alla rete. (Banerjee A., 2017)¹⁸⁵ Uno degli aspetti più importanti da considerare è la scelta del volume del blocco all’interno della rete, ovvero la dimensione del blocco, dove al suo interno vengono codificate e registrate un numero ben definito di transazioni, ha una dimensione finita; nel caso di Bitcoin la sua dimensione è pari a 1 MB (MegaByte) in grado di contenere in media 2000 transazioni. (Lugano F., 2019)¹⁸⁶ È importante scegliere con criterio la dimensione standard del blocco, in quanto tale valore potrebbe impattare sulla capacità della rete, inoltre, potrebbe generare un errore durante la validazione della transazione se quest’ultima supera le dimensioni del blocco e di conseguenza non potrà essere approvata.
- **Costi di implementazione e mantenimento:** la blockchain è una tecnologia emergente ed il numero di applicazioni funzionanti è limitato; per una corretta

¹⁸⁵ Banerjee A., 2017, Integrating Blockchain with ERP for a Transparent Supply Chain, *Infosys*.

¹⁸⁶ Lugano F., 2019, Le dimensioni non contano: Bitcoin Cash non riempie i blocchi, <https://cryptonomist.ch/2019/01/26/dimensioni-blocchi-bitcoin-cash>, (consultato il 14/01/2021).

implementazione del sistema blockchain bisogna effettuare uno studio preliminare per poter in questo modo individuare la soluzione migliore in funzione dell'impresa che vuole adottare tale tecnologia, inoltre, per garantire un alto livello di efficienza si ha la necessità di un attento monitoraggio della performance per intraprendere azioni correttive; tali attività comportano un costo in termini di investimenti. In particolare nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain, dove ciascun nodo della catena rappresenta i partner dell'impresa (fornitori, clienti, distributori e produttori), è necessario che ciascun nodo adotti la tecnologia blockchain per poter sfruttare a pieno la potenzialità di tale tecnologia. Forrester Total Economic Impact è uno studio sviluppato per individuare i costi, vantaggi, flessibilità e fattori di rischio che influenzano la decisione di investimento in applicazioni IBM Blockchain (Pinto A., 2018)¹⁸⁷ in altri termini viene valutato il ROI (Return On Investment) che la blockchain può portare all'impresa. All'interno delle Supply Chain se il volume delle transazioni dovesse risultare elevato, data la complessità della catena di produzione, l'investimento complessivo di tutta la filiera risulterebbe significativo; inoltre, è necessario considerare che una delle applicazioni più promettenti della blockchain è l'utilizzo degli Smart Contract che devono essere programmati da un personale tecnico qualificato; maggiore sarà la complessità ed il volume dei contratti e maggiore saranno i costi relativi all'adozione della tecnologia blockchain. (Swan M., 2015)¹⁸⁸ Un ulteriore costo da considerare nella fase di investimento è il data storage su cloud, ovvero la possibilità di memorizzare informazioni su soluzioni configurabili rendendo disponibili i dati in remoto sotto forma di un'architettura distribuita; considerando la crescita della blockchain ed il volume di informazioni da registrare è necessario investire in storage in grado di ottimizzare la gestione dei dati.

- Consumo energetico: l'attività di validazione dei blocchi (mining) richiede un consumo di energia notevole, si stima che Bitcoin generi un costo di \$15 milioni al giorno. (Lech T., 2018)¹⁸⁹ Tale consumo rende insostenibile l'utilizzo di

¹⁸⁷ Pinto A., 2018, Your unanswered questions on the ROI of blockchain, <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/11/your-unanswered-questions-on-the-roi-of-blockchain>, (consultato il 13/01/2021).

¹⁸⁸ Swan M., 2015, Blockchain: blueprint for a new economy, O'Reilly Media, California.

¹⁸⁹ Lech T., 2018, Blockchain – Intuition, <https://blog.mathocr.com/2018/04/13/blockchain-intuition.html>, (consultato il 14/01/2021).

blockchain dal punto di vista economico; in particolare, tale problema è dovuto all'utilizzo di algoritmi di consenso come il PoW (Proof of Work) che necessita di un'attività di mining con calcolo computazionale molto intenso. Sono stati sviluppati nel corso degli anni diversi algoritmi di consenso più sostenibili, di conseguenza per l'applicazione in una Supply Chain, non solo l'adozione di una blockchain privata limita parzialmente il problema, ma l'utilizzo di algoritmi di consenso con necessità di calcolo minore potrebbe ridurre notevolmente il consumo e dunque gli sprechi. Si rimanda a questo proposito al Capitolo 2 dove vengono descritti i principali algoritmi di consenso e si evidenziano le potenzialità e le criticità di ciascuno di essi.

Di seguito descriverò i principali limiti esterni:

- Aspetti legali e normative: ad oggi la blockchain non presenta un completo quadro giuridico, compromettendo la divulgazione e l'adozione di tale tecnologia su larga scala. In particolare uno dei principali problemi nell'ambito della Supply Chain è la regolamentazione degli Smart Contract, vi sono diverse problematiche, che andrò in seguito ad esplicitare, legate alla creazione del contratto ed al funzionamento dello stesso: (Lorusso D.S., et al., 2018)¹⁹⁰

- L'accordo e la Volontà: il contratto è per definizione un atto bilaterale, la proposta deve risultare completa, i soggetti assumono obbligazioni e cedono proprietà solo nel caso in cui ci sia la volontà, secondo clausole contrattuali concordate, da ambedue le parti. Le parti sono libere di scegliere se, e in che modo, le proprie sfere giuridiche siano incise dal contratto, lo Smart Contract, come un qualsiasi contratto, consiste nella manifestazione di volontà e può verificarsi che la formalizzazione di tale volontà manifestata non corrisponda al vero intento negoziale del dichiarante. Nel caso in cui il consenso sia dato per errore, estorto o carpito, deve esserci la possibilità di poter essere annullato con una richiesta del medesimo contraente. Qualora l'errore sia essenziale e

¹⁹⁰ Lorusso D.S., Gentile N., De Toterò I., 2018, Smart Contract e patologia contrattuale: l'ipotesi della nullità, <http://www.blblex.it/blog.php?id=718&lang=it>, (consultato il 14/01/2021).

riconoscibile dall'altro contraente (art. 1428 c.c.), essendo un contratto sviluppato in forma digitale è necessario che esso sia stipulato tenendo in considerazione tali eventualità. Inoltre, è necessario che tali contratti possano essere ricondotti facilmente ad una persona fisica o giuridica essendo questi ultimi riconducibili ad entità digitalizzate.

- Forma del contratto: la forma del contratto avviene digitalmente con l'ausilio di chiavi crittografiche, nasce il problema laddove le chiavi vengano utilizzate non dal proprietario, ma bensì da un altro individuo in possesso delle chiavi senza il consenso e/o l'autorizzazione del legittimo proprietario; essendo crittografate non vi è la certezza di risalire a chi ha utilizzato le chiavi per firmare il contratto. (Al-Jaroodi J., Moohamed N., 2019)¹⁹¹

- Adempimento del contratto: secondo l'art. 1375 c.c., si impone che le parti adempiano all'esecuzione del contratto secondo buona fede, l'esecuzione automatica del contratto intelligente potrebbe costituire nei fatti un inadempimento; tale problema potrebbe essere affrontato predeterminando criteri precisi durante la stipulazione del contratto, ma è una soluzione complessa poiché risulta difficile determinare ex ante tutti i criteri necessari ad escludere del tutto la possibilità di inadempimento del contratto. Un'ulteriore soluzione è l'adozione di modelli in grado di collegare lo Smart Contract (in forma digitale) ad un contratto in forma scritta, rendendolo facilmente leggibile anche a persone fisiche.

- Integrazione ed esecuzione forzata del contratto: nel caso di controversie relative al contratto, in automatico vengono effettuate azioni predefinite secondo le clausole pattuite, ma come già precedentemente menzionato, è complesso prevedere e codificare in anticipo tutte le possibili reazioni; pertanto è necessario prevedere se in tal caso considerare sistemi di risoluzione alternativi come l'arbitrato, viene iscritto nel contratto che laddove si verifichi una controversia non prevista dal contratto è possibile demandare allo stesso la competenza esclusiva di un arbitrato. (Parola L., et al., 2018)¹⁹²

¹⁹¹ Al-Jaroodi J., Moohamed N., 2019, Blockchain in Industries: A Survey, *IEEE Access*.

¹⁹² Parola L., Merati P., Gavotti G., 2018, Blockchain e smart contract: questioni giuridiche aperte, *IPSOA*, Milano.

- Linguaggio informatico: risulta complesso tradurre il contratto da termini giuridici in un linguaggio informatico secondo una logica “if-this-then-that” (Arrigo F., 2019)¹⁹³

- Coinvolgimento filiera: per godere a pieno dei benefici introdotti dalla blockchain occorre che ciascun partner della catena adotti la medesima tecnologia, il valore ottenibile dalla blockchain aumenta con l'aumentare degli attori coinvolti. È necessaria la collaborazione e la sinergia tra i partner della catena di fornitura per far funzionare l'integrazione della blockchain in una complessa catena di approvvigionamento.
- Mancanza di interesse e competenze: da una ricerca condotta dall'Osservatorio Blockchain & Distributed Ledger del Politecnico di Milano su 61 grandi aziende Italiane si evince che la conoscenza della blockchain è ancora molto bassa: (Portale V., 2019)¹⁹⁴

- il 31% dei rispondenti non sa cosa siano le tecnologie blockchain % DLT.
- il 43% ritiene di avere una conoscenza sufficiente.
- il 26% pensa di avere una conoscenza elevata della tecnologia.

Inoltre, sono stati individuati sei possibili approcci:

- Scettici: il 7% dubita fortemente che la tecnologia impatterà sul business.
- Titubanti: il 41% intuisce l'opportunità della tecnologia.
- Sognatori: il 5% pensa che la tecnologia sia rivoluzionaria ma non fanno nulla per applicarla.
- Pragmatici: il 18% si avvicinano alla tecnologia investendo nelle aree a maggiore opportunità.
- Entusiasti: il 15% crede molto nella tecnologia ed investe sempre più.
- Visionari: l'8% crede fortemente nella tecnologia e sta investendo molto.

¹⁹³ Arrigo F., 2019, Blockchain e smart contract: funzionamento e applicazioni, <https://www.altalex.com/documents/news/2019/04/29/tecnologia-blockchain-e-smart-contract>, (consultato il 14/01/2021).

¹⁹⁴ Portale V., 2019, *Ibidem*, pag. 71

L'implementazione ed il funzionamento della blockchain richiedono forti competenze dal punto di vista informatico; in particolare, nell'ambito della Supply Chain è necessario effettuare uno studio preliminare per analizzare i processi industriali e scegliere la tipologia di blockchain più adatta per migliorare il rendimento di tali processi. Di conseguenza è necessario individuare figure professionali adatte a garantire una completa implementazione del sistema, risulta un'operazione complessa in quanto il grado di applicazione sperimentale della tecnologia si dimostra ancora basso, pertanto non vi è una conoscenza, competenza ed esperienza diffusa. Da uno studio di Capgemini, rivolto a circa 450 organizzazioni a livello internazionale, si evincono tre livelli di distribuzione della blockchain: (Capgemini, 2018)¹⁹⁵

- l'87% è in fase iniziale di sperimentazione o di prova.
- il 10% è in una fase avanzata di sperimentazione con progetti pilota.
- il 3% sta implementando la tecnologia su larga scala.

In uno studio effettuato nel 2018 da Gartner intervistando 3000 CIO¹⁹⁶ solo l'1% dei CIO ha investito in tecnologie blockchain e solo l'8% sta pianificando l'adozione della blockchain a breve termine o in fase di sperimentazione. Il 43% è interessato ma non ha attuato azioni di pianificazione ed il 34% non è interessato.

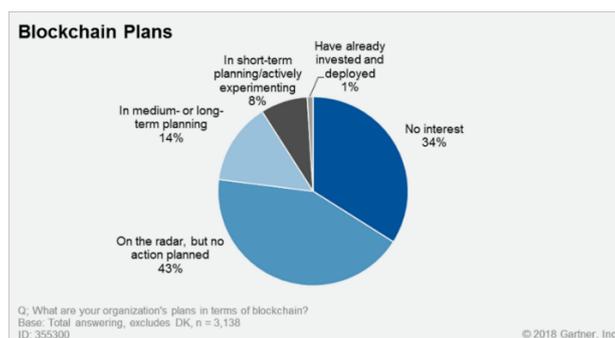


Fig 6.1: adozione della blockchain nel 2018 (Gartner.com, 2018)¹⁹⁷

¹⁹⁵ Capgemini, 2018, *Ibidem*, pag.71

¹⁹⁶ CIO – Chief Information Officer è il dirigente d'azienda responsabile della funzione aziendale tecnologie dell'informazione e della comunicazione, definito anche direttore informatico, spesso risponde direttamente all'amministratore delegato (CEO).

¹⁹⁷ Gartner.com, 2018, Gartner Survey Reveals the Scarcity of Current Blockchain Deployments, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-05-03-gartner-survey-reveals-the-scarcity-of-current-blockchain-developments>, (consultato il 15/01/2021).

- Disintermediazione: una delle caratteristiche principali della blockchain è la decentralizzazione dei sistemi, questo concetto può tradursi nella riduzione del ruolo degli intermediari, ovvero la disintermediazione. Fino ad ora, nelle catene di fornitura, l'utilizzo degli intermediari è volto a fornire informazioni rilevanti sulla domanda, offerta, prezzi e requisiti commerciali secondo la richiesta del mercato; un ulteriore utilizzo degli intermediari nella logistica, è la gestione delle relazioni commerciali tra fornitori e clienti. Risulta complesso sostituire l'intermediario in un modello tradizionale ampiamente consolidato; occorre dunque tempo per comprendere ed acquisire un nuovo modello di business. A causa dell'aumento della digitalizzazione, il ruolo degli intermediari in molti mercati è cambiato in modo significativo, di conseguenza con l'adozione della blockchain non vi sarà una vera e propria disintermediazione, ma una sostituzione degli attuali intermediari, tale concetto può definirsi come "reintermediazione". (Tonnisson S., Teuteberg F., 2019)¹⁹⁸
- Trust: la tecnologia blockchain vuole introdurre il concetto di Trust tra le parti che tra loro non hanno un rapporto a priori, questo concetto rappresenta una delle più grandi innovazioni introdotte da Satoshi Nakamoto. In un ambiente digitale, è spesso difficile fidarsi dell'identità dei privati e sulle azioni che promettono di perseguire; con l'introduzione della blockchain si manifesta una modalità completamente distribuita e senza che nessuno debba fidarsi di un singolo membro della rete, l'unica fiducia richiesta è che, in media, la maggioranza dei partecipanti alla rete si comporti in modo onesto, questo comporta conseguentemente, una fiducia rivolta completamente nei confronti della tecnologia. Tale richiesta implicita di fiducia nella tecnologia richiede una forte conoscenza di base della stessa, come evidenziato già nelle ricerche precedentemente citate, la conoscenza della blockchain risulta ancora limitata. Pertanto si nutre una forte sfiducia in questa tecnologia, in particolare dovuta ad una cattiva reputazione legata ai Bitcoin e ad una percezione di immaturità della

¹⁹⁸ Tonnisson S., Teuteberg F., 2019, Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

tecnologia dovuta alle poche applicazioni finora realizzate con successo. (The Economist, 2015)¹⁹⁹

- **Privacy:** una delle principali preoccupazioni nell'adozione della blockchain riguarda la privacy sui dati, in particolare nelle blockchain pubbliche le transazioni effettuate da un singolo nodo sono visualizzabili dall'intera rete. Se viene garantita la trasparenza e la visibilità delle informazioni, è possibile ottenere controllo e veridicità sui dati, consentendo ad un eventuale malintenzionato di conoscere diverse informazioni su un nodo, come la quantità di transazioni effettuate. Nel caso di applicazione nel Supply Chain, è già stato sottolineato che l'utilizzo di blockchain private (Permissioned) risolve notevolmente i problemi legati alla sicurezza ed alla privacy; nell'ambito delle catene di approvvigionamento, è significativa la paura di perdere dati sensibili o in caso estremo modificati, questo rende riluttanti molte aziende a condividere i propri dati. Per garantire la privacy di tali dati è possibile adottare sistemi di controllo per l'accesso alla Supply Chain. (Wu H., et al., 2019)²⁰⁰ È necessario considerare che l'utilizzo della crittografia è un sistema che cerca di colmare il problema della privacy, ma non è possibile escludere che laddove la chiave privata venga rubata sia possibile risalire alla reale scrittura dei dati crittografati, proprio come accade nel mondo di internet quando password personali vengono regolarmente rubate da hacker. (Swan M., 2015)²⁰¹
- **Sostenibilità:** come conseguenza al consumo energetico, l'impatto imputato all'utilizzo delle blockchain è associato ad un'elevata emissione di CO₂. In particolare, è stato valutato l'impatto ecologico delle emissioni di anidride carbonica associate al processo di validazione delle transazioni (mining), che richiede un hardware specializzato ed un'ampia quantità di energia elettrica. Si stima che il consumo annuale sia pari a 45.8 TWh (Terawattore) corrispondente ad un'emissione di carbonio pari a 22.9 milioni di tonnellate di CO₂, un consumo

¹⁹⁹ The Economist, 2015, The trust machine, <https://www.economist.com/leaders/2015/10/31/the-trust-machine>, (consultato il 15/01/2021).

²⁰⁰ Wu H., Cao J., Yang Y., Tung L.C., Jiang S., Tang B., Liu Y., Wang X., Deng Y., 2019, Data Management in Supply Chain UsingBlockchain: Challenges and A Case Study, *IEEE Access / 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*.

²⁰¹ Swan M., 2015, *Ibidem*, pag. 134

paragonabile ad una città di mezzo milione di abitanti. È necessario trovare modelli più sostenibili per ovviare a questo problema. (Rita V., 2019)²⁰²

È indispensabile risolvere e ragionare approfonditamente su tali limiti interni ed esterni per poter implementare la tecnologia blockchain all'interno delle Supply Chain. Come ogni nuova innovazione tecnologica, la ricerca e la sperimentazione sono le principali strade percorribili per comprendere i benefici e le barriere, dunque studiare soluzioni per migliorare la tecnologia e permetterne l'implementazione su larga scala.

Nei paragrafi successivi andrò ad analizzare le ricerche fino ad ora proposte, in particolare studi dove si evincono i benefici e le barriere nell'adozione della blockchain al Supply Chain Management.

6.2 Ricerca sulle barriere

In questo paragrafo andrò ad analizzare le barriere emerse da diverse ricerche, cercando di categorizzarle e schematizzarle al fine di rendere chiaro quali sono gli ostacoli che impediscono l'applicazione della blockchain alle catene di approvvigionamento.

Paliwal Vineet, Chandra Shalini e Sharma Suneel in "Blockchain Technology for Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Literature Review and a Classification Framework" realizzano una revisione della letteratura esistente sui principali limiti della tecnologia blockchain per una catena di fornitura sostenibile. (Paliwal V., et al., 2020)²⁰³ In questo articolo si evince come diversi ricercatori hanno tentato di far emergere i limiti che ostacolano l'adozione di questa tecnologia, in particolare uno dei primi è stato Nir Kshetri nella sua ricerca dal titolo "Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives" (Kshetri N., 2018);²⁰⁴ questo articolo affronta la questione dell'adempimento della blockchain nel Supply Chain Management dal solo punto di vista economico, vengono trattati molteplici casi d'uso che rendono economicamente ragionevole utilizzare la blockchain per le transazioni tra fornitori e clienti,

²⁰² Rita V., 2019, I bitcoin pesano sull'ambiente quanto una città di mezzo milione di abitanti, <https://www.wired.it/scienza/energia/2019/06/13/bitcoin-peso-ambiente>, (consultato il 16/01/2021).

²⁰³ Paliwal V., Chandra S., Sharma S., 2020, Blockchain Technology for Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Literature Review and a Classification Framework, *MDPI Sustainability*.

²⁰⁴ Kshetri N., 2018, Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

anche per piccoli valori di transazioni, eliminando i documenti cartacei e riducendo i costi burocratici.

Kristoffer Francisco e David Swanson hanno scritto un articolo fondamentale “The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency” (Francisco K., Swanson D., 2018)²⁰⁵ questo documento sottolinea che ogni prodotto che attraversa la Supply Chain ha una lunga storia dietro di sé, caratterizzata da passaggi di proprietà in termini di produzione, trasporto e stoccaggio; si afferma che non vi è una cronologia di tali passaggi sotto forma di dati registrati e consultabili. Le catene di fornitura tradizionali svolgono pratiche negative che creano situazioni finanziariamente paralizzanti, come l’uso non etico delle risorse, lavoro in nero, manomissione dei dati reali; con l’adozione della blockchain è possibile fornire un alto livello di trasparenza della catena di fornitura, che non solo aiuta a rispondere alle esigenze del cliente ma che rappresenta un vantaggio competitivo sostanziale.

Due articoli interessanti sono proposti rispettivamente da Don Tapscott e Alex Tapscott dal titolo “How blockchain will change organizations” (Tapscott D., Tapscott A., 2017)²⁰⁶ e Morteza Ghobakhloo nel suo articolo “The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0.” (Ghobakhloo M., 2018)²⁰⁷, viene esaminato il paradigma blockchain e i cambiamenti che apporterà nelle organizzazioni e sul business, in particolare, vengono trattati aspetti di processi produttivi, finanza e contabilità, vendite e marketing, aspetti legali e risorse umane. Si afferma che la blockchain sarà fondamentale per il concetto di Industria 4.0, rendere le transazioni automatizzate tramite Smart Contract permette di effettuare scambi trasparenti, sicuri, veloci e senza attriti, sviluppando fiducia e autonomia tra le parti.

Uno degli articoli più importanti è stato realizzato da Sara Saberi, Mahtab Kouhizade e Joseph Sarkis dal titolo “Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers” (Saberi S., et al., 2020)²⁰⁸ sono tra i pochi autori che hanno discusso la relazione tra la tecnologia blockchain ed il Sustainable

²⁰⁵ Francisco K., Swanson D., 2018, The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency, *MDPI*.

²⁰⁶ Tapscott D., Tapscott A., 2017, How blockchain will change organizations, *MIT Sloan Management Review*.

²⁰⁷ Ghobakhloo M., 2018, The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0., *Emerald - Journal of Manufacturing Technology Management*.

²⁰⁸ Saberi S., Kouhizadeh M., Sarkis J., 2020, Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers, *Journal Elsevier – International Journal of Production Economics*.

Supply Chain Management in un documento, al tal punto che risulta essere il terzo articolo più citato in questo ambito. In questo articolo vengono identificate quattro categorie di barriere all'adozione della tecnologia blockchain: (a) barriere tecnologiche, (b) barriere organizzative, (c) barriere Supply Chain, e (d) barriere esterne.

Nell'articolo di Paliwal S., et al., viene presentata una tabella che riassume le barriere nell'adozione della blockchain al Supply Chain Management.

Tabella 6.1: categorizzazione barriere che ostacolano l'adozione della blockchain nel SCM. (Paliwal V., et al., 2020)

Categoria Barriere	Barriere
Barriere Supply Chain	Livello di conoscenza e competenza
	Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera
	Integrazione di pratiche sostenibili basate su blockchain
	Assenza di norme industriali
	Differenza culturale tra grandi, medie e piccole imprese
Barriere organizzative	Costi di implementazione
	Assenza dell'impegno e del supporto della dirigenza
	Costi di manutenzione
	Introdurre nuove politiche organizzative per l'utilizzo della blockchain
	Integrazione tra blockchain e supply chain
	Assenza di strumenti tecnologici adeguati
Barriere tecnologiche	Conversione a nuovi sistemi
	Sicurezza informatica
	Tecnologia Inadeguata (immaturità)
	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain
Barriere esterne	Percezione negativa della proprietà di immutabilità
	Assenza di un quadro giuridico di riferimento
	Incertezza sul business introducendo la blockchain
	Assenza di esperti della tecnologia blockchain
	Assenza di programmi di incoraggiamento nell'adozione della blockchain
	Assenza di carta dei valori per pratiche etiche e sicure

Per analizzare l'impatto di tali barriere nel mondo professionale ed accademico è stata utilizzata una metodologia DEMATEL (Decision Making Trial and Evaluation Labo-

ratory), è una metodologia utilizzata per l'identificazione delle componenti di una catena causa-effetto, si occupa di valutare le relazioni interdipendenti tra i fattori e trovare quelli critici attraverso un modello strutturale visivo. (Sheng-Li S., et al., 2018)²⁰⁹

È stato proposto un sondaggio a professionisti ed accademici esperti nel settore, valutando l'impatto di ciascuna barriera elencata nella tabella 5.1; al termine di tale indagine sono stati raccolti i dati ed esplicitati i risultati per ciascun gruppo di barriere:

- a) **Barriere Supply Chain:** accademici suggeriscono che le differenze culturali tra i partner della catena di approvvigionamento influiscono notevolmente l'adozione della blockchain, influenzando le altre barriere; mancanza di una forte consapevolezza sulla tecnologia sia da parte delle imprese che dai clienti, in particolare l'aspetto della sostenibilità influenza notevolmente la percezione di tale tecnologia. I problemi di collaborazione, comunicazione e coordinazione nelle Supply Chain sono già presenti nell'attuale catena di fornitura, facendo emergere ulteriori problemi con l'integrazione della blockchain tra le varie imprese. Dagli studi condotti si evidenzia un livello basso di conoscenza della tecnologia e come già evidenziato più volte, nonostante le potenzialità della tecnologia, l'interesse verso la blockchain è ancora limitato.
- b) **Barriere organizzative:** Mancanza di impegno e supporto da parte della dirigenza, esitazione a conversione a nuovi sistemi e l'introduzione di nuove politiche organizzative per l'utilizzo della blockchain sono le principali barriere, sia per gli accademici che per i professionisti. Sebbene la blockchain abbia guadagnato attenzione da parte dei manager aziendali, essi risultano ancora riluttanti nell'adozione di nuove tecnologie, in particolare di tecnologie non ampiamente sperimentate. La blockchain è volta ad integrare, se non sostituire, gli attuali sistemi di gestione delle aziende, da questo deriva una forte preoccupazione. Risulta che l'aspetto finanziario ha una scarsa rilevanza rispetto ad altre barriere, questo può essere dovuto al fatto che nell'ambito delle Supply

²⁰⁹ Sheng-Li S., Xiao-Yue Y., Hu-Chen L., Ping Z., 2018, DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications, *Mathematical Problems in Engineering*, Egypt.

Chain, l'applicazione più consigliata è quella di una blockchain privata, pertanto problemi legati ai costi ed al consumo sono percepiti come un ostacolo minore da superare.

- c) **Barriere tecnologiche:** la percezione negativa della tecnologia e l'immatùrità della tecnologia sono le barriere che hanno ottenuto valori più alti di preminenza sia per gli accademici che per i professionisti. Sia gli accademici che i professionisti vedono l'immatùrità della tecnologia come l'ostacolo che impatta il problema della sicurezza; si ritiene che l'accesso alla tecnologia non rappresenti una barriera influente.
- d) **Barriere esterne:** Gli accademici e i professionisti concordano sulla mancanza di interesse da parte del governo e delle politiche, sia da un punto di vista di investimenti che di legislazione. Le normative governative ed il coinvolgimento delle parti esterne vincolano notevolmente l'adozione della tecnologia, inoltre, risulta una forte mancanza di programmi che incentivino attività sostenibili.

Le quattro categorie di barriere esaminate in questo studio, introducono possibili decisioni e future ricerche per iniziare ad affrontare gli ostacoli che limitano l'adozione della blockchain al concetto di catena di approvvigionamento sostenibile. Risulta che le barriere legate alla tecnologia ed alla Supply Chain presentano il maggior impatto per gli accademici ed i professionisti; è necessario coinvolgere l'intera filiera ed incoraggiare i partner all'adozione della blockchain per beneficiare a pieno delle potenzialità della tecnologia e superare le barriere, questo potrebbe inoltre risolvere il problema della mancanza di comunicazione tra monte e valle della catena di fornitura.

Da questo studio si evidenzia in particolar modo che le sfide alla sicurezza e la percezione negativa nei confronti della tecnologia nonché l'immatùrità della stessa hanno i valori massimi di preminenza. È evidente che il rischio di fallimento è una preoccupazione notevole per questa tecnologia emergente e per la sua applicazione nel Supply Chain Management; questi risultati suggeriscono di intensificare la ricerca ed aumentare il livello di conoscenza della tecnologia e delle sue potenzialità.

La tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain si basa tipicamente su altre tecnologie, come Internet of Things, per tracciare ed integrare informazioni sulle merci ed i flussi di prodotti lungo la catena di fornitura. Questa fiducia richiede l'allineamento

delle informazioni interne, come i processi tecnologici, è necessario sviluppare competenze tecniche interne prima dell'adozione della blockchain; uno dei primi passi da affrontare è la digitalizzazione dell'azienda, aumentando l'efficienza dell'impresa riducendo l'utilizzo di documenti cartacei facilmente modificabili e smarribili.

Per superare le barriere organizzative, è importante rivalutare il modello di business dell'impresa, allineare gli obiettivi con quelli dei partner, è necessario sviluppare una cultura aziendale verso un ecosistema collaborativo; al fine di realizzare una filiera sincronizzata è fondamentale individuare collaboratori giusti per costruire strutture di governance efficaci. (Korpela K., et al., 2017)²¹⁰

In ultimo, è necessario uno sviluppo completo di un quadro giuridico di riferimento per poter garantire una corretta implementazione della blockchain, si ha la necessità di normative che regolino l'utilizzo della blockchain in una Supply Chain da un punto di vista legislativo. L'impostazione da parte del governo creerebbe un mercato sicuro per le catene di approvvigionamento che vogliono adottare questa tecnologia, sostenendo il cambiamento e favorendo l'adeguarsi a nuovi sistemi informativi. (Ølnes S., et al., 2017)²¹¹ Gli standard possono essere sviluppati in modo cooperativo tra l'industria ed il governo per far avanzare lo sviluppo della tecnologia.

6.3 Analisi sugli effetti della blockchain

In uno studio condotto da Muhammad Shoaib, Ming K. Lim e Chao Wang nel 2020 dal titolo "An integrated framework to prioritize blockchain-based supply chain success factors" (Shoaib M., et al., 2020)²¹² attraverso un'analisi della letteratura esistente sono stati individuati degli indicatori di successo con lo scopo di comprendere ed indagare le attività della catena di approvvigionamento utilizzando la blockchain, somministrando questionari a ricercatori accademici e professionisti industriali, è stato richiesto di valutare l'impatto di ciascun fattore. Con l'ausilio di una scala numerica a 5 punti, dove 1 rappresentava "fortemente in disaccordo" e 5 "fortemente d'accordo"

²¹⁰ Korpela K., Hallikas J., Dahlberg T., 2017, Digital Supply Chain Transformation toward Blockchain Integration, *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Hawaii.

²¹¹ Ølnes S., Ubacht J., Janssen M., 2017, Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing, *Journal Elsevier – Government Information Quarterly*.

²¹² Shoaib M., Lim K. M., Wang C., 2020, An integrated framework to prioritize blockchain-based supply chain success factors, *Emerald, Industrial Management & Data Systems Volume 120*.

sono state analizzate un totale di 64 risposte su un totale di 76 intervistati, 12 risposte sono state rimosse in quanto non considerate complete o risposte fornite con serietà e criterio.

Per l'analisi dei risultati ottenuti è stato utilizzato il metodo AHP (Analytic Hierarchy Process), è una tecnica di supporto alle decisioni multicriterio, tale metodologia consente di confrontare più alternative in relazione ad una pluralità di criteri, di tipo quantitativo o qualitativo e ricavare una valutazione globale per ciascuna di esse. (Wikipedia.org, 2020)²¹³

Nella seguente tabella vengono identificati e forniti tutti i fattori di successo considerati in questa analisi, i fattori a loro volta sono raggruppati in macro-categorie.

Tabella 6.2: Fattori di successo (Shoaib M., et al., 2020)

Categorie	Fattori di successo
Forza del sistema	SF1. Trasparenza
	SF2. Ambiente senza fiducia
	SF3. Disintermediazione
	SF4. Sicurezza
	SF5. Durabilità e resistenza agli attacchi
	SF6. Immutabilità e crittografia
Soddisfazione del cliente	SF7. Sviluppo Just-In-Time
	SF8. Feedback
	SF9. Centralità del cliente
Efficienza complessiva	SF10. Efficacia ed efficienza
	SF11. Automazione
	SF12. Risoluzione problemi
	SF13. Semplificazione paradigmi correnti
	SF14. Controllo qualità
	SF15. Equità nella qualità
Politiche e leggi	SF16. Leggi
	SF17. Politica del governo
	SF18. Consenso
Affidabilità e riconciliazione ecologica	SF19. Affidabilità e longevità
	SF20. Nessuna perdita di dati
	SF21. Scalabilità nel SCM
	SF22. Decentralizzazione
	SF23. Eco-compatibile
	SF24. Sicurezza dell'uomo
	(Continua)

²¹³ Wikipedia.org, 2020, Analytic Hierarchy Process, https://it.wikipedia.org/wiki/Analytic_Hierarchy_Process, (consultato il 17/01/2021).

Accessibilità	SF25. Tracciabilità dell'origine
	SF26. Integrità
	SF27. Tracciabilità in tempo reale
Costo complessivo	SF 28. Costi
	SF29. Risparmio energia
	SF30. Riduzione costi amministrazione
	SF31. Risoluzione Double Spending
Sistemi Smart	SF32. Smart Contract
	SF33. Ottimizzazione processi
	SF34. Miglioramento del magazzino
Sostenibilità	SF35. Performance
	SF36. Alta disponibilità
	SF37. Crescita a lungo termine
Gestione dei dati	SF38. Interoperabilità
	SF39. Controllo accesso dati nel SCM
	SF40. Autenticità dati
	SF41. Contabilità
	SF42. Verifica audit nel SCM
Integrazione con SCM	SF43. Flessibilità nel sistema produttivo
	SF44. Sincronizzazione nella logistica
	SF45. Sviluppo di affidabili fornitori
	SF46. Condivisione domanda nel SCM
	SF47. Focus sui punti di forza
	SF48. Identificazione dei problemi

Completato il sondaggio, vengono recuperati i dati e valutati i pesi di ogni singolo fattore e nella globalità il valore di ciascuna categoria.

Tabella 6.3: Riepilogo del ranking locale e globale dei fattori di successo.

Categorie	Peso categoria	Fattore di successo	Peso locale	Ranking locale	Peso globale	Ranking globale
(C1) Forza del sistema	0,057	SF1	0,062	5	0,004	42
		SF2	0,05	6	0,003	46
		SF3	0,159	2	0,009	27
		SF4	0,506	1	0,029	13
		SF5	0,145	3	0,008	30
		SF6	0,079	4	0,005	40
(C2) Soddisfazione del cliente	0,042	SF7	0,263	2	0,011	24
		SF8	0,11	3	0,005	39
		SF9	0,46	1	0,019	16
(C3) Efficienza complessiva	0,206	SF10	0,053	6	0,011	25
		SF11	0,169	4	0,035	10
		SF12	0,185	2	0,038	7
						(Continua)

		SF13	0,309	1	0,064	3
		SF14	0,103	5	0,021	15
		SF15	0,182	3	0,037	8
(C4) Politiche e leggi	0,029	SF16	0,312	2	0,009	28
		SF17	0,198	3	0,006	35
		SF18	0,49	1	0,014	21
(C5) Affidabilità e riconciliazione ecologica	0,147	SF19	0,061	1	0,009	29
		SF20	0,108	4	0,016	1
		SF21	0,034	6	0,005	37
		SF22	0,199	3	0,029	12
		SF23	0,241	2	0,035	9
		SF24	0,357	1	0,052	5
(C6) Accessibilità	0,228	SF25	0,363	2	0,083	2
		SF26	0,066	3	0,015	20
		SF27	0,571	1	0,013	1
(C7) Costo complessivo	0,039	SF28	0,199	4	0,008	32
		SF29	0,178	5	0,007	33
		SF30	0,347	2	0,014	23
		SF31	0,276	3	0,011	26
(C8) Sistemi Smart	0,051	SF32	0,544	1	0,028	14
		SF33	0,11	6	0,006	36
		SF34	0,346	5	0,018	18
(C9) Sostenibilità	0,016	SF35	0,198	3	0,003	44
		SF36	0,312	2	0,005	38
		SF37	0,49	1	0,008	31
(C10) Gestione dei dati	0,165	SF38	0,111	4	0,012	17
		SF39	0,357	1	0,059	4
		SF40	0,202	3	0,033	11
		SF41	0,084	5	0,014	22
		SF42	0,246	2	0,041	6
(C11) Integrazione con SCM	0,021	SF43	0,314	1	0,007	34
		SF44	0,068	6	0,001	48
		SF45	0,195	2	0,004	41
		SF46	0,147	4	0,003	45
		SF47	0,158	3	0,003	43
		SF48	0,12	5	0,003	47

Il peso locale rappresenta il valore del fattore all'interno di una categoria, ed il peso globale rappresenta il valore del fattore tra tutti i fattori indicati.

Si nota che la categoria Accessibilità (C6) ha avuto il grado più alto rispetto al peso delle altre categorie, mentre la categoria Sostenibilità (C9) è risultato il più basso in classifica.

Nella figura 6.2 vengono illustrati i pesi di ciascuna categoria, come si può evincere Efficienza complessiva (C3), Accessibilità (C6) e Gestione dei dati (C10) rappresentano i gruppi che hanno avuto maggior rilievo in questo studio.

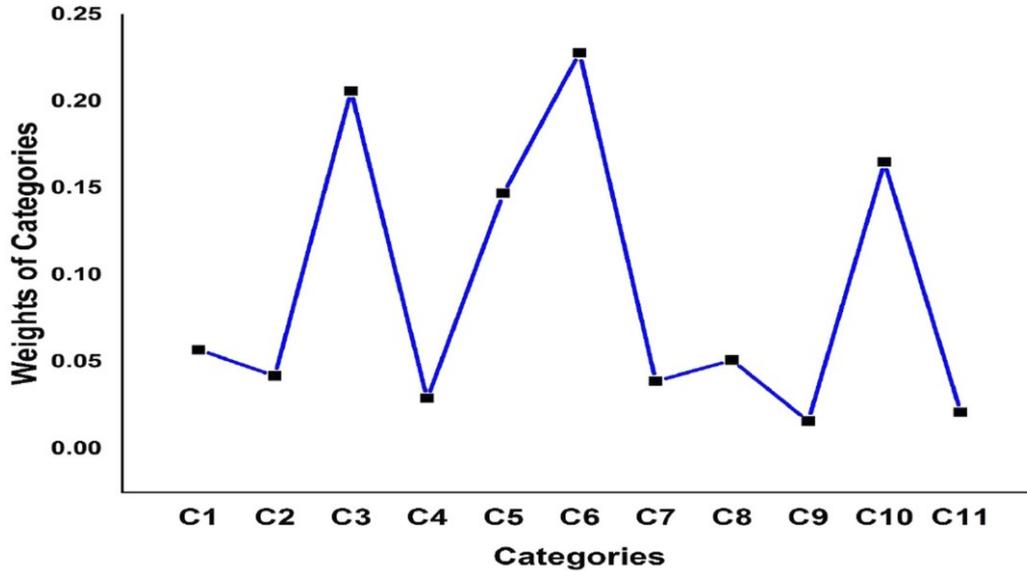


Fig 6.2: Peso di ciascuna categoria. (Shoaib M., et al., 2020)

Nel grafico successivo, invece, viene mostrato il peso di ciascun fattore locale rispetto alle rispettive categorie.

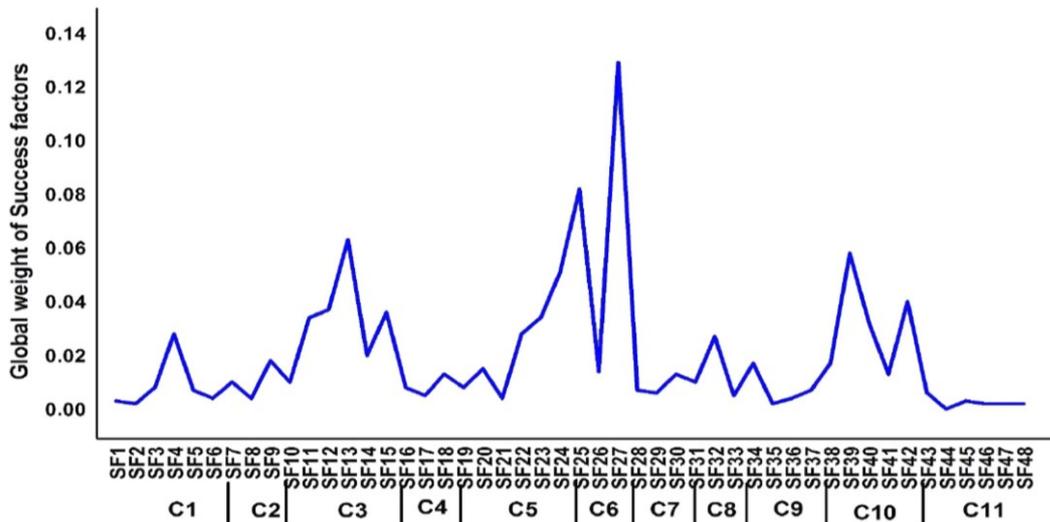


Fig 6.3: Peso di fattori di successo. (Shoaib M., et al., 2020)

Come si può osservare dal grafico (Fig 6.3) la tracciabilità in tempo reale (SF27) è considerato il fattore più importante rispetto ad altri fattori complessivi. Mentre, tracciabilità dell'ordine (SF25), Semplificazione paradigmi correnti (SF13), Controllo accesso dati nel SCM (SF39) e Sicurezza dell'uomo (SF24) sono considerati fattori critici.

L'accessibilità gioca un ruolo importante nell'adozione della blockchain in una catena di fornitura.

Tale studio ha il potenziale di migliorare lo sviluppo delle Supply Chain su blockchain, offre l'opportunità alle aziende ed alle imprese di acquisire vantaggi competitivi sulla tecnologia blockchain. I fattori di successo identificati aiutano i professionisti dell'industria durante la fase di implementazione; come si dimostra da questa ricerca, la blockchain offre una soluzione per un registro sicuro e protetto, rafforzando l'aspetto della trasparenza del prodotto lungo tutto il suo ciclo di vita.

L'adozione di tale tecnologia aiuta i manager a correggere problemi dovuti ad una scarsa gestione del magazzino, condividendo informazioni autentiche e puntuali tra i partner della catena di fornitura.

Un ulteriore studio sull'identificazione dei fattori di influenza nell'adozione della blockchain nelle Supply Chain è stato svolto da Dnyaneshwar Ghode, Vinod Yadav, Rakesh Jain e Gunjan Soni nel loro elaborato dal titolo "Adoption of blockchain in supply chain: an analysis of influencing factors" (Ghode D., et al., 2020)²¹⁴ vengono analizzati i seguenti fattori di influenza elencati nella seguente tabella.

Tabella 6.4: Fattori che influenzano l'adozione della blockchain nella Supply Chain.

Fattori di influenza	Obbiettivi
Fiducia interorganizzativa (IO)	Superare la diffidenza tra i partner commerciali nella rete della catena di fornitura
Relazione Governance (RG)	Realizzare cooperazione tra i partner della catena di fornitura
Trasparenza dei dati (DT)	Bilanciare trasparenza e riservatezza dei dati nella blockchain al fine di ottenere profitto negli affari
Immutabilità dei dati (DI)	Ripristinare o correggere dati in caso di errore in input a causa di imprevisti, o per evitare hacking
Interoperabilità (IP)	Condividere le informazioni dei produttori, fornitori e venditori che prima mantenevano il segreto
Tipologia prodotto (PT)	Evitare frodi eliminando gli intermediari in diversi ambiti della filiera
Influenza sociale (SI)	Fornire la provenienza per l'adozione di metodi di produzione socialmente responsabili
Intenzione comportamentale (BI)	Decidere il comportamento degli stakeholder della filiera per l'adozione della blockchain

²¹⁴ Ghode D., Yadav V., Jain R., Soni G., 2020, Adoption of blockchain in supply chain: an analysis of influencing factors, *Emerald, Journal of Enterprise Information Management Volume 33*.

Ciascun fattore è stato identificato valutando diversi articoli pubblicati inerenti all'adozione della blockchain nel Supply Chain Management:

- Fiducia interorganizzativa (IO): la fiducia è uno dei principali motivi di fallimento nelle Supply Chain, è necessario costruire una forte fiducia tra i partner della catena di fornitura per raggiungere un livello di efficienza elevato. Una condivisione ottimale delle informazioni ed il supporto collaborativo sono elementi necessari per ottenere una fiducia interorganizzativa per il successo dell'intera Supply Chain. Spesso ogni stakeholder della filiera cerca di sopra elevarsi favorendo la competizione, ottenendo una mancanza di comunicazione e creando slealtà nel contesto dell'impresa.

- Relazione Governance (RG): le relazioni a lungo termine tra i partner della Supply chain non solo si limitano allo scambio finanziario e di marketing, ma anche allo scambio sociale e relazionale. L'integrazione nella prospettiva di un rapporto acquirente-fornitore, con lo scopo di fornire informazioni nell'ottica di una risoluzione condivisa dei problemi si ottiene tramite una Relazione di governance.

- Trasparenza dei dati (DT): in una blockchain tutti i partecipanti alla rete possono consultare i dati registrati nei blocchi. Il registro distribuito semplifica la condivisione dei dati tra i partner della filiera, ma allo stesso tempo potrebbe rendere disponibili dati sensibili che potrebbero essere utilizzati da concorrenti; la sfida principale è trovare un equilibrio tra trasparenza e riservatezza per ottenere il massimo profitto negli affari.

- Immutabilità dei dati (DI): il tentativo di apportare modifiche dei dati senza autorizzazione viene rilevato come attacco alla rete e quindi rifiutato; la caratteristica di immutabilità dei dati riduce notevolmente la possibilità di attacchi hacker. In realtà, possono verificarsi problemi come transazioni contestate, indirizzi errati, smarrimento di chiavi private, errore di immissione dei dati, pertanto è necessario sviluppare sistemi autorizzati per le Supply Chain in modo tale da poter realizzare azioni correttive.

- Interoperabilità (IP): durante la verifica dei file di una Supply Chain, è possibile che ogni singolo partner possa visualizzare ed approvare l'inserimento dei dati, nel caso di inefficienze è possibile porvi rimedio prima che informazioni errate possano essere registrate sulla rete. Inoltre, permette di valutare l'operato dei fornitori e valutare migliori sulla base dei risultati ottenuti da ciascuna valutazione. L'adozione della blockchain nell'attuale sistema di Supply Chain potrebbe complicare il suo funzionamento, soprattutto nella prima fase di implementazione.

- Tipologia prodotto (PT): i dati forniti dalla blockchain sono l'unica fonte affidabile di dati e ciò contribuirà a facilitare la condivisione di informazioni per la risoluzione di controversie. In una Supply Chain vengono realizzati diversi tipi di prodotti, ogni prodotto viene gestito dalla filiera secondo il suo consumo, l'adozione della blockchain permette di controllare l'andamento della domanda sul mercato e stabilire una pianificazione in funzione di dati ottenuti. Inoltre, essendo i prodotti registrati sulla blockchain, si riduce il rischio di frode.

- Influenza Sociale (SI): Il cliente ha aspettative da parte delle aziende, i brand che dichiarano di lavorare su questioni sociali ricevono una fidelizzazione maggiore da parte del cliente, che è disposto a pagare di più per ricevere prodotti di quel marchio. La percezione della blockchain è uno dei principali problemi che ne ostacolano l'adozione.

- Intenzione comportamentale (BI): il comportamento tra le parti interessate in una filiera produttiva dipende dalla fiducia che si instaura tra i partner della Supply Chain. La fiducia è un aspetto fondamentale per garantire un alto livello di efficienza nell'intera catena di fornitura.

In questa ricerca è stato somministrato un questionario a cinque esperti nel settore, tra accademici e professionisti, chiedendo loro di valutare ciascun fattore di influenza secondo una scala Likert da 0 (nessuna influenza) a 5 (massima influenza).

Una volta raccolti i dati sono stati elaborati con il metodo GRA (Grey Relational Analysis), è uno dei modelli che definisce situazioni "senza informazioni" definite come nere e situazioni con "perfette informazioni" definite come nere. Tuttavia, nessuna di queste condizioni si realizza nel mondo reale, in quanto le informazioni hanno una conoscenza "dispersa" e quindi definite come grigie, confuse o sfocate.

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti dagli esperti:

Tabella 6.5: Raccolta dati dagli esperti in scala Likert. (Ghode D., et al., 2020)

Fattori	Esperto 1	Esperto 2	Esperto 3	Esperto 4	Esperto 5
IO	5	3	5	5	4
RG	5	4	4	2	5
DT	4	2	5	3	4
DI	3	5	1	1	2
IP	5	4	5	4	3
PT	4	2	2	2	3
SI	2	1	3	2	2
BI	1	5	2	2	2

Viene applicato il metodo GRA e di seguito vengono raccolti in una tabella i valori della matrice decisionale normalizzata.

Tabella 6.6: valori della matrice decisionale degli esperti per ciascun fattore. (Ghode D., et al., 2020)

Fattori	Esperto 1	Esperto 2	Esperto 3	Esperto 4	Esperto 5	Sum	Sum/No.	Rank
IO	1,0000	0,5000	1,0000	1,0000	0,6667	4,1000	0,8200	1
RG	1,0000	0,7500	0,7500	0,2500	1,0000	3,7333	0,7467	3
DT	0,7500	0,2500	1,0000	0,5000	0,6667	3,1667	0,6333	4
DI	0,5000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,5000	0,5000	5
IP	1,0000	0,7500	1,0000	0,7500	0,3333	3,7619	0,7524	2
PT	0,7500	0,2500	0,2500	0,2500	0,3333	2,2952	0,4590	7
SI	0,2500	0,0000	0,5000	0,2500	0,0000	1,9667	0,3933	8
BI	0,0000	1,0000	0,2500	0,2500	0,0000	2,4667	0,4933	6

Dai risultati ottenuti si emerge che la Fiducia interorganizzativa (IO) è classificato come il fattore più influente; in una Supply Chain, tutti gli stakeholder partecipanti svolgono un'attività autonoma cercando l'ottimizzazione locale.

Il processo di adozione della blockchain richiede l'accordo tra tutte le parti della rete, senza il quale, lo scopo di utilizzare tale tecnologia per ridurre al minimo gli errori del sistema non può essere soddisfatto. Scambiare informazioni errate tra le parti della filiera comporta una diminuzione complessiva del rendimento dell'intera impresa, risultando dispendioso, sia in termini economici che spreco di tempo, per rilevare gli errori e di conseguenza correggerli.

In assenza di buona volontà e di una fiducia stabile tra i partner della Supply Chain, esiste una minaccia per l'integrità dei dati e l'accessibilità degli stessi; il sistema risulta esposto alla corruzione, truffe e manomissione.

Il fattore Relazione Governance (RG) stabilisce l'importanza di una relazione a lungo termine costruita su una fiducia reciproca tra le parti della Supply Chain, per una corretta e continua condivisione dei dati.

È evidente la correlazione tra Fiducia interorganizzativa (IO) e la Relazione Governance (RG), l'influenza reciproca tra questi due fattori può essere rappresentata come una sfida organizzativa nella gestione globale dell'intera Supply Chain.

Tra questi due fattori, si manifesta l'importanza dell'Interoperabilità (IP), fondamentale per garantire un corretto scambio di informazioni. La sfida della blockchain è supportare il meccanismo di controllo in modo che le parti della catena di fornitura possano condividere importanti informazioni ma allo stesso tempo rispettare i dati sensibili di ciascun membro. L'interoperabilità può cambiare notevolmente il punto di vista di tutti i partner adottando la blockchain nel Supply Chain Management.

Di seguito vengono considerati importanti i fattori di Trasparenza (DT) e Immutabilità (DI) dei dati, sono necessari per un corretto sviluppo della fiducia, i dati forniti non possono essere alterati da nessun nodo della rete senza previa autorizzazione; questi due fattori sono i punti di forza della blockchain, poiché i dati possono essere disponibili ma non possono essere modificati una volta inseriti e validati sul registro distribuito. Allo stesso tempo i dati visibili sulla rete risultano trasparenti e riservati laddove avviene la richiesta di privacy attraverso il meccanismo di crittografia. Il bilanciamento tra questi due fattori è una sfida importante per l'adozione della blockchain in una Supply Chain.

La Tipologia prodotto (PT) rappresenta una sfida operativa, lo scopo è la riduzione dei costi rimuovendo l'incarico degli intermediari; insieme all'Influenza sociale (SI) porta ad adottare metodi di produzione socialmente responsabili da parte dei prodotti. Risulta importante valutare il modo con cui ciascun prodotto viene realizzato e rendere tracciabile ogni singolo passaggio di proprietà del prodotto, per garantire al cliente la possibilità di verificare l'origine e la natura dei materiali utilizzati per la sua produzione.

I risultati di queste due ricerche proposte permettono di individuare dei fattori che rappresentano gli effetti dovuti all'adozione della tecnologia blockchain nel Supply

Chain Management. Tali fattori rappresentano i benefici ed i limiti della tecnologia, rappresentando delle sfide da intraprendere per consentire l'adozione di questa tecnologia in una filiera produttiva.

Le potenzialità di questa tecnologia sono notevoli ed evidenti, è importante superare gli ostacoli emersi dalle ricerche per consentire una corretta implementazione della blockchain negli attuali sistemi produttivi, con lo scopo di ottenere la massima efficienza che questa tecnologia innovativa può apportare.

Essendo che molte aziende non hanno ancora implementato la blockchain nelle loro catene di produzione, risulta complesso ottenere feedback in merito all'influenza, è essenziale scoprire le varie sfide che si possono presentare in particolare nelle prime fasi di implementazione.

6.4 Analisi ambiti applicativi

In una ricerca svolta nel 2019 da Erol Ismail, Ar Murat Ilker e Ozdemir Ihsan Ali dal titolo "Assessing the feasibility of blockchain technology in industries" (Ismail E., et al., 2019)²¹⁵ attraverso un questionario, somministrato a studiosi ed esperti nel settore, sono stati analizzati i principali ambiti applicativi che gioverebbero delle potenzialità della blockchain grazie all'implementazione di tale tecnologia.

Nel questionario sono state presentate le seguenti tipologie di settori:

- Logistica e Supply Chain
- Alimentare ed agricoltura
- Energia
- Finanza
- Sanità
- Automotive
- Farmaceutica

Nel questionario è stato proposto agli stakeholder di valutare ciascun'impresa in scala Likert da 1 a 7, dove 1 indicava "nessuna fattibilità" e 7 "piena fattibilità".

²¹⁵ Ismail E., Ar Murat I., Ozdemir I.A., 2019, Assessing the feasibility of blockchain technology in industries, *Emerald – Journal of Enterprise Information Management*.

Tabella 6.7: Ranking applicazione blockchain ai principali ambiti applicativi (Ismail E., et al., 2019)

Industrie	Peso	Rank
Logistica e SC	0,7	1
Alimentare e agricoltura	0,56	4
Energia	0,41	6
Finanza	0,68	2
Sanità	0,67	3
Automotive	0,18	7
Farmaceutica	0,55	5

Dai risultati ottenuti è possibile evidenziare che l'industria più fattibile per implementare la blockchain è la Logistica ed il Supply Chain. La finanza risulta al secondo posto ed al terzo posto la Sanità.

La ricerca presentata è uno dei pochi casi dove viene preso in considerazione l'ambito applicativo nell'applicazione della blockchain, da questo studio si evince come il Supply Chain Management sia fortemente consigliato per l'adozione della tecnologia blockchain, inoltre, la presenza della finanza e la sanità rispecchia perfettamente quanto detto nel Capitolo 3.

Una ricerca volta a determinare in quale ambito applicativo la blockchain potrebbe esplicitare pienamente il suo potenziale è stata condotta da Zeadally Sherali e Abdo Bou Jacques nel 2019, dal titolo "Blockchain: Trends and future opportunities" (Sherali Z., Abdo B.J., 2019)²¹⁶; in questa analisi della letteratura esistente viene analizzato il trend delle ricerche pubblicate tra il 2015 ed il 2018, in particolare vengono considerate il numero di pubblicazioni realizzate in funzione di ciascun ambito applicativo relativo alla tecnologia blockchain (Fig 6.4).

²¹⁶ Sherali Z., Abdo B.J., 2019, Blockchain: Trends and future opportunities, *Internet Technology Letters*.

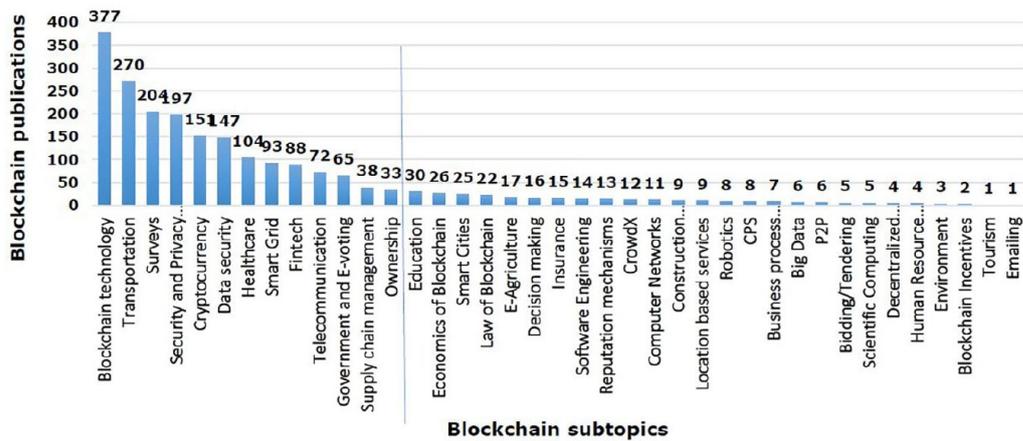


Fig 6.4: Pubblicazioni relative alla blockchain in funzione degli ambiti applicativi.

Le ricerche considerate in questa analisi sono state selezionate in base all'argomento trattato, ovvero prendendo in considerazione coloro i quali hanno mostrato interesse nei confronti della blockchain esplicitandone il potenziale in un particolare ambito applicativo.

Nella Fig 6.5 viene proposto un grafico che evidenzia la percentuale di ricerche svolte in funzione dell'anno in cui vengono pubblicate, suddividendo le varie pubblicazioni nelle principali tematiche trattate come si evince dalla Fig 6.4.

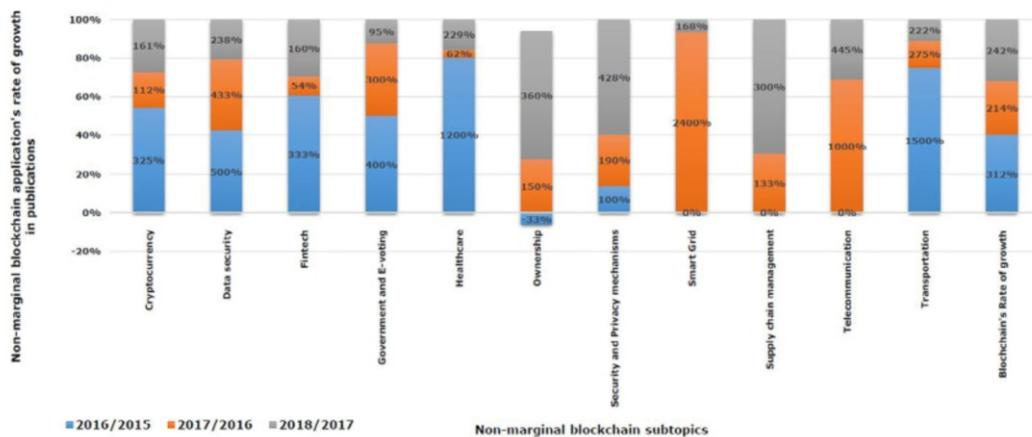


Fig 6.4: Ricerche relative alla blockchain in funzione dell'anno di pubblicazione.

Dalla Fig.6.5 si evince che nel 2017/2018 c'è stato un aumento del 300% delle pubblicazioni relative alla tecnologia blockchain nel Supply Chain Management.

Nel complesso c'è stato un forte incremento dell'interesse nella tecnologia in molte applicazioni, dagli Smart Contract alla sanità.

In generale questo studio evidenzia diversi aspetti:

- La blockchain tra il 2015 ed il 2018 ha mostrato sempre più interesse da parte dei ricercatori, si prevede un aumento di tendenza dato il suo essere una tecnologia non ancora matura.
- La potenzialità della tecnologia sta emergendo in diversi ambiti applicativi al di là della criptovaluta, come Supply Chain Management, trasporto, sicurezza dei dati, sanità, Smart Contract, telecomunicazioni, gestione delle proprietà, aspetti governativi e sistema di voto elettronico.
- Sulla base dei risultati ottenuti da questo studio, si evidenzia l'importanza di investire nella ricerca sulla blockchain, in particolare la sua applicazione nella gestione della catena di approvvigionamento e nel trasporto, in quanto la blockchain probabilmente maturerà prima in questi ambiti e risulterà un investimento meno rischioso rispetto ad altri ambiti applicativi.

6.5 Blockchain nel futuro (2035)

In un'indagine svolta nel 2020 da Kopyto Matthias, Lechler Sabrina, Heiko A. von der Gracht e Hartmann Evi dal titolo "Potentials of blockchain technology in supply chain management: Long-term judgments of an international expert panel" (Matthias K., et al., 2020)²¹⁷ ci si interroga sul seguente quesito: *"Quali scenari applicativi e potenzialità della tecnologia blockchain si vedranno probabilmente nella gestione della catena di approvvigionamento entro il 2035?"*.

Per rispondere a questa domanda è stata condotta un'indagine Delphi nella quale sono stati designati 108 esperti nel mondo accademico, industriale e politico, ciascun esperto è stato selezionato in base ad un forte background sulla conoscenza della blockchain, del Supply Chain Management e delle applicazioni relative alla blockchain nelle catene di approvvigionamento.

²¹⁷ Matthias K., Lechler S., Von der Gracht H.A., Hartmann E., 2020, Potentials of blockchain technology in supply chain management: Long-term judgments of an international expert panel, *Elsevier – Technological Forecasting & Social Change*.

Il metodo Delphi è un metodo d'indagine iterativo, utilizzato nella ricerca scientifica, si realizza attraverso più fasi di valutazione da parte degli esperti selezionati, con l'obiettivo di far convergere l'opinione più completa e condivisa. È una tecnica utilizzata per ottenere risposte ad un problema, la valutazione è un processo iterativo che avviene in più fasi, dopo ogni valutazione viene proposta in forma anonima un sommario delle risposte degli esperti, vengono discusse le varie proposte e successivamente viene richiesta una nuova valutazione; al termine del processo iterativo viene fatta una sorta di media matematica e a partire da quest'ultima si traggono le conclusioni in merito ai risultati ottenuti. (Wikipedia.org, 2020)²¹⁸

Inoltre, la tecnica Delphi è usata come supporto valutativo od euristico ad un processo decisionale innovatore, in situazioni in cui si riscontra una mancanza di accordo o una incompleta conoscenza sulla natura del problema. (Bolzan M., 2013)²¹⁹

Il metodo Delphi in questa analisi è stato sviluppato individuando ed esaminando articoli, riviste e conferenze, per identificare i fattori rilevanti riguardante il futuro della blockchain nel Supply Chain Management.

Di seguito vengono elencati i fattori proposti agli stakeholder, ciascuna proiezione è riferita all'anno 2035 come prospettiva futura:

- 1) È stato stabilito un quadro giuridico globale per l'applicazione della tecnologia blockchain nel Supply Chain Management.
- 2) La tecnologia blockchain ha essenzialmente migliorato la conformità delle aziende agli standard di sostenibilità.
- 3) Gli Smart Contract hanno ampiamente sostituito le attività operative della Supply Chain.
- 4) La tecnologia blockchain ha creato trasparenza end-to-end all'interno delle Supply Chain multilivello.
- 5) La gestione attiva della fiducia tra i partner della Supply Chain ha perso la sua rilevanza a causa della tecnologia blockchain.

²¹⁸ Wikipedia.org, 2020, Metodo Delphi, https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_Delphi, (consultato il 20/01/2021).

²¹⁹ Bolzan M., 2013, La tecnica Delphi, *Università degli Studi di Padova*, (https://homes.stat.unipd.it/mariobolzan/sites/homes.stat.unipd.it/mariobolzan/files/LA%20TECNICA%20DEL-PHI24sett2013_0.pdf).

- 6) La tecnologia blockchain si è evoluta fino a diventare lo standard dominante per il tracciamento dei flussi di materiale.
- 7) L'accesso ai dati tramite blockchain ha sostanzialmente migliorato la pianificazione della domanda.
- 8) La tecnologia blockchain è stata l'elemento chiave per l'espansione rivoluzionaria dell'interconnessione digitale di oggetti e dispositivi (ad esempio, Internet of Things).
- 9) Lo scambio di informazioni relative ai prodotti (ad esempio, ID del produttore, prezzo, emissioni di CO₂, condizioni di lavoro) tramite la tecnologia blockchain è diventata un imperativo per la gestione del Supply Chain Management.
- 10) Nuovi profili professionali nella gestione della catena di fornitura sono stati creati grazie alla tecnologia blockchain.
- 11) La tecnologia blockchain ha sostanzialmente migliorato la gestione del rischio della supply chain.
- 12) I precedenti problemi tecnologici con la tecnologia blockchain sono stati risolti (ad esempio, problemi di scalabilità, archiviazione limitata dei dati, tempi di creazione dei blocchi, alti costi di transazione, alto consumo energetico).
- 13) La manipolazione dei dati è diventata una seria minaccia per la tecnologia blockchain.
- 14) Molteplici blockchain specializzate (ad esempio per transazioni finanziarie, tracciabilità di merci, prova dell'origine) sono state sostituite da una blockchain multiuso integrata.
- 15) Le criptovalute sono diventate il mezzo di pagamento standard per le transazioni business-to-business.

È stato richiesto agli esperti di valutare ciascuna proiezione in funzione della Probabilità di accadimento attesa (EP) su scala metrica 0-100%, l'Impatto sul settore (I) basato su scala Likert a 5 punti, e Desiderabilità dell'evento (D) basata su scala Likert a 5 punti. Inoltre, i partecipanti hanno avuto la possibilità di aggiungere elementi qualitativi giustificando le stime quantitative fornite. Restituendo sia valutazioni quantitative che qualitative, aumenta l'accuratezza dei risultati finali.

L'analisi dei risultati è stata realizzata determinando i rispettivi valori medi aritmetici, inoltre, per sono state calcolate due misure aggiuntive per ciascuna proiezione, il tasso di convergenza (CV) e intervalli interquartili (IQR).

Tabella 6.8: Analisi valutazione degli esperti. (Matthias K., et al., 2020)

No. Proiezione	EP	IQR	CV	I	D
P1	55%	54	-4,80%	4	3,8
P2	56%	39	-4,10%	3,6	4,2
P3	64%	30	-5,10%	4,3	4,2
P4	64%	30	-7,90%	4,2	4,2
P5	42%	26	-7,70%	3,3	3,3
P6	62%	30	-3,30%	3,9	3,9
P7	54%	40	-3,40%	3,7	3,7
P8	56%	40	-3,40%	3,9	3,6
P9	65%	20	-4,10%	3,8	3,9
P10	73%	30	-12,20%	3,5	3,5
P11	69%	20	-2,60%	3,9	4,1
P12	72%	30	-4,10%	4,1	4,5
P13	41%	40	-4,30%	3,6	1,6
P14	33%	40	7,40%	3,5	2,8
P15	46%	45	5,80%	3,6	3,2

I risultati hanno rilevato che il verificarsi di tutte le proiezioni esaminate avrebbe un impatto non trascurabile nel Supply Chain Management, in quanto il valore medio dell'impatto (I) stimato di ogni proiezione è stato valutato superiore a 3.0. Quindi, tutte le proiezioni sono state ulteriormente prese in considerazione per l'analisi.

Con un valore medio di 4.3 su scala Likert, la proiezione sui contratti intelligenti (P3) ha la massima influenza nel SCM. Le proiezioni sulla manipolazione dei dati (P13) e la blockchain integrata (P14) non sono desiderate dalla maggior parte degli esperti partecipanti. Le restanti 13 proiezioni sono desiderate, poiché i loro valori medi di desiderabilità (D) sono superiori a 3.0, variando da 3.2 per le criptovalute (P15) a 4.5 per i problemi tecnologici (P12).

I valori medi della probabilità delle proiezioni vanno dal 33% per la blockchain integrata (P14) al 73% per i profili professionali (P10).

Questo studio mira ad immaginare il panorama futuro utilizzando la tecnologia blockchain nel Supply Chain Management, e quindi verificare le barriere esistenti, attualmente affrontate dalla tecnologia, per comprendere se verranno superate nel 2035. Per rispondere alla domanda iniziale, viene proposta in un grafico (Fig 6.5) la media dell'impatto atteso in funzione della media della probabilità attesa.

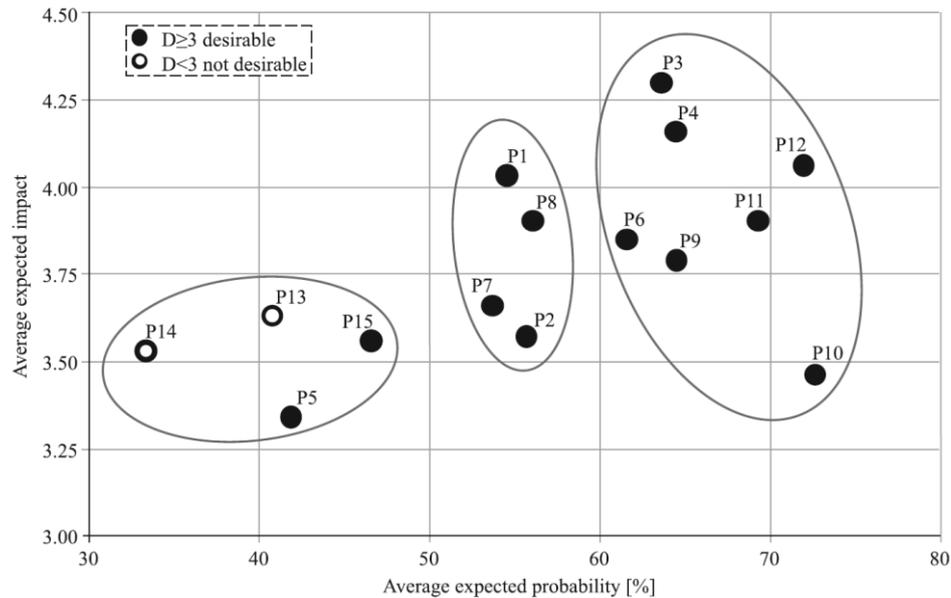


Fig 6.5: Classificazione delle proiezioni in base alla probabilità attesa e all'impatto atteso. (Matthias K., et al., 2020)

Questo studio rivela i possibili scenari per la futura applicazione della blockchain nel SCM, in particolare le proiezioni combinate rappresentano lo scenario con la più alta probabilità. Queste prospettive saranno di grande valore per ricercatori e manager, potendo in questo modo supportare le imprese nelle loro decisioni strategiche a lungo termine.

CAPITOLO 7 – Pianificazione della ricerca

In questo capitolo introdurrò nel dettaglio la mia indagine di ricerca a partire da un'analisi delle motivazioni per le quali ho prediletto la metodologia quantitativa, andando a descrivere l'intero processo di costruzione dell'analisi empirica.

A partire dagli obiettivi principali che mi sono proposto di raggiungere, sino alla strutturazione del questionario, e dunque, alla presentazione dello stesso.

Viene quindi descritto nel dettaglio il processo di reclutamento del campione di riferimento e la scelta dei temi trattati.

7.1 La ricerca quantitativa

“La ricerca scientifica è un processo creativo di scoperta che si sviluppa secondo un itinerario prefissato e secondo procedure prestabilite che si sono consolidate all'interno della comunità scientifica” (Corbetta P., 1999)²²⁰

La fase preliminare di ogni ricerca empirica equivale ad uno studio approfondito della letteratura di riferimento con lo scopo di estrapolare quanto è stato già fatto sul piano teorico ed empirico.

La ricerca quantitativa, a fronte di una ricerca qualitativa, è volta ad ottenere risultati a carattere generale del fenomeno che si sta analizzando in forma numerica; inoltre, questa tipologia di ricerca può ampliare il suo raggio d'azione, maggiori saranno i dati raccolti e più precise saranno le statistiche, rendendo la ricerca robusta ed affidabile. (Armato E., 2017)²²¹

La blockchain è una tecnologia ritenuta ancora immatura, in particolare la sua implementazione nel Supply Chain Management ha suscitato l'interesse pubblico solo da pochi anni, e le ricerche fino ad ora realizzate non hanno infatti esplicitato totalmente le potenzialità ed i limiti della tecnologia; in questo caso, il fenomeno blockchain necessita di un'analisi che vada ad individuare i principali effetti nella sua adozione in una catena di approvvigionamento.

²²⁰ Corbetta P., 1999, Metodologia e tecniche della ricerca sociale, *Il Mulino*, Bologna

²²¹ Armato E., 2017, Differenza tra ricerca quantitativa e qualitativa, <https://www.ffind.com/it/2017/10/differenza-tra-ricerca-quantitativa-e-qualitativa>, (consultato il 22/01/2021).

Nel mio caso di studio, è stato di fondamentale importanza analizzare più aspetti dell'adozione della blockchain nel Supply Chain Management, ricevendo il parere da un numero ampio di esperti nel settore, per poter ottenere un risultato il più preciso possibile, partendo dal presupposto che la conoscenza di questa tecnologia potrebbe essere limitata essendo ancora immatura e la sua applicazione in questo ambito non ancora divulgata su larga scala.

I fenomeni da analizzare, per una tecnologia non totalmente sviluppata, sono molti: dai benefici alle barriere, dai principali ambiti applicativi alle possibili soluzioni per superare i vincoli che ne ostacolano l'adozione; una ricerca qualitativa non solo sarebbe stata complessa da condurre, dato il numero elevato di variabili da considerare, ma non si sarebbe potuto ottenere un numero sufficiente di pareri diversificati per poter, di conseguenza, ottenere dei risultati robusti, con lo scopo di far emergere considerazioni solide per lo sviluppo di questa tecnologia nell'ambito della Supply Chain.

La scelta di realizzare e somministrare un questionario da utilizzare come strumento per lo svolgimento dell'analisi quantitativa è stata presa in considerazione, in primo luogo, per poter garantire la raccolta di dati in forma numerica.

Comprese le ragioni della scelta metodologica per la mia indagine è ora di fondamentale importanza comprendere come è avvenuta l'organizzazione del piano di ricerca, la strutturazione del questionario e la scelta del campione di riferimento.

7.2 Obiettivi della ricerca

Come è stato già ribadito più volte, l'obiettivo principale di questa indagine è quello di far emergere i benefici e le criticità della tecnologia blockchain applicata al Supply Chain Management, con lo scopo di individuare possibili soluzioni e/o percorsi di miglioramento.

Come descritto nel Capitolo 6, partendo da articoli, pubblicazioni e ricerche presenti in letteratura e sul web, ho realizzato una sintesi dei principali fenomeni analizzati in questo ambito, facendo emergere le principali potenzialità e limiti di questa tecnologia.

Analizzando in maniera incrociata i risultati delle ricerche precedentemente citate ed estrapolandone gli elementi principali, mi sono posto i seguenti quesiti:

- 1) Quali sono i settori dove può risultare maggiormente funzionale l'applicazione della blockchain nel Supply Chain Management?
- 2) Quanto complessa è l'applicazione della blockchain nel Supply Chain rispetto ad altre tipologie di applicazioni già consolidate?
- 3) Quali sono le principali barriere che ostacolano l'adozione della blockchain nel Supply Chain Management?
- 4) Quali potrebbero essere le soluzioni per il superamento delle barriere?
- 5) Quali sono i principali benefici nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain?
- 6) Complessivamente quanto si ritiene la blockchain applicata alla Supply Chain una tecnologia innovativa e funzionale?
- 7) In quale attività del Supply Chain Management la blockchain potrebbe apportare miglioramenti?

Pormi tali questioni mi ha spinto a voler indagare questo fenomeno con lo scopo di far emergere risposte nuove volte a comprendere al meglio la tecnologia blockchain applicata al Supply Chain Management.

Come discusso nel Capitolo 3, vi è una grande varietà di ambiti applicativi dove la blockchain potrebbe apportare miglioramenti, ma in quale di questi l'adozione della tecnologia in una Supply Chain potrebbe ottenere il maggior beneficio della blockchain?

Analizzare questo aspetto non solo permette di comprendere le potenzialità della blockchain in ciascun ambito, ma evidenzia in quali settori attualmente è consigliato l'investimento nella tecnologia, sia in termini di ricerca che di applicazioni industriali. Comprendere la complessità dell'implementazione della blockchain rispetto ad altre tecnologie affermate è importante per i manager aziendali al fine di valutare pianificazioni a lungo termine; un'impresa che vuole investire in una tecnologia innovativa nella propria impresa, ha la necessità di valutare la tecnologia più adatta per poter soddisfare le proprie esigenze.

I benefici della blockchain come tecnologia sono stati già ampiamente descritti, risulta però importante evidenziarne le potenzialità laddove essa venga utilizzata in una catena di approvvigionamento.

Le barriere sono l'ostacolo principale che ne vincola la divulgazione su larga scala, è fondamentale evidenziare i limiti per poter effettuare ricerche e di conseguenza migliorare la tecnologia con azioni correttive, al fine di poter garantire una corretta implementazione e godere a pieno dei benefici che l'hanno resa una tecnologia innovativa.

Come ogni innovazione tecnologica è importante effettuare test, simulazioni ed analisi delle performance per poter comprendere il funzionamento della stessa e di conseguenza adottare strategie di miglioramento; in questo caso sono ancora poche le applicazioni realizzate e funzionanti, dunque valutare possibili soluzioni e/o percorsi di miglioramento è fondamentale per adottare una strategia di ricerca in grado di poter superare le principali barriere che ne ostacolano l'implementazione.

La percezione che le persone hanno nei confronti della tecnologia blockchain è uno dei principali problemi, causa sfiducia nella tecnologia e di conseguenza ne ostacola la divulgazione, in particolare il termine blockchain riporta immediatamente ad una delle sue principali applicazioni, ovvero alla piattaforma Bitcoin; conoscere la percezione che professionisti e ricercatori hanno nei confronti della tecnologia blockchain nell'ambito del Supply Chain Management potrebbe sfatare il mito ed il suo legame con le cryptocurrency.

In ultimo l'obiettivo è quello di analizzare in quali attività del Supply Chain Management l'implementazione della blockchain potrebbe apportare miglioramenti.

Una volta stabilite le tematiche dell'indagine, ho potuto strutturare il questionario, traducendo gli obiettivi proposti nei quesiti da porre al campione preso in considerazione.

7.3 Strutturazione e presentazione del questionario

Ho strutturato il questionario partendo dalla costruzione di diverse fasi operative, come segue:

- Mappatura Stakeholder: in questa fase viene analizzato il settore in cui è inserita l'azienda, l'area di appartenenza, il livello di conoscenza e di esperienza del singolo partecipante relativa alla tecnologia blockchain.

Questa fase è necessaria per avere un quadro chiaro e per poter mappare i partecipanti all'indagine.

- 1) “In che settore è inserita l’azienda per cui lavora?”

Risposta:

	Agricolo
	Alimentare
	Industria/Edilizia
	Commercio
	Sanità
	Servizi pubblici
	Servizi privati
	Istruzione
	Energetico
	Chimico/Farmaceutico
	Altro (Specificare)

- 2) “Qual è la sua area di appartenenza?”

Risposta:

	Industriale
	Legale
	Marketing & Comunicazione
	Commerciale/Vendite
	Relazioni Pubbliche
	Risorse Umane
	Informatica
	Amministrazione/Management
	Altro (Specificare)

- 3) “Quanto ritiene di conoscere la tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain?”

Risposta in scala Likert da 1 (Nessuna conoscenza) a 7 (Piena conoscenza):

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

- 4) “L’azienda per cui lavora ha implementato la tecnologia blockchain alla Supply Chain?”

Risposta:

	Si
	No
	Non so

- 5) “Quanti anni di esperienza ha nell’applicazione della blockchain alla Supply Chain?”

Risposta:

	Nessuno
	<1 anno
	1-3 anni
	3-5 anni
	>5 anni

- Ambiti applicativi: In questa fase ho evidenziato i principali settori di riferimento in cui il partecipante ritiene l’implementazione della tecnologia blockchain funzionale, con lo scopo di confermare o meno quanto emerso in studi precedenti, viene data la possibilità di indicare ulteriori settori oltre quelli considerati.

- 1) “In quali settori pensa possa essere maggiormente funzionale l’applicazione della blockchain alla Supply Chain?”

Risposte:

	Agricolo
	Alimentare
	Industria/Edilizia
	Commercio
	Sanità
	Servizi pubblici
	Servizi privati
	(Continua)

	Istruzione
	Energetico
	Chimico/Farmaceutico
	Altro (Specificare)

- Applicazione blockchain al Supply Chain: In questa fase ho effettuato un confronto tra la complessità dell'applicazione della blockchain alla Supply Chain rispetto ad altre tecnologie esistenti.

- 1) “Quantifichi in una scala da 1 a 7 il livello di complessità nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain rispetto ad altre tipologie di applicazioni”

Risposte in scala Likert da 1 (Nessuna complessità) a 7 (Piena complessità):

RFID (Radio Frequency IDentification)						
1	2	3	4	5	6	7
ERP (Enterprise Resource Planning)						
1	2	3	4	5	6	7
APS (Advanced Planning Systems)						
1	2	3	4	5	6	7
DSS (Decision Support System)						
1	2	3	4	5	6	7
IA (Intelligenza Artificiale)						
1	2	3	4	5	6	7
IoT (Internet of Things)						
1	2	3	4	5	6	7
DSCT (Digital Supply Chain Twin)						
1	2	3	4	5	6	7
Blockchain						
1	2	3	4	5	6	7

- Analisi barriere: in questa fase ho richiesto di valutare l'influenza delle principali barriere emerse dalle ricerche analizzate nel Capitolo 6, al fine di ottenere un quadro più ampio in merito a tali barriere e sulle opinioni che gli stakeholder hanno su di esse. Viene data la possibilità di indicare ulteriori barriere, con lo scopo di individuare possibili nuove barriere che potrebbero emergere da questa indagine.

- 1) “Indichi in una scala da 1 a 7 quanto secondo lei influisce ciascuna barriera nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain.”

Risposte in scala Likert da 1 (Nessuna influenza) a 7 (Piena influenza):

Scalabilità						
1	2	3	4	5	6	7
Costi di implementazione						
1	2	3	4	5	6	7
Livello di conoscenza e competenza						
1	2	3	4	5	6	7
Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain						
1	2	3	4	5	6	7
Privacy						
1	2	3	4	5	6	7
Tecnologia inadeguata (Immaturità)						
1	2	3	4	5	6	7
Assenza di un quadro giuridico di riferimento						
1	2	3	4	5	6	7
Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera						
1	2	3	4	5	6	7
Assenza di norme industriali						
1	2	3	4	5	6	7
Integrazione tra blockchain e Supply Chain						
1	2	3	4	5	6	7
(Continua)						

Sicurezza informatica						
1	2	3	4	5	6	7
Conversione a nuovi sistemi						
1	2	3	4	5	6	7
Assenza di strumenti tecnologici adeguati						
1	2	3	4	5	6	7
Costi di manutenzione						
1	2	3	4	5	6	7
Altro (Specificare)						

- Soluzioni: considerando le barriere precedentemente elencate, ho quindi richiesto di valutare soluzioni per superare i vincoli che ostacolano l'adozione della blockchain nel Supply Chain Management. Ho dato poi la possibilità di indicare ulteriori soluzioni, con lo scopo di individuare possibili nuove strategie che potrebbero emergere da questa indagine.

- 1) “Valuti in una scala da 1 a 7 il livello di efficacia di ciascuna soluzione alle barriere precedentemente menzionate”

Risposte in scala Likert da 1 (Nessuna efficacia) a 7 (Piena efficacia):

Affidarsi ad una società di consulenza						
1	2	3	4	5	6	7
Investire tempo e risorse nella formazione						
1	2	3	4	5	6	7
Ricerca ed inserimento di personale qualificato						
1	2	3	4	5	6	7
Miglioramento della comunicazione con la filiera (es. incontri di formazione)						
1	2	3	4	5	6	7
Partnership con aziende esperte della tecnologia						
1	2	3	4	5	6	7
(Continua)						

Tavole rotonde con esperti						
1	2	3	4	5	6	7
Sviluppo di un modello di riferimento approvato e condiviso dall'intera filiera						
1	2	3	4	5	6	7
Altro (Specificare)						

- Analisi benefici: in questa fase ho richiesto di valutare l'importanza dei principali benefici, al fine di ottenere un quadro più ampio in merito alle potenzialità della tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain. Ho poi dato la possibilità di indicare ulteriori benefici, con lo scopo di individuare possibili nuove potenzialità che potrebbero emergere da questa indagine.

Inoltre, ho richiesto di valutare quanto si ritiene che la blockchain applicata alla Supply Chain sia una tecnologia innovativa e funzionale, per comprendere la percezione che gli esperti del settore che hanno nei confronti della tecnologia in questo particolare ambito.

- 1) "Indichi in una scala da 1 a 7 l'importanza di ciascun beneficio nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain."

Risposte in scala Likert da 1 (Nessun beneficio) a 7 (Pieno beneficio):

Tracciabilità e Visibilità						
1	2	3	4	5	6	7
Intercettazione della contraffazione						
1	2	3	4	5	6	7
Sicurezza dei dati						
1	2	3	4	5	6	7
Riduzione dei costi						
1	2	3	4	5	6	7
Efficienza						
1	2	3	4	5	6	7
(Continua)						

Decentralizzazione						
1	2	3	4	5	6	7
Digitalizzazione						
1	2	3	4	5	6	7
Relazione con i clienti/fornitori						
1	2	3	4	5	6	7
Sostenibilità						
1	2	3	4	5	6	7
Produttività						
1	2	3	4	5	6	7
Scambio di informazioni						
1	2	3	4	5	6	7
Immutabilità						
1	2	3	4	5	6	7
Univocità dei dati						
1	2	3	4	5	6	7
Altro (Specificare)						

2) Indichi in una scala da 1 a 7 quanto ritiene che la blockchain applicata alla Supply Chain sia una tecnologia innovativa e funzionale?

Risposta in scala Likert da 1 (Nessuna innovazione) a 7 (Pieno innovazione):

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

- Attività del Supply Chain Management: ho qui presentato le principali attività del Supply Chain Management con lo scopo di comprendere quali potrebbero trarre beneficio dall'implementazione della blockchain.

- 1) “Indichi in una scala da 1 a 7 in quale attività del Supply Chain Management la blockchain potrebbe secondo lei, apportare miglioramenti.”

Risposte in scala Likert da 1 (Nessun miglioramento) a 7 (Pieno miglioramento):

Approvvigionamento e gestione dei fornitori						
1	2	3	4	5	6	7
Manutenzione e parti di ricambio						
1	2	3	4	5	6	7
Pianificazione						
1	2	3	4	5	6	7
Produzione						
1	2	3	4	5	6	7
Logistica e trasporti						
1	2	3	4	5	6	7
Evasione degli ordini						
1	2	3	4	5	6	7
Gestione clienti						
1	2	3	4	5	6	7
Sviluppo nuovi prodotti						
1	2	3	4	5	6	7
Altro (Specificare)						

7.4 Pianificazione e reclutamento del campione

Il campione di riferimento per questa indagine è stato individuato grazie alla mia partecipazione al Supply Chain Edge Italy 2020²²², una conferenza annuale tenuta dal CSCMP – Council of Supply Chain Management Professionals²²³ che ha avuto luogo il 16 ottobre 2020 a Milano.

La conferenza, con la partecipazione di oltre 500 professionisti nel campo, con oltre 80 relatori e 5 keynote speakers di livello mondiale, è stata articolata in 8 sessioni parallele dedicate sia ai processi chiave del Supply Chain sia alle funzioni e alle tecnologie specifiche:

- Supply Chain & Risk Management
- Planning
- Sourcing & Procurement
- Supply Chain Finance
- Trasport & Delivery
- Warehouse
- Security & Safety
- Sustainability
- HR Management

Una sessione speciale è stata riservata al tema della blockchain per fare il punto e presentare le esperienze sviluppate dalle aziende del gruppo di lavoro facilitato da CSCMP Italia.

Un'intera sala è stata riservata al tema dell'adozione di massa della blockchain con l'obiettivo di mostrare cosa è stato realizzato fino ad oggi e cosa occorre fare per usare la tecnologia in modo innovativo e massimo, sia in ambito aziendale, sia lungo la filiera (enterprise blockchains).

Manager di azienda, operatori logistici, esperti legali, enti di certificazione, enti pubblici, istituti finanziari e fornitori di impiantistica sono in costante attività di informazione e

²²² <https://www.cscmpitaly.org/events/supply-chain-edge-italy-2020>

²²³ <https://cscmp.org/>

di networking sull'argomento, ed in questo convegno hanno potuto presentare testimonianze, casi e best practice attraverso la realizzazione di una tavola rotonda.

Con il coordinamento di Enrico Camerinelli (VP Program, CSCMP Italy RT) sono stati presentati casi d'uso e approfondimenti della blockchain come ponte tra Supply Chain fisica e Supply Chain finanziaria, ad esempio, con l'implementazione di una demo di alcuni prodotti per far conoscere al meglio le potenzialità della tecnologia; in particolare presentando un workshop di aggiornamento sulle attività sviluppate dal gruppo di lavoro CSCMP per individuare azioni necessarie con lo scopo di rendere la tecnologia blockchain di massa.

Partecipando a questa conferenza non solo ho potuto constatare che esperti nel settore riconoscono ad oggi l'importanza di questa innovazione tecnologica, ma è stato di forte spunto ed interesse ascoltare il parere di professionisti della Supply Chain nell'ambito della blockchain; in particolare questa esperienza vissuta in prima persona mi ha spinto a voler dare il mio contributo alla ricerca elaborando questa indagine empirica, con l'obiettivo di comprendere al meglio il fenomeno dell'applicazione della blockchain nel Supply chain Management.

Mosso dall'entusiasmo ho realizzato il questionario e successivamente ho presentato la mia indagine al presidente del CSCMP Iginio Colella, guidato dalla supervisione del mio relatore, Roberto Panizzolo e con il contributo e l'attenzione della professoressa Patrizia Garengo, ricevendo un immediato riscontro positivo ed un forte interesse, insieme all'aiuto di Enrico Camerinelli e del team di comunicazione del gruppo, il questionario è stato somministrato a tutti i membri attivi del CSCMP ottenendo così una sua completa divulgazione a professionisti del settore.

Questo è stato per me un primo ottimo risultato, grazie al quale ho potuto comprendere l'elevato grado di fiducia che ero riuscito a trasmettere nella presentazione della mia indagine e degli obiettivi da raggiungere.

Il questionario è rimasto attivo per 30 giorni ed è stato somministrato al campione con l'ausilio dello strumento Moduli Google²²⁴, garantendo l'anonimato e dati in forma aggregata nel totale rispetto della privacy.

²²⁴Moduli Google è un'applicazione per la creazione di sondaggi. (Consultabile al link <https://www.google.it/intl/it/forms/about>)

CAPITOLO 8 - Analisi empirica

In questo Capitolo andrò ad analizzare i risultati ottenuti a partire dall'analisi dei questionari, indagando in primo luogo ciascun tema considerato e successivamente esplicitando le conclusioni attraverso un'analisi incrociata dei risultati.

Ciascun risultato verrà mostrato graficamente, illustrando numericamente le valutazioni dei partecipanti per ciascun quesito proposto.

In totale i rispondenti al questionario sono stati 40 esperti del settore.

8.1 Profilo dei rispondenti

In questa fase preliminare ho ritenuto fondamentale indagare nello specifico il settore in cui è inserita l'azienda per cui lo stakeholder lavora, l'area di appartenenza, il livello di conoscenza e di esperienza del singolo relativa alla tecnologia blockchain.

Questa fase è stata necessaria per avere un quadro chiaro e per poter mappare i partecipanti all'indagine, garantendo una solida base di partenza all'indagine.

- Settore di appartenenza:

Dal grafico (Fig 8.1) si evince che la maggior parte dei partecipanti proviene dal settore industriale, esattamente il 27,5%.

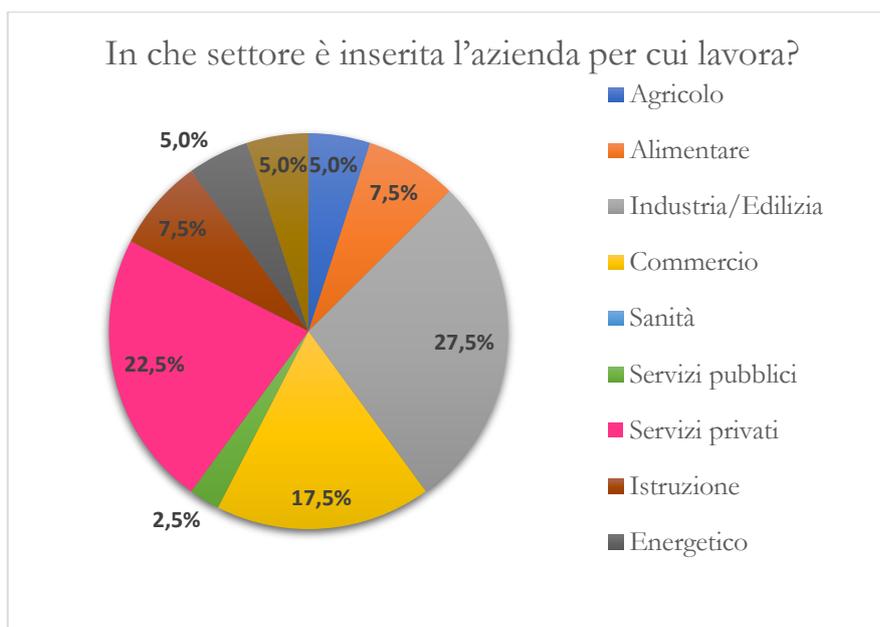


Fig 8.1: Grafico settore di appartenenza.

Inoltre, è auspicabile affermare che i partecipanti che lavorano in altre tipologie di aziende (commercio, servizi privati, campo alimentare), mostrano comunque un buon livello di interesse nei confronti della tecnologia blockchain.

- Area di appartenenza:

Dal grafico (Fig 8.2) si può osservare che la maggior parte dei rispondenti sono inseriti nell'area industriale, esattamente il 32,5% dei partecipanti, andando a confermare l'adequazione nella scelta del campione di riferimento, ovvero esperti della Supply Chain.

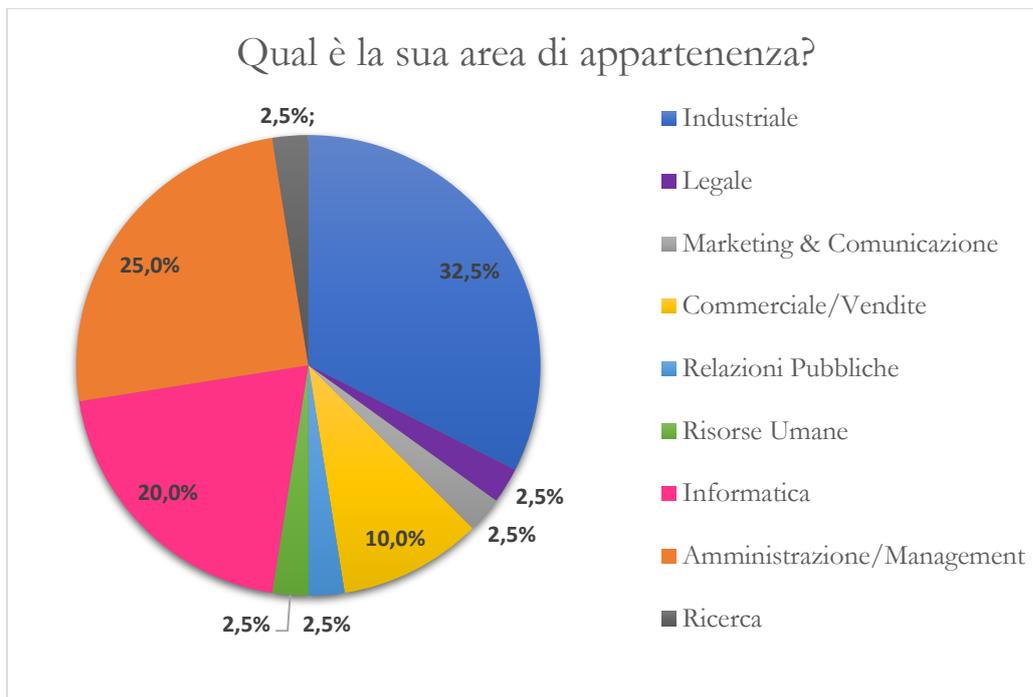


Fig 8.2: Grafico area di appartenenza.

Risulta importante avere il parere di esperti collocati in diverse aree di appartenenza, in particolare la presenza di esperti nell'area dell'amministrazione/management (25%) aiuta ad avere un quadro più ampio sulla tecnologia blockchain, non solo dal punto di vista tecnico/industriale ma in particolare dal lato organizzativo, in termini di pianificazione ed investimenti di lungo termine.

- Conoscenza blockchain applicata alla Supply Chain:

Un aspetto fondamentale da analizzare per poter comprendere la solidità delle risposte ottenute per ciascuna tematica trattata, è quello di portare alla luce il livello di conoscenza della tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain. (Fig 8.3)

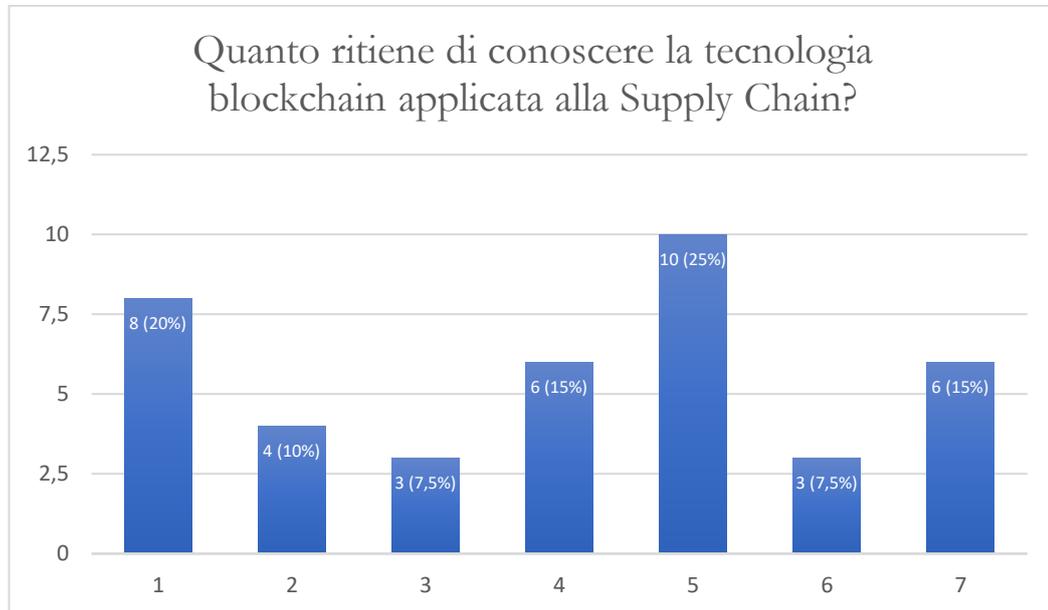


Fig 8.3: Grafico conoscenza tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain.

Con una media di 3,975 su scala Likert da 1 a 7, risulta un valore medio di conoscenza della tecnologia in questo ambito. Non risulta quindi essere un valore che potremmo identificare come negativo in quanto è possibile affermare che il campione di riferimento in questa indagine ha una conoscenza mediamente discreta della tecnologia.

In particolare, essendo una tecnologia emersa da pochi anni nel panorama del Supply Chain Management, è un risultato definibile come fiducioso e intraprendere indagini di questo tipo potrebbe aiutare ad ampliarne la conoscenza.

-Applicazione della blockchain alla Supply Chain:

È stato richiesto ai partecipanti al questionario di indicare con Sì, No o Non So se l'azienda per cui lavorano ha implementato la tecnologia blockchain alla Supply Chain. Come si può osservare dal grafico (Fig. 8.4) il 75% delle aziende per cui i partecipanti lavorano non ha implementato la tecnologia blockchain. Questo dato conferma il fatto che la blockchain non ha ancora avuto una divulgazione su larga scala.

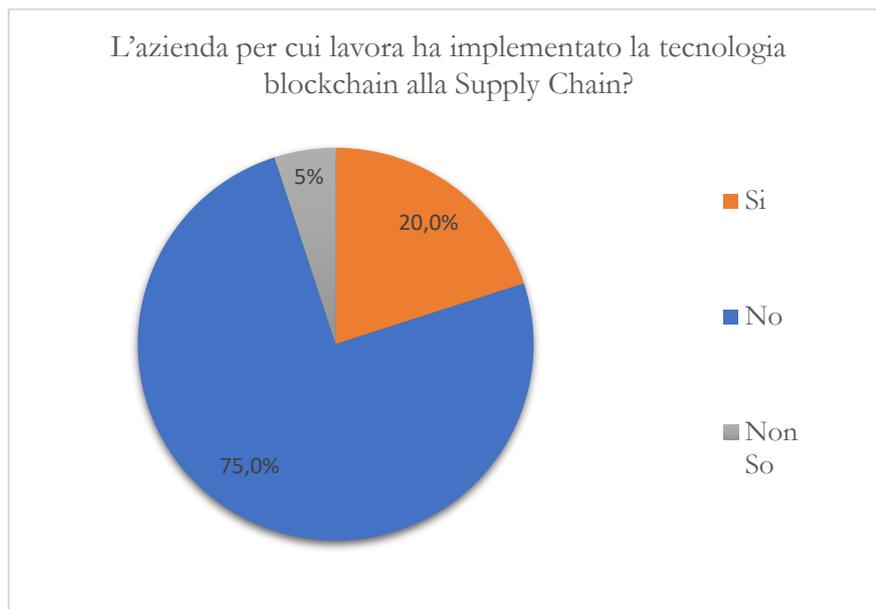


Fig 8.4: Grafico implementazione tecnologia blockchain alla Supply Chain.

Un dato che rappresenta un incremento della fiducia nei confronti della tecnologia è il 20% dei Si; in particolare ciò è interpretabile in questo senso: nonostante essa sia una tecnologia emergente ha comunque iniziato diffondersi, si tratta quindi di un dato da prendere in considerazione, in quanto risulta particolarmente promettente per il futuro sviluppo e la futura divulgazione della tecnologia.

- Anni di esperienza:

Come per la conoscenza, l'esperienza è un requisito fondamentale per garantire l'ottenimento di un giudizio concreto ed affidabile.

Dal grafico (Fig. 8.5) si evince che il 55% dei partecipanti non ha alcuna esperienza nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain.

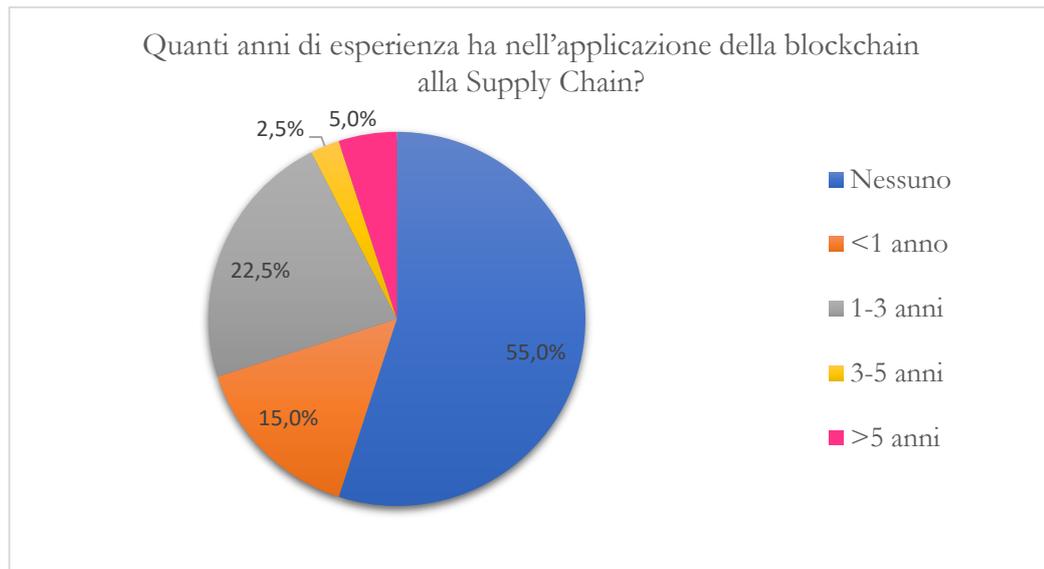


Fig 8.5: Grafico esperienza nell'applicazione della tecnologia blockchain alla Supply Chain.

Significa che il restante 45% ha avuto esperienza in questo campo; con quest'ultimo dato è possibile considerare che non solo i partecipanti all'indagine hanno alla base una buona preparazione nella materia in termini di conoscenza ed esperienza, ma che l'interesse verso la tecnologia risulta sempre più in crescita.

In particolare, il 22,5% dei partecipanti ha un'esperienza di 1-3 anni, il 15% nel corso dell'ultimo anno si è affacciato al mondo della blockchain e rispettivamente, il 2,5% ed il 5% possiede una forte esperienza nel campo.

Da questa prima analisi è possibile affermare che i partecipanti all'indagine rappresentano un solido campione di riferimento per il raggiungimento degli obiettivi di questa indagine, ciò in quanto risulta mediamente una discreta conoscenza della tecnologia ed una buona esperienza. L'eterogeneità dei rispondenti consente inoltre di entrare in possesso di molteplici punti di vista sulle tematiche affrontate.

8.2 Analisi degli ambiti applicativi

La prima tematica analizzata riguarda i principali settori di riferimento in cui il partecipante ritiene l'implementazione della tecnologia blockchain funzionale.

Comprendere dove l'implementazione della blockchain potrebbe apportare maggiori benefici è fondamentale per varie motivazioni; in primo luogo, ai fini di uno sviluppo

delle ricerche sul tema, in secondo luogo potrebbe essere un buon dato per comprendere come investire per il futuro di questa tecnologia.

Come descritto nel Capitolo 3 le potenzialità della blockchain sono molteplici in diversi ambiti applicativi, ma la domanda principale da porsi a questo proposito è: dove converrebbe effettivamente implementarla? Ed in particolare, quale settore otterrebbe maggior beneficio da questa implementazione?

Al campione è stata data la possibilità di selezionare massimo 3 opzioni tra quelle presentate e nel caso di specificare altri settori al di fuori di quelli elencati.

Dal grafico (Fig 8.6) si evince subito che l'Industria ed il Commercio rappresentano i principali ambiti applicativi. Al secondo posto, emerge il campo Alimentare. Non viene esclusa l'importanza di utilizzare la tecnologia nel Chimico/Farmaceutico.

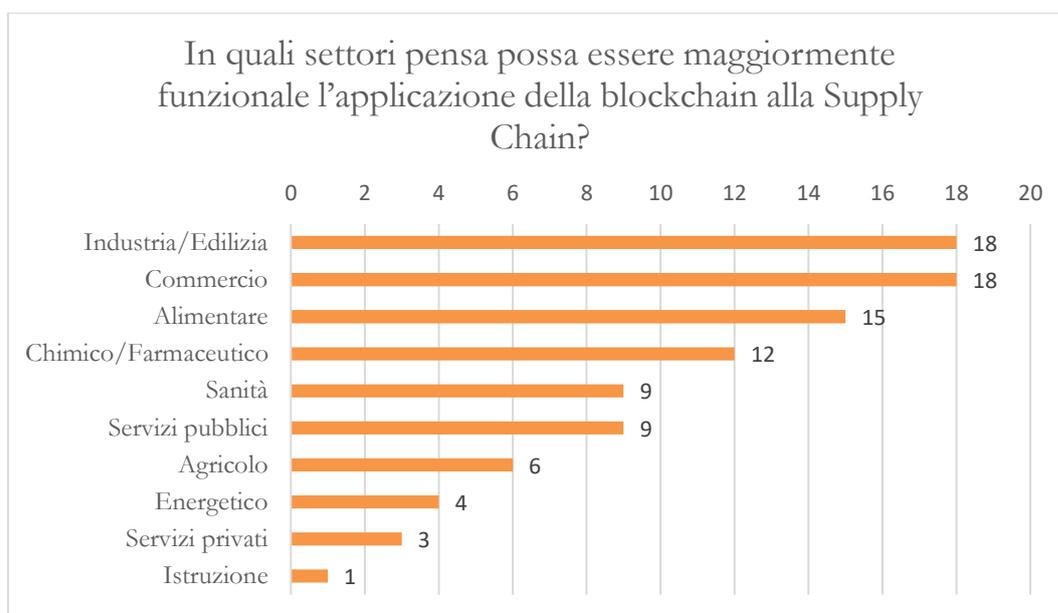


Fig 8.6: Grafico adozione della tecnologia blockchain alla Supply Chain nei vari ambiti applicativi.

Come è possibile notare dal grafico inoltre, il settore agricolo, energetico, dei servizi privati e quello dell'istruzione ottengono una valutazione decisamente inferiore. In questi campi l'adozione della blockchain potrebbe cambiare notevolmente l'approccio e le metodologie che vengono attualmente utilizzate per la gestione dei processi, ma evidentemente la sperimentazione risulta ancora limitata rispetto ad altre applicazioni in cui l'interesse e la ricerca sembra invece aver raggiunto livelli decisamente più elevati.

8.3 Complessità adozione blockchain nel SCM rispetto ad altre tipologie di applicazioni

In questa fase lo scopo era quello di analizzare la complessità dell'applicazione della blockchain alla Supply Chain rispetto ad altre tecnologie esistenti.

Dal grafico (Fig 8.7) emerge una realtà che potremmo definire come “naturale”, in quanto come già precedentemente affermato, l'interesse per la tecnologia negli ultimi anni è sicuramente aumentato, parallelamente ricerca e sperimentazione risultano essere ancora agli inizi.

Con una media di 5,275 la blockchain risulta la tecnologia più complessa da implementare rispetto alle altre proposte.

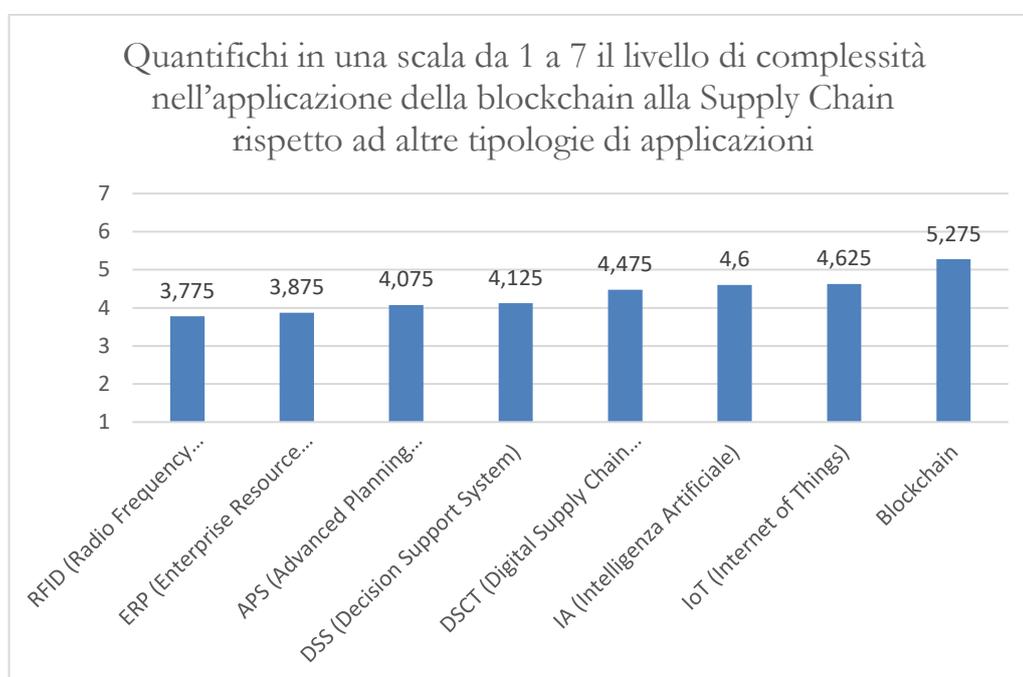


Fig 8.7: applicazione della blockchain alla Supply Chain rispetto ad altre tecnologie esistenti.

Internet of Things (4,625) e IA (4,6) sono tecnologie più mature rispetto alla blockchain ma comunque molto recenti, la loro applicazione nell'ambito industriale ha fatto già molto parlare di sé, in particolare con l'introduzione dell'Industry 4.0, risultano ancora tecnologie complesse da implementare, dove è necessario sviluppare nuove ricerche e metodologie per garantire una loro configurazione nel mondo industriale.

Il DSCT (4,475) è un modello di simulazione dettagliato di una catena di approvvigionamento che utilizza dati raccolti in tempo reale per prevedere le dinamiche della Supply chain, con l'utilizzo di questo strumento è possibile prevedere situazioni anomale

ed elaborare un piano d'azione, questo viene effettuato realizzando un “gemello” dell'effettiva Supply Chain esistente. (Bellini J., 2020)²²⁵ Nonostante sia una tecnologia consolidata, la sua adozione è complessa, la mole di dati che deve elaborare il programma di simulazione è elevata e richiede un notevole sforzo in termini computazionali e di hardware specifici; è necessario l'utilizzo di diverse pratiche di implementazione per tarare il sistema e farlo funzionare in maniera ottimale, ottenendo risultati precisi e garantendo una solida previsione in funzione dei vincoli e delle capacità produttive. (Cook E., 2020)²²⁶

DSS (4,125) è un sistema di supporto alle decisioni, un programma computerizzato utilizzato per valutare decisioni, comprendere giudizi e proporre azioni in un'organizzazione; questo sistema utilizza enormi quantità di dati utilizzate per risolvere problemi o affrontare un processo decisionale. (James M., 2020)²²⁷ Le informazioni tipiche utilizzate dal DSS sono previsioni di entrata ed uscita, dati sulle vendite, informazioni relativi ai lead time operativi e di spedizione, quantità di materiale in stock e varietà di prodotti nell'inventario; una volta elaborati questi dati vengono sintetizzati producendo un report informativo, utile per i manager aziendali al fine di intraprendere le migliori decisioni per la propria impresa. È un sistema relativamente semplice da installare, ma spesso risulta complesso per il sistema decisionale valutare tutte le informazioni presenti in un'impresa, causando un sovraccarico al sistema, è compito dell'utilizzatore valutare quali dati inserire nel sistema. Inoltre, il costo del processo decisionale diminuisce una volta installato il sistema, ma lo sviluppo e l'implementazione richiedono un elevato investimento economico, che aumenta con la personalizzazione in funzione dell'impresa che ne richiede l'installazione. (Juneja P., 2019)²²⁸

APS (4,075) è un software sviluppato per la pianificazione e la schedulazione della produzione, utilizza algoritmi e logiche matematiche per ottimizzare i piani di produzione, simulare produzioni a capacità finita e risolvere problemi di schedulazione come

²²⁵ Bellini J., 2020, Solving Supply Chain problems with Digital Twins, <https://supplychainbeyond.com/solving-supply-chain-problems-with-digital-twins>, (consultato il 03/02/2021).

²²⁶ Cook E., 2020, Digitalising the Supply Chain: The Digital Twin, <https://www.supplychaindigital.com/technology-4/digitalising-supply-chain-digital-twin>, (consultato il 03/02/2021).

²²⁷ James M., 2020, Decision Support System—DSS, <https://www.investopedia.com/terms/d/decision-support-system.asp>, (consultato il 04/02/2021).

²²⁸ Juneja P., 2019, Limitations & Disadvantages of Decision Support Systems, <https://www.managementstudyguide.com/limitations-and-disadvantages-of-decision-support-systems.htm>, (consultato il 04/02/2021).

colli di bottiglia, manutenzione e setup macchina. Usualmente questi programmi vengono integrati con i sistemi ERP e la complessità sta proprio nel sincronizzare i dati che vengono letti tra i vari algoritmi di pianificazione. (Logistica Efficiente, 2019)²²⁹

ERP (3,875) è un sistema informativo gestionale che integra i processi rilevanti dell'impresa, dal controllo della gestione della produzione agli acquisti, dal magazzino alla distribuzione. I sistemi ERP sono caratterizzati da un database comune, permettendo di gestire e condividere dati con una struttura modulare, a seconda del modulo installato il sistema è in grado di effettuare una determinata pianificazione e gestione dell'attività. (Logistica Efficiente, 2016)²³⁰ È uno dei sistemi di gestione maggiormente utilizzati nell'ambito manifatturiero, il valore ottenuto dall'indagine in termini di complessità, rappresenta il fatto che sia una tecnologia ampiamente consolidata e la sua applicazione in una Supply Chain è ritenuta quasi fondamentale per garantire un alto livello di servizio.

In ultimo si trova la tecnologia RFID (3,775) è una tecnologia di identificazione automatica, che consente di rilevare in maniera univoca un prodotto in un'impresa; identificare un prodotto ed autenticarlo consente di tracciare il suo ciclo di vita, seguendo le fasi di produzione, distribuzione e consumo. I valori attribuiti dai rispondenti confermano la modesta complessità nell'implementazione di questa tecnologia, in particolare è il suo utilizzo a ridurre la complessità nell'adozione in una Supply Chain, viene applicato sul prodotto un trasponder, detto anche Tag, è un chip che contiene un'antenna in grado di comunicare attraverso un segnale radio i dati ad un controller, questi dati verranno memorizzati ed utilizzati per ottenere informazioni riguardanti il prodotto a cui è stato affisso l'RFID. (RFID Global, 2020)²³¹

La blockchain è una tecnologia che necessita di sperimentazione e deve essere consolidata attraverso un numero sufficiente di installazioni in grado di appurare le potenzialità della tecnologia, con l'aumento di casi di studio è possibile migliorare l'aspetto della complessità nell'adozione in una Supply Chain. L'aspetto importante della tecno-

²²⁹ Logistica Efficiente, 2019, APS - Advanced Planning & Scheduling, <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/supply-chain/aps-advanced-planning-scheduling.html>, (consultato il 04/02/2021).

²³⁰ Logistica Efficiente, 2016, ERP (Enterprise Resource Planning), <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/supply-chain/erp.html>, (consultato il 04/02/2021).

²³¹ RFID Global, 2020, Tecnologia RFID: concetti base, <https://www.rfidglobal.it/tecnologia-rfid>, (consultato il 04/02/2021).

logia blockchain è la sua integrazione con altri sistemi esistenti, quindi non viene richiesto di sostituire gli attuali sistemi già adottati da un'impresa, ma è una piattaforma in grado di migliorare la performance delle tecnologie già consolidate in un'azienda.

Nel Capitolo 5 è stato ampiamente esplicitato come la blockchain potrebbe integrarsi perfettamente al sistema ERP e in questo modo è possibile collegare i vari sistemi di gestione tra i vari partner della filiera, con lo scopo di condividere informazioni migliorando la pianificazione ed inserendo dati in tempo reale; è importante comprendere che sistemi come RFID, IoT, ERP e blockchain possono coesistere.

La tecnologia blockchain è una piattaforma che consente di esaltare la potenzialità delle tecnologie citate, aumentando la performance complessiva dell'impresa.

8.4 Analisi delle barriere

L'analisi delle barriere è uno dei temi centrali di questa indagine, poter valutare nel dettaglio quali sono gli aspetti che vincolano l'adozione della blockchain nel Supply Chain Management è il primo passo per comprendere le strade da intraprendere, con lo scopo di consentire una divulgazione della tecnologia su larga scala, permettendo in questo modo alle imprese di conoscere e beneficiare delle sue potenzialità.

È stato chiesto ai partecipanti di valutare in scala Likert da 1 a 7 l'influenza di ciascuna barriera proposta e nel caso di indicare ulteriori barriere.

Nel grafico (Fig 8.8) vengono riportate le medie delle valutazioni dei vari partecipanti al questionario per ciascuna barriera.

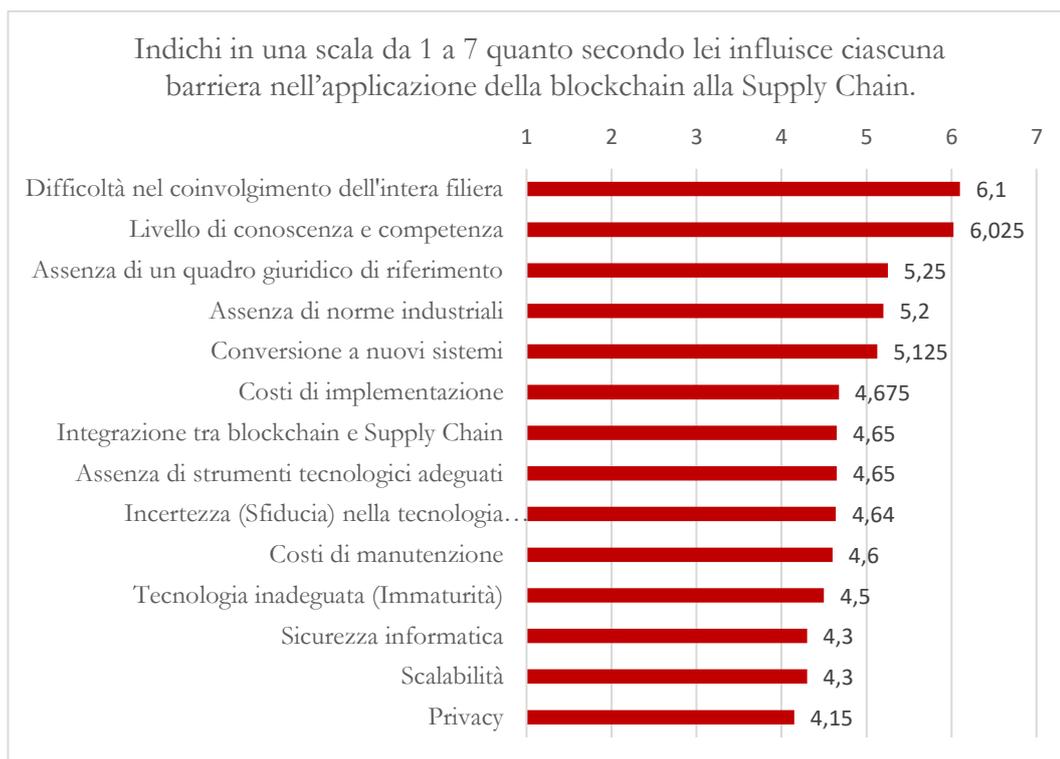


Fig 8.8: influenza barriere nell' applicazione della blockchain alla Supply Chain.

Al primo posto con una media di 6,1 la Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera rappresenta la barriera più rilevante, si tratta di un fattore da tenere in considerazione, ciò in quanto, la massima potenzialità della blockchain è garantita solo laddove tutti i partner della filiera entrano a pieno regime a far parte della piattaforma, sincronizzando i propri dati con quelli degli altri.

Il coinvolgimento dell'intera filiera non solo è legato alla blockchain, ma anche alla più tradizionale metodologia di gestione della Supply Chain, nella quale usualmente i singoli partner tendono a concentrarsi unicamente sul proprio business.

Il livello di conoscenza e competenza (6,025) si posiziona al secondo posto, ciò è comprensibile, in quanto senza una chiara visione ed una completa conoscenza sia in termini teorici che pratici si potrebbe ostacolare l'implementazione della blockchain.

Nel Capitolo 5 sono stati trattati nel dettaglio gli Smart Contract e il loro fondamentale utilizzo all'interno di una Supply Chain supportata dalla tecnologia blockchain, nel Capitolo 6 sono state trattate le problematiche legali legate all'utilizzo di contratti intelligenti e la complessità che risiede nel loro utilizzo, questo è uno dei motivi per cui al terzo posto l'Assenza di un quadro giuridico di riferimento (5,25) rappresenta una bar-

riera rilevante; è necessario stabilire un quadro giuridico di riferimento in grado di supportare le aziende nell'utilizzo degli Smart Contract tutelando nel momento in cui potrebbero insorgere controversie.

Legato all'aspetto giuridico, l'Assenza di norme industriali (5,2) è una barriera fondamentale da dover superare per poter garantire un corretto utilizzo della tecnologia all'interno di un'azienda; in questo senso la ricerca e la sperimentazione sono le pratiche principali da svolgere per stabilire norme industriali con l'obiettivo di garantire una corretta implementazione della tecnologia in una Supply Chain e permetterne la divulgazione su larga scala.

La difficoltà delle aziende alla Conversione di nuovi sistemi (5,125) è una problematica legata ad ogni tecnologia, ancora oggi vi sono imprese che gestiscono i propri dati in formato cartaceo utilizzando archivi fisici, questo non solo aumenta i tempi burocratici e la condivisione della documentazione con fornitori, enti, terzisti, ma eleva la possibilità di errore umano sia nella fase di inserimento dei dati che nella possibilità di smarrimento degli stessi.

Costi di implementazione (4,675) è un fattore che si considera ogni qual volta un'impresa è in procinto di pianificare ed attuare un investimento, essendo la blockchain una tecnologia recente nell'ambito manifatturiero i costi di implementazione sono maggiori, sono poche le società di consulenza in grado di installare completamente la tecnologia e garantire un supporto all'uso della stessa.

L'integrazione tra blockchain e Supply Chain (4,65) rappresenta la difficoltà nell'integrare la blockchain non solo alle varie attività del Supply Chain Management, ma far coesistere e funzionare in maniera ottimale le tecnologie già implementate nell'impresa; le potenzialità sono notevoli ma occorre analizzare casi di studio reali per comprendere le difficoltà pratiche che potrebbero insorgere durante la fase di installazione.

Assenza di strumenti tecnologici adeguati (4,65) è indice, come per la difficoltà delle aziende alla Conversione di nuovi sistemi, della presenza di un forte ostacolo per lo sviluppo di ogni impresa, molte aziende ancora non hanno adottato sistemi di pianificazione e controllo della produzione, questo causa un inevitabile aumento degli sprechi con conseguente diminuzione della performance complessiva; è evidente che l'assenza di apparecchi tecnologici ostacola l'adozione di tecnologie più avanzate, come la blockchain.

Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain (4,64) è una barriera che, nonostante si posizioni all'ottavo posto, risulta essere promettente in quanto, la percezione che gli esperti hanno nei confronti della tecnologia risulta sempre più positiva, questo poiché ci si sta distaccando dal concetto di blockchain e Bitcoin e dalle controversie legate alle cryptocurrency. L'incremento delle indagini e delle ricerche sul tema risulta essere a questo proposito, un elemento di miglioramento per questo fattore, in quanto si contribuisce inevitabilmente a sfatare falsi miti su questa tecnologia.

I costi di manutenzione (4,6) rappresentano un problema legato sempre al processo di mining, alla necessità di avere hardware specifici ed alla richiesta di un'elevata quantità di energia elettrica; ma come già discusso, l'utilizzo della tecnologia blockchain applicata al Supply Chain può essere garantita adottando una blockchain privata, che non solo riduce notevolmente l'utilizzo di energia, ma è possibile adottare algoritmi di consenso alternativi al PoW dove alla base il processo di validazione dei blocchi è realizzato attraverso il mining.

Tecnologia inadeguata (Immaturità) (4,5) è strettamente legata all'Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain, questo dato in parte è positivo, in quanto essendo queste barriere posizionate agli ultimi posti, evidenziano un incremento nella fiducia nella tecnologia; ma allo stesso tempo sono ancora criticità per cui è necessario individuare soluzioni specifiche.

Sicurezza Informatica (4,3) e Scalabilità (4,3) tra le ultime prese in considerazione dai partecipanti, sono caratteristiche che infatti rappresentano sicurezza per la tecnologia dal punto di vista informatico; di fatti la Privacy (4,15) si posiziona all'ultimo posto delle barriere, l'utilizzo della crittografia ed il processo di validazione dei blocchi con l'ausilio di algoritmi garantiscono un accrescimento della fiducia nella tecnologia.

Alcuni partecipanti all'indagine hanno proposto ulteriori barriere al di fuori di quelle elencate:

- Mancanza di conoscenza a livello manageriale.
- Diffidenza e mancata preparazione dell'imprenditore.
- Difficoltà di aggiornamento sulle nuove tecnologie del management dell'impresa.
- Competenze digitali di base non largamente diffuse.

Le prime tre barriere proposte potrebbero essere raggruppate in un solo fattore denominato “Incapacità di aggiornamento del management”; l'imprenditore, il manager, il CEO, è la persona che ha il compito di gestire l'organizzazione aziendale, gestire le operazioni fondamentali che portano l'intera impresa al successo, amministrando le risorse disponibili ed interfacciandosi ai partner della società ed ai clienti. Una delle mansioni principali di chi si trova al vertice dell'impresa è quella di saper valutare l'importanza di adottare strumenti tecnologici per migliorare la performance aziendale, pianificare l'investimento migliore che possa apportare benefici all'impresa.

Troppo spesso, la mancanza di un aggiornamento costante, porta le aziende a limitarsi negli investimenti in tecnologie più moderne o avanzate. Ritengo che questa barriera proposta dagli esperti di Supply Chain sia un fattore fondamentale da comprendere, analizzare e soprattutto da dover superare, in particolare se si intende rispettare le linee guida presentate dal paradigma Industria 4.0. Questo è un problema legato non solo all'aspetto dell'introduzione di nuove tecnologie nelle imprese, ma legato anche all'aggiornamento sulle sfide principali che le aziende devono affrontare nel mondo odierno quotidianamente, come l'aspetto della sostenibilità ambientale, la riduzione degli sprechi, emissione di anidride carbonica, etc. per garantire a sé stesse, come alle nuove generazioni un futuro prospero.

Legato al concetto della nuova rivoluzione industriale, l'utilizzo di internet e strumenti digitali ha fatto emergere una percezione diversa del mondo ed in particolare di quello aziendale, creando un modello di business totalmente diverso rispetto a quello di 50 anni fa, accelerando notevolmente lo sviluppo di strumenti e dispositivi digitali/informatici sempre più sofisticati; le “Competenze digitali di base non largamente diffuse” richiamano il fenomeno della Digitalizzazione, è un fattore fondamentale da considerare per l'introduzione di qualsiasi tecnologia moderna nell'ambito industriale, la conversione a nuovi sistemi digitali non solo permette di accedere a strumenti tecnologici in grado di migliorare la performance dell'impresa, ma consente di aprire le porte a nuovi mercati e rivalorizzare quelle imprese che ancora risultano radicate nel passato e che purtroppo non riescono ad essere competitivi nel business moderno.

A questo proposito risulta fondamentale chiedersi perché ci sia una difficoltà così grande nel passare da un modello tradizionale, ormai inadeguato e quasi disfunzionale, ad un modello più innovativo, tecnologico e sostenibile. Uno degli obiettivi di questa

indagine è anche quello di rispondere a questa grande questione, che rappresenta uno degli ostacoli maggiori da superare per l'implementazione di questa tecnologia.

8.5 Analisi delle soluzioni emerse

Uno dei principali obiettivi di questa indagine era non solo quello di valutare l'influenza delle barriere che ostacolano l'adozione della blockchain in una Supply Chain, ma quello di proporre soluzioni e/o percorsi di miglioramento.

I risultati emersi dall'indagine vengono mostrati in un grafico (Fig 8.9) con il valore medio delle valutazioni ottenute dai partecipanti all'indagine.

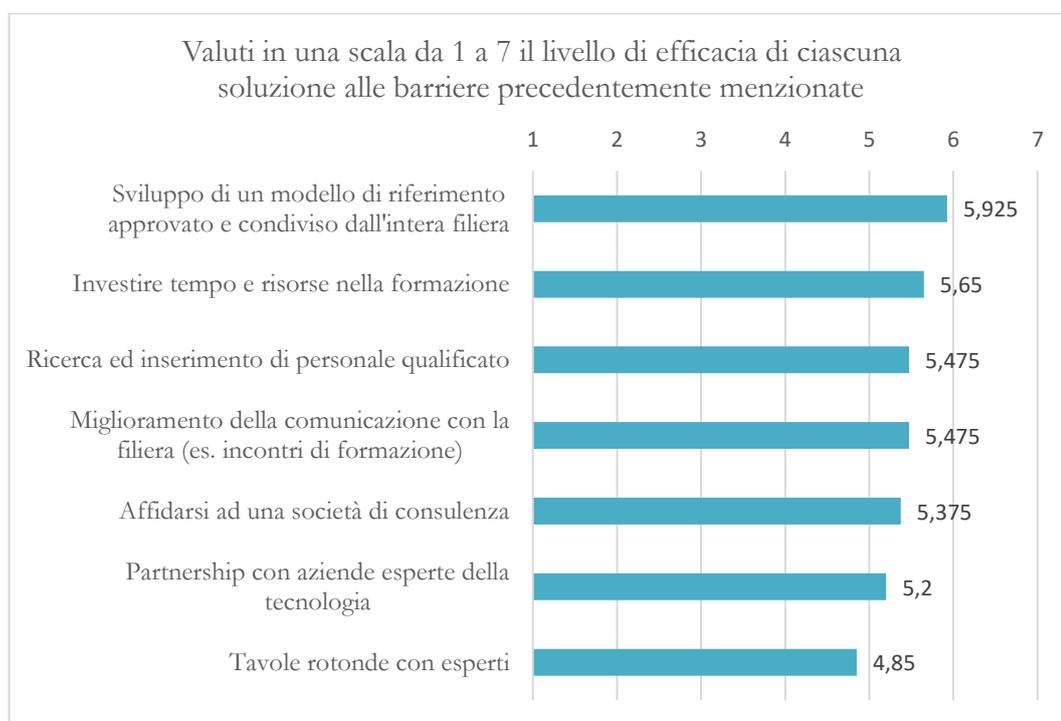


Fig 8.9: Soluzioni alle barriere.

Lo Sviluppo di un modello di riferimento approvato e condiviso dall'intera filiera (5,925) rappresenta una delle principali soluzioni al superamento delle barriere che ostacolano l'adozione della tecnologia blockchain nel Supply Chain Management. La comunicazione tra i partner dell'impresa è fondamentale non solo per l'applicazione della blockchain alla Supply Chain, ma è necessaria per consentire la sinergia delle operazioni tra i membri della filiera.

La costruzione e quindi lo sviluppo e l'implementazione di un vero e proprio modello, approvato e condiviso dall'intera filiera, nel quale vengono esplicitate Mission, Vision,

Values, Obiettivi, è necessario per garantire non solo un alto livello di servizio, ma di raggiungere elevati livelli di performance “globale”.

In una complessa Supply Chain a multilivello è uno strumento fondamentale per migliorare la comunicazione e la condivisione di informazioni, con lo scopo di ridurre gli sprechi in termini di ritardi ed errori, portando un beneficio complessivo all'intera filiera.

Investire tempo e risorse nella formazione (5,65) è sempre una soluzione fondamentale, aumentare la conoscenza non solo a livello manageriale ma anche del singolo operatore consente di aumentare l'OEE²³² dell'impresa.

Ciò consente agli operatori di migliorare e di adattare le proprie competenze ai cambiamenti repentini della società e delle tecnologie, migliorando le performance del singolo, migliorando il grado di coesione, migliorando la comprensione del business dell'impresa e consentendo infine agli impiegati di avere un quadro più ampio di ciò che l'intera azienda fa quotidianamente, entrando a pieno regime nei meccanismi che verso il raggiungimento dei propri obiettivi.

Strutturare corsi di formazione per i dipendenti è la dimostrazione che li si sta considerando come vere e proprie risorse di valore per l'impresa e di conseguenza ciò genera maggiore fidelizzazione, allineamento agli obiettivi dell'azienda, apprezzamento per l'impresa e maggior coinvolgimento. (Randstad, 2017)²³³

Per quanto concerne la Ricerca ed inserimento di personale qualificato (5,475) l'introduzione di figure professionali ed esperte di nuove tecnologie non solo apporta valore all'azienda, ma consente di migliorare la conoscenza e la competenza che l'impresa ha nei confronti delle nuove tecnologie, come la blockchain.

Miglioramento della comunicazione con la filiera (5,475) è legato allo Sviluppo di un modello di riferimento approvato e condiviso dall'intera filiera, ciò è utile per stabilire una collaborazione più attiva ed attenta con i partner aziendali e risulta fondamentale per stabilire gli obiettivi comuni e pianificare strategie funzionali.

Affidarsi ad una società di consulenza (5,375) potrebbe essere un'alternativa all'introduzione di figure qualificate all'interno dell'azienda, affidarsi ad esperti è sempre una

²³² OEE - Overall Equipment Effectiveness è un indicatore globale di efficienza delle risorse produttive, una misura dell'efficienza dell'impresa.

²³³ Randstad, 2017, Investire nella formazione dei dipendenti, <https://www.randstad.it/knowledge360/formazione-e-lavoro/ecco-perche-investire-nella-formazione-dei-dipendenti-e-un-fattore-chiave-per-la-crescita-aziendale>, (consultato il 05/02/2021).

soluzione quando non si ha una completa comprensione e conoscenza dell'attività che si vorrebbe introdurre nell'impresa.

Partnership con aziende esperte della tecnologia (5,2) è un'ulteriore alternativa, non solo consentirebbe di avere un sostegno durante la fase di implementazione ma rappresenterebbe il primo passo per una corretta adozione della blockchain, ovvero per far sì che ogni partner aziendale implementi la tecnologia, e collaborando con un'azienda che ha già consolidato l'utilizzo della blockchain presso il proprio stabilimento, consentirebbe a coloro che vorrebbero realizzare la partnership un percorso iniziale meno tortuoso, ottenendo benefici in tempi sicuramente più rapidi.

Per quanto riguarda le Tavole rotonde con esperti (4,85) nonostante questo ottenga un valore sopra la media, si posiziona come ultimo posto tra le possibili soluzioni.

A partire dalla mia esperienza personale posso però affermare che questa soluzione sia egualmente importante, per garantire un miglioramento nella comprensione di un fenomeno e di conseguenza per poter garantire l'emersione di idee o percorsi di miglioramento.

Sicuramente le Tavole rotonde appaiono ad oggi slegate dalla singola impresa, si tratta spesso di associazioni o società separate dal corpo dell'impresa in sé per sé, ma, nonostante ciò, grazie alla condivisione di dati e risultati, è possibile a partire da questi incontri garantire un coinvolgimento più attivo per le singole aziende.

In particolare, la mia partecipazione al CSCMP Edge Italy 2020 è stata a questo proposito di grande insegnamento, in quanto ho acquisito maggior coscienza sulle potenzialità ma anche su quelli che ad oggi risultano essere gli ostacoli nell'adozione della blockchain al Supply Chain Management.

È quindi estremamente importante conoscere il parere, le idee, le possibili soluzioni e ricerche di ogni singolo partecipante, per trovare soluzioni sempre più efficaci ed innovative.

8.6 Analisi dei benefici

Sebbene siano stati sufficientemente esplicitati i benefici della tecnologia blockchain in diversi ambiti ed in particolare nel Supply Chain Management, ho ritenuto opportuno conoscere il parere degli esperti.

Nel grafico (Fig 8.10) viene presentato il valore medio di ciascun beneficio valutato dai partecipanti al questionario.

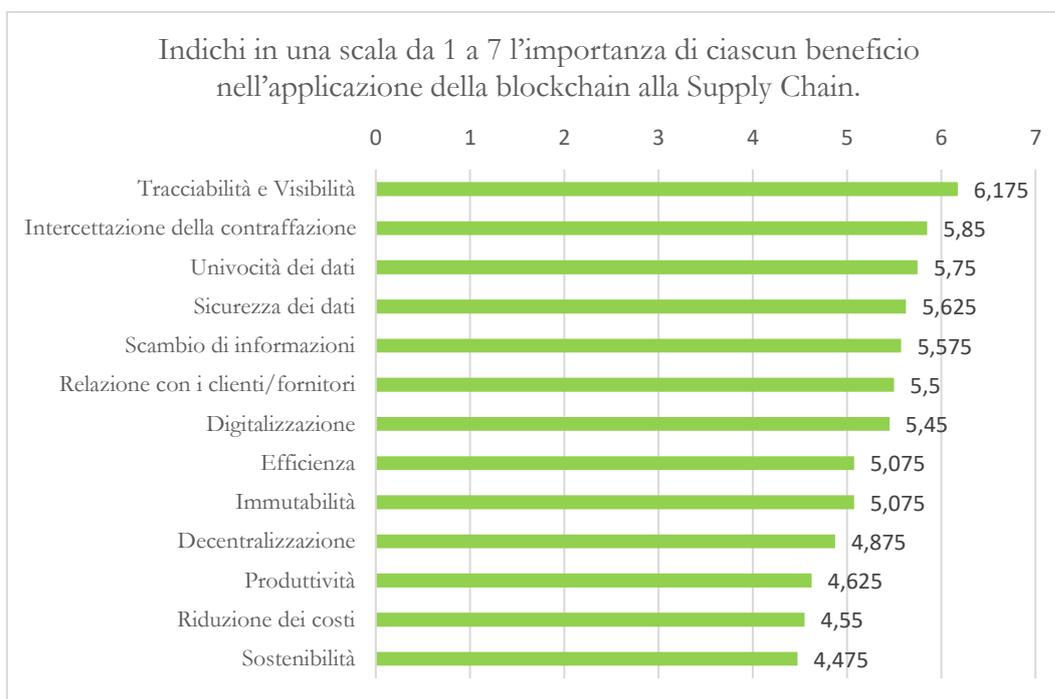


Fig 8.10: benefici nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain.

Tracciabilità e Visibilità (6,175) risultano essere i benefici più importanti che la blockchain applicata ad una Supply Chain può garantire. Infatti la possibilità di tracciare un prodotto, renderlo visibile a tutta la filiera in tutti i suoi passaggi di proprietà rappresenta il principale vantaggio di questa tecnologia innovativa.

Da materia prima a prodotto finito, dal produttore al consumatore, è possibile verificare su un registro immutato l'intero ciclo di vita del prodotto, riducendo gli sprechi, migliorando la sicurezza del prodotto e incrementando di conseguenza la reputazione aziendale.

Intercettazione della contraffazione (5,85), nel solo mondo Wine & Spirit, secondo Euipo, l'ufficio europeo sulla tutela dei marchi, il danno sulle vendite dirette provocato dalla contraffazione ammonta a 2,7 miliardi di euro all'anno. (Wine2wine, 2018)²³⁴ Questo fattore rappresenta una svolta non solo dal punto di vista economico in quanto limita in maniera esorbitante la minaccia della contraffazione sui prodotti, ma valorizza il brand dell'impresa.

²³⁴ Wine2wine, 2018, Blockchain nella filiera del vino, <https://www.wine2wine.net/blockchain-cosa-funziona>, (consultato il 07/02/2021).

Univocità dei dati (5,75) e Sicurezza dei dati (5,625) sono alcune delle principali caratteristiche della blockchain, rendere un dato univoco e sicuro permette di inserire nei registri dati precisi e corretti, riducendo l'errore e la possibilità di manomissione da parte di malintenzionati. In particolare, nelle Supply Chain il volume di dati elaborati è notevole, queste due caratteristiche rappresentano una sicurezza per l'intera filiera, in particolare dove è necessaria una completa sinergia e comunicazione nelle attività di ciascun partner aziendale.

Con Scambio di informazioni (5,575) risulta chiaro ed evidente che uno degli scopi principale della blockchain applicata alla Supply Chain è l'incentivazione dello scambio di dati tra i partecipanti alla filiera nella totale sicurezza e nel rispetto della privacy.

Per quanto concerne Relazione clienti/fornitori (5,5) questo fattore conferma nuovamente le intenzioni con le quali si vuole implementare la tecnologia blockchain nel Supply Chain Management, si vuole infatti migliorare la collaborazione tra tutti gli attori, dal fornitore al produttore, dalla logistica fino al consumatore.

Invece con la Digitalizzazione (5,45) nonostante l'utilizzo di sistemi di gestione nella pianificazione ed esecuzione come l'ERP, lo scambio di informazioni non è ancora totalmente digitalizzato, l'utilizzo della blockchain potrebbe eliminare definitivamente l'uso di archivi e documenti cartacei.

Con Efficienza (5,075) è evidente che migliorando la comunicazione, lo scambio di informazioni, la sinergia tra le varie attività di fornitura, produzione e distribuzione, può esserci un notevole incremento dell'efficienza in modo complessivo.

Immutabilità (5,075) e Decentralizzazione (4,875) sono i sinonimi di blockchain, un registro decentralizzato ed immutabile; l'aspetto della decentralizzazione preoccupa l'imprenditore poiché rappresenta un concetto completamente diverso rispetto ai tradizionali sistemi centralizzati, ma fornire un registro distribuito, dove ciascun nodo possiede una copia del ledger, garantisce la possibilità di poter continuare a lavorare sul network qualora uno dei nodi per un qualsiasi motivo non sia attivo in quell'istante. Non essendoci un server unico e centrale, questo consente a tutti i membri di poter controllare e verificare i dati, che una volta inseriti all'interno del registro risultano imm modificabili, è necessaria l'approvazione di ogni singolo membro per consentire un'eventuale modifica.

Con la Produttività (4,625) tale beneficio trasparirà nel dettaglio nella successiva analisi di questa indagine (applicazione della blockchain nelle attività del SCM).

Inoltre, per valutare concretamente questo fattore è necessario effettuare un'analisi su casi reali dove si verifica la produttività prima e dopo l'applicazione della blockchain. Con Riduzione dei costi (4,55) entriamo nell'ambito finanziario, questo fattore nelle Supply Chain potrebbe garantire una notevole riduzione dei tempi burocratici e di conseguenza in una consistente riduzione dei costi.

Per quanto concerne invece la Sostenibilità (4,475), questo fattore è stato identificato come benefico da pochi rispondenti e ciò non rappresenta un dato positivo, più volte è stato evidenziato come la blockchain necessiti di hardware specifici ed un elevato consumo energetico durante la fase di verifica ed approvazione dei blocchi; nel caso delle Supply Chain la soluzione migliore è l'utilizzo di blockchain private e l'adozione di algoritmi di consenso più sostenibili, questo potrebbe risolvere notevolmente il problema. La sostenibilità risulta un tema pregnante per le organizzazioni, tema che ha iniziato a diffondersi soprattutto negli ultimi anni a causa della necessità di modificare modelli ormai insostenibili.

È stata data la possibilità ai rispondenti di indicare se vi fossero ulteriori benefici al di fuori di quelli elencati, è emerso un beneficio che ho ritenuto importante da sottolineare "Integrazione con sistemi IoT e ERP", la possibilità di integrare questi sistemi consente l'elaborazione di dati in tempo reale e di conseguenza l'esecuzione immediata di attività pianificate. Questo non rappresenta solo un beneficio, ma l'opportunità di migliorare l'efficienza complessiva di tutte le tecnologie esistenti adottate nelle Supply Chain.

Inoltre, ho richiesto quanto ritenessero la blockchain applicata alla Supply Chain una tecnologia innovativa e funzionale, come mostrato dal grafico. (Fig 8.11)

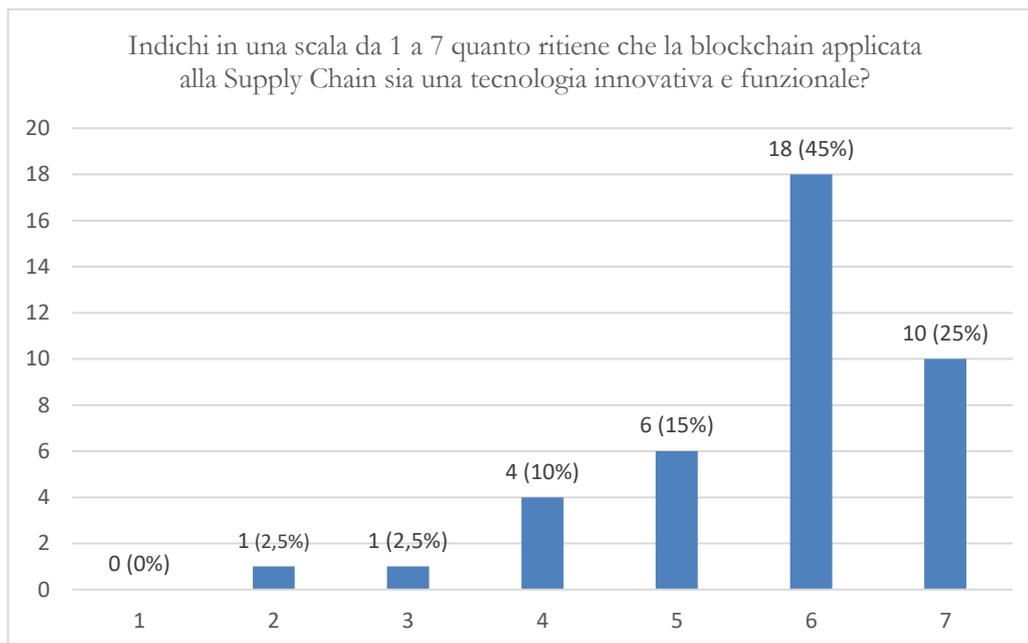


Fig 8.11: la blockchain una tecnologia innovativa e funzionale nella Supply Chain.

Con un valore medio di 5,725 i portatori d'interesse ritengono la blockchain applicata alla Supply Chain una tecnologia fortemente innovativa e funzionale. Questo è un dato decisamente promettente, l'interesse mostrato e la fiducia nella blockchain applicata alle filiere produttive incoraggia le future ricerche e la sperimentazione, per consentirne la divulgazione.

8.7 Analisi applicazione della blockchain nelle attività del SCM

In questa fase ho analizzato ed estrapolato le attività del Supply Chain Management, in particolare con lo scopo di individuare in quale attività l'implementazione della blockchain potrebbe apportare miglioramenti ed inoltre con lo scopo di incentivare lo sviluppo di nuove applicazioni.

Nel grafico (Fig 8.12) vengono mostrate le varie attività con il relativo valore medio delle valutazioni ottenute dal campione di riferimento.

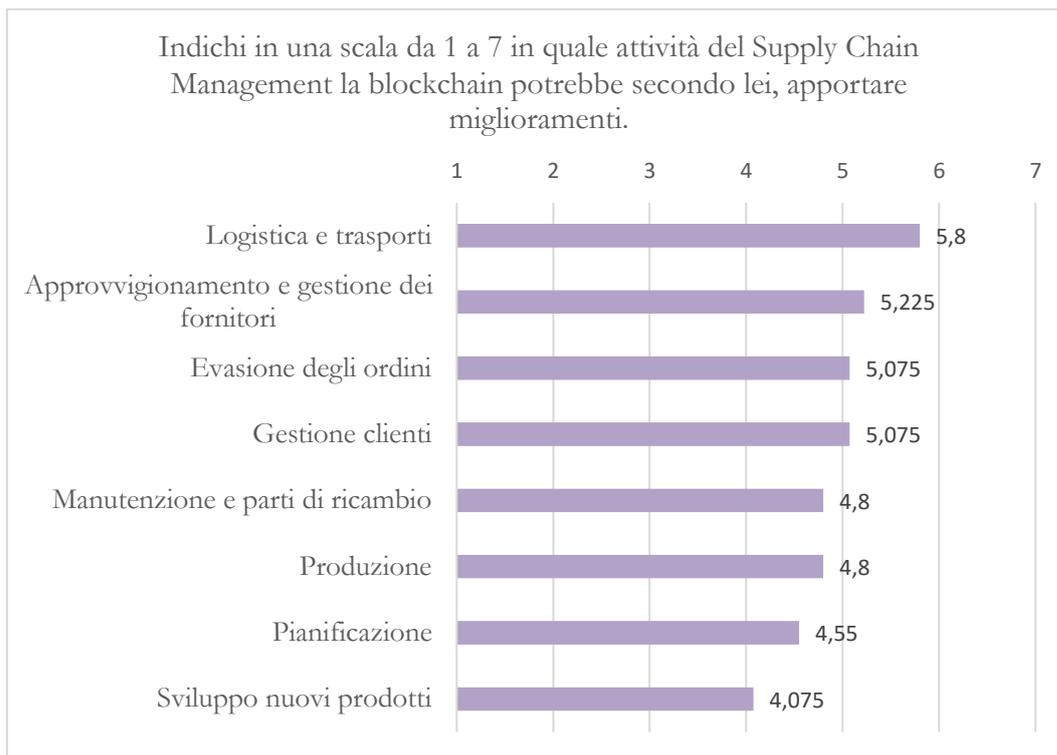


Fig 8.12: Valutazione dei possibili miglioramenti dovuti all'applicazione della blockchain in ciascuna attività del Supply Chain Management.

In Logistica e Trasporti (5,8) le caratteristiche di tracciabilità e visibilità, condivisione di informazioni immutabili e sicure garantiscono un impatto positivo nell'attività di Logistica e Trasporti. È stato già discusso in precedenza il fondamentale aspetto del poter tracciare un prodotto tra i vari attori della filiera sino al consumatore finale, dai risultati emerge che i benefici in questa attività sono notevoli e determinanti, a tal punto da ottenere il valore medio più elevato.

Per quanto concerne Approvvigionamento e gestione dei fornitori (5,225) e Evasione degli ordini (5,075), in queste attività l'uso degli Smart Contract è l'applicazione che più innovativa e funzionale, si posizionano infatti al secondo e terzo posto in questa analisi.

Nella gestione dei fornitori non solo l'utilizzo della blockchain migliora la comunicazione durante le fasi di approvvigionamento, ma consente di realizzare dei report dei fornitori, valutando concretamente ed in maniera trasparente l'efficienza dei fornitori della filiera.

La Gestione dei clienti (5,075) è un dato che ci riporta alla considerazione che negli ultimi anni la fidelizzazione del cliente risulta essere un obiettivo determinante che le

imprese devono impegnarsi a conquistare, conoscere le preferenze del cliente, la frequenza e la variabilità del consumo, aiuta le imprese ad essere più competitive e guadagnare fiducia da parte dei propri clienti. Costa di più acquisire nuovi clienti che fidelizzare il cliente (Bianchi R., 2020)²³⁵

Manutenzione e parti di ricambio (4,8) è una delle attività più complesse che vengono svolte all'interno del Supply Chain Management, valutare la quantità di materiali da tenere in stock, gestire le richieste di parti di ricambio e manutenzione durante tutte le fasi operative necessita dell'elaborazione di elevate quantità di dati, in particolare quando le aziende si rivolgono a terzisti per la realizzazione di componenti questo non solo aumenta il tempo con cui lo scambio di informazioni avviene, ma causa un rallentamento sia nella spedizione delle parti di ricambio che nella sua installazione, ne compromette l'intero sistema. La blockchain integrata con gli attuali sistemi di gestione potrebbe apportare notevoli miglioramenti in un'attività così delicata come quella della manutenzione e nella gestione delle parti di ricambio.

Con Produzione (4,8) e Pianificazione (4,55) si evince che da questa ricerca è emersa la possibilità di favorire l'integrazione tra sistemi IoT e ERP con l'adozione della blockchain, la possibilità di controllare in tempo reale ciascun macchinario presente nello stabilimento potrebbe migliorare notevolmente le attività di produzione e pianificazione dell'impresa.

Conoscere istantaneamente il livello di stock in magazzino, le quantità esatte di un determinato prodotto, i Lead Time produttivi di determinato lotto sono informazioni che consentono un incremento del livello di servizio e di performance dell'intera impresa.

Lo Sviluppo di nuovi prodotti (4,075) secondo gli esperti è l'attività che gioverebbe meno nell'applicazione della blockchain, in letteratura sono presenti poche applicazioni in questa attività, non si sente la forte necessità di cambiarne l'attuale funzionamento.

Complessivamente ogni singola attività ha ottenuto un valore al di sopra della media, questo rappresenta un dato fortemente positivo, in quanto l'applicazione della blockchain prevede la sua adozione lungo tutta la Supply Chain coinvolgendo tutti gli attori che ne fanno parte, anzi, questo aspetto si estende a tutti i partner della filiera,

²³⁵ Bianchi R., 2020, Acquisire o fidelizzare il cliente: cosa costa di più?, <https://www.bludata.com/acquisire-o-fidelizzare-il-cliente-cosa-costa-di-piu>, (consultato il 07/02/2021).

pertanto il poter verificare che la blockchain potrebbe mediamente apportare benefici a tutte le attività rappresenta un risultato estremamente incoraggiante che continua ad indicare un incremento della fiducia nei confronti di questa tecnologia innovativa.

8.8 Analisi incrociata dei risultati emersi

Ho ritenuto opportuno correlare le soluzioni emerse dall'indagine alle barriere che ostacolano l'adozione della blockchain nelle Supply Chain con lo scopo di fornire percorsi di miglioramento.

Nella tabella 8.1 vengono collegate le principali soluzioni a molteplici barriere.

Tabella 8.1: correlazione soluzioni-barriere.

Soluzioni	Barriere
Sviluppo di un modello di riferimento approvato e condiviso dall'intera filiera	Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera
	Conversione a nuovi sistemi
	Integrazione tra blockchain e Supply Chain
	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain
Investire tempo e risorse nella formazione	Livello di conoscenza e competenza
	Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera
	Assenza di strumenti tecnologici adeguati
	Conversione a nuovi sistemi
	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain
Ricerca ed inserimento di personale qualificato	Tecnologia inadeguata (Immaturità)
	Livello di conoscenza e competenza
	Conversione a nuovi sistemi
	Integrazione tra blockchain e Supply Chain
Miglioramento della comunicazione con la filiera (es. incontri di formazione)	Assenza di strumenti tecnologici adeguati
	Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera
	Livello di conoscenza e competenza
Affidarsi ad una società di consulenza	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain
	Livello di conoscenza e competenza
	Integrazione tra blockchain e Supply Chain
	Costi di implementazione e manutenzione
Partnership con aziende esperte nella tecnologia	Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera
	Livello di conoscenza e competenza
	Integrazione tra blockchain e Supply Chain
	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain
	Conversione a nuovi sistemi
Tavole rotonde con esperti	Costi di implementazione
	Assenza di un quadro giuridico di riferimento
	Assenza di norme industriali
	Livello di conoscenza e competenza
	Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain

✓ **Sviluppo di un modello di riferimento approvato e condiviso dall'intera filiera**

Questa soluzione presentata ha ricevuto pareri decisamente positivi da parte dei rispondenti, come è stato affermato in precedenza la strutturazione di un modello di riferimento potrebbe garantire benefici alla filiera nella sua totalità.

Per questa motivazione tale concetto è stato da me considerato una possibile soluzione alle seguenti barriere:

- *Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera*: Un modello di riferimento ben strutturato, con una Mission, una Vision, dei valori e degli obiettivi strutturati, comunicati e soprattutto condivisi dalla filiera, garantirebbe un maggior coinvolgimento tra tutti i dipendenti dell'organizzazione, consentendo un lavoro coordinato per il raggiungimento degli obiettivi dell'impresa.

- *Conversione a nuovi sistemi*: Il coinvolgimento e la collaborazione generati a partire dall'implementazione di tale modello, potrebbero far nascere momenti di brainstorming e condivisione di idee e potenzialità tra tutti i dipendenti, consentendo una conversione a sistemi sempre nuovi, innovativi e tecnologici, garantendo dunque un'implementazione più rapida ed efficace della tecnologia blockchain.

- *Integrazione tra blockchain e Supply Chain*: Un modello solido e soprattutto in grado di garantire una comprensione del "modo di pensare" dell'impresa nella sua totalità, potrebbe anche garantire una migliore e dunque più "naturale" integrazione tra la blockchain e le Supply Chain.

- *Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain*: Se il modello è in grado di incrementare il livello di fiducia tra tutti i dipendenti dell'impresa, ciò potrebbe incrementare di conseguenza anche il livello di fiducia nell'implementazione di nuove e più moderne tecnologie, come la blockchain.

✓ **Investire tempo e risorse nella formazione**

Anche l'investimento di tempo e risorse in percorsi di formazione ha ottenuto riscontro positivo da parte dei partecipanti, ed ho considerato tale tematica emersa come possibile soluzione per il seguente gruppo di barriere:

- *Livello di conoscenza e competenza:* Lo scarso livello di conoscenza e competenza sulla tematica frena quindi le imprese nell'implementazione di tecnologie innovative (tra cui la blockchain), per questo l'investimento di tempo e di risorse in incontri o momenti di formazione ben strutturati potrebbe garantire un incremento della conoscenza generale dell'impresa su queste tematiche (si potrebbe partire magari da momenti di formazione sulla "Digitalizzazione" sino ad affrontare tematiche e tecnologie più complesse, sulla base del livello di competenza e conoscenza complessivo dell'organizzazione).

- *Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera:* Il coinvolgimento della filiera è un tema delicato, che se superabile grazie alla costruzione di un modello condiviso, deve essere affiancato a momenti di formazione che possano complessivamente coinvolgere l'organizzazione, coinvolgendo, appunto, la filiera. Il tema è delicato in quanto il livello culturale e di conoscenze dell'azienda potrebbe essere differente rispetto a quello di alcune componenti della filiera, proprio per questo un allineamento delle conoscenze appare fondamentale per il mantenimento della coerenza dell'impresa, per un raggiungimento rapido e preciso degli obiettivi e per evitare possibili crolli reputazionali derivanti da incongruenze tra imprese e filiera.

- *Assenza di strumenti tecnologici adeguati:* La formazione su tematiche specifiche garantirebbe una conoscenza più approfondita su strumenti tecnologici moderni e adeguati al raggiungimento delle finalità dell'impresa e ad un conseguente incremento di potenzialità e della competitività della stessa.

- *Conversione a nuovi sistemi:* Inevitabilmente collegato al punto precedente, la formazione e l'incremento di conoscenze sulle nuove tecnologie consentirebbero una conversione repentina a nuovi e moderni sistemi.

- *Integrazione tra Blockchain e Supply Chain:* Anche in questo caso, oltre alla strutturazione del modello, una formazione improntata sulla conoscenza approfondita di questa tecnologia consentirebbe una sua integrazione più "fluida" ai sistemi della Supply Chain.

- *Tecnologia inadeguata (Immaturità)*: L'inadeguatezza dipende inevitabilmente dalla mancanza di aggiornamento e competenze. La formazione è la leva per garantire l'implementazione di strumenti adatti all'organizzazione e per incrementare il suo livello complessivo di maturità.

✓ **Ricerca ed inserimento di personale qualificato**

La ricerca e l'inserimento di personale qualificato, magari esperto in nuove tecnologie, in digitalizzazione e nella tecnologia blockchain, garantirebbe come già precedentemente affermato, un iniziale approccio positivo e propositivo da parte dell'impresa. Ho collegato tale soluzione alle seguenti barriere:

- *Livello di conoscenza e competenza*: Introdurre personalità competenti ed esperti del settore della blockchain e delle nuove tecnologie nell'organizzazione rappresenterebbe sicuramente un passo in avanti fondamentale, volto anche a garantire un incremento del livello complessivo di conoscenza e competenza sulle tematiche da parte dei dipendenti, questo, collegato alla formazione rafforzerebbe sicuramente il percorso di crescita dell'impresa nella sua totalità.

- *Conversione a nuovi sistemi*: un modello specifico, formazione forte ed esperti del settore sono le chiavi di volta per garantire una complessiva conversione a nuovi e moderni sistemi da parte dell'impresa.

- *Integrazione tra Blockchain e Supply Chain*: Affiancare o meglio, strutturare magari il modello di riferimento dell'impresa a partire da un precedente confronto con esperti del settore (magari da integrare poi all'organico dell'impresa come figure professionali specifiche) ne garantirebbe la solidità e ne consentirebbe una più efficace comprensione e condivisione, nonché un'integrazione più favorevole della tecnologia.

- *Assenza di strumenti tecnologici adeguati*: Che potrebbero in questo caso essere presentati da consulenti esperti (anche questi da integrare magari all'organico dell'impresa in modo tale da poterne seguire l'evoluzione) dopo un'approfondita analisi dell'andamento totale dell'organizzazione.

✓ **Miglioramento della comunicazione con la filiera**

Migliorare la comunicazione equivale a migliorare la “relazione”, significa raggiungere obiettivi comuni, in minor tempo, con maggiori strumenti e capacità, divenendo una realtà forte e competitiva sul mercato.

- *Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera*: Migliorare la componente della “comunicazione” significa saper coinvolgere in modo capillare ogni singolo “pezzo del puzzle” che compone l'organizzazione. Il potenziamento della comunicazione interna e della comunicazione istituzionale sono delle leve fondamentali per il raggiungimento di obiettivi comuni e soprattutto compresi e condivisi da tutti.

- *Livello di conoscenza e competenza*: Se la comunicazione interna migliora, si incrementa anche il livello di conoscenze e competenze, in quanto avviene una condivisione delle informazioni in maniera sincronizzata.

- *Incertezza (sfiducia) nella tecnologia blockchain*: Il livello di fiducia si incrementa quando tutti sono a conoscenza dei processi che guidano l'organizzazione e non solo, quando i dipendenti che compongono l'impresa sono allineati a livello valoriale con tali processi. Il modello è uno strumento cartaceo e costruito in modo collettivo, ma non deve essere solo questo, la comunicazione non deve inevitabilmente rimanere su un foglio di carta che sarà poi appeso nei “corridoi” dell'impresa, deve rappresentare un “mantra” per l'organizzazione. Per questo la comunicazione verbale deve essere coltivata con cura (organizzando magari plenarie, riunioni e coinvolgendo i dipendenti in progetti innovativi...).

✓ **Affidarsi ad una società di consulenza**

Se non si desidera (o magari non si hanno le risorse, gli spazi, la necessità...) integrare nuove risorse, soluzione potrebbe essere rappresentata dall'affidamento dell'organizzazione a società di consulenza esterne, che possano fornirle spunti e pareri oggettivi volti ad un accrescimento delle sue potenzialità.

- *Livello di conoscenza e competenza*: Per incrementare ad esempio, il livello di conoscenze e competenze sulle nuove tecnologie.

- *Integrazione tra Blockchain e Supply Chain*: Per comprendere al meglio le potenzialità della Blockchain applicata alle Supply Chain.

- *Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain*: Per incrementare, grazie alla presentazione di dati e statistiche da parte di queste società, il livello di fiducia nella tecnologia e coglierne le potenzialità.

- *Costi di implementazione e manutenzione*: Per poter comprendere fiscalmente e finanziariamente l'andamento e le possibilità di investimento dell'impresa e per poter comprendere come ridurre o come gestire ad esempio i costi di implementazione e manutenzione per la tecnologia blockchain.

✓ **Partnership con aziende esperte nella tecnologia**

Tema estremamente delicato quello delle partnership con aziende già esperte nella tecnologia blockchain, non è infatti facile per le imprese esporsi e confrontarsi tra loro per scambiarsi elementi e competenze.

È necessario a questo proposito creare e gestire delle vere e proprie collaborazioni, in cui “dare e avere” rappresentano il mantra da seguire.

Scambiarsi opinioni e consigli sull'implementazione di tale tecnologia ma anche creare relazioni di fiducia (ad esempio creare collaborazioni con la fornitura, con la gestione, in progetti specifici che possano giovare ad entrambe le organizzazioni).

Ho collegato tale soluzione alle seguenti barriere:

- *Difficoltà nel coinvolgimento dell'intera filiera*: Grazie allo scambio di conoscenze e competenze sulla tecnologia, si potrebbe comprendere e migliorare il coinvolgimento della filiera, proprio prendendo spunto da organizzazioni più solide e coese.

- *Livello di conoscenza e competenza*: Organizzare incontri, plenarie, webinar con organizzazioni che hanno implementato la tecnologia ed in grado quindi di fornire spunti di miglioramento e potenziamento.

- *Integrazione tra Blockchain e Supply Chain*: La blockchain applicata alla Supply Chain funziona ad esempio nel settore specifico dell'organizzazione? Un confronto attivo con organizzazioni simili potrebbe far emergere gli elementi di positività derivanti dall'implementazione di tale tecnologia.

- *Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain*: Osservare il livello di crescita o i risultati raggiunti da altre organizzazioni che hanno implementato tale tecnologia potrebbe sicuramente incrementare il livello complessivo di fiducia dell'impresa.

- *Conversione a nuovi sistemi*: Osservare imprese che stanno cominciando o hanno già implementato sistemi innovativi potrebbe incentivare l'organizzazione alla sperimentazione degli stessi.

✓ **Tavole rotonde con esperti**

Per quanto concerne questa tematica, ho già esplicitato che è stata considerata solo da pochi rispondenti come una soluzione effettivamente adeguata al superamento delle barriere.

Avendo preso parte ad uno di questi incontri ho potuto notare che in realtà hanno un'utilità specifica volta al superamento di alcune barriere a mio parere decisamente importanti, quali:

- *Assenza di un quadro giuridico di riferimento*: Organizzando Tavole Rotonde con esperti, appartenenti a settori ed aree anche differenti, è possibile osservare non solo un confronto attivo su quelli che potrebbero essere i miglioramenti da apportare alla tecnologia per ogni settore, bensì anche per organizzare incontri specifici con lo scopo di individuare delle norme giuridiche di riferimento specifiche e soprattutto efficaci per un'implementazione adeguata e sicura di questa tecnologia, per poter così incrementare anche il livello di fiducia delle organizzazioni.

- *Assenza di norme industriali*: Collegato al discorso precedente, anche la mancanza di norme industriali è una forte barriera che frena le imprese all'implementazione della blockchain, con incontri specifici e mirati tra esperti possono essere individuate soluzioni a questa problematica sempre più efficaci.

- *Livello di conoscenza e competenza*: La nascita di gruppi di esperti o semplicemente di "curiosi" sulla tematica, provenienti da aree o settori differenti, garantisce una diffusione sempre più capillare della blockchain, consentendo un "passaparola" strategico tra le organizzazioni e, di conseguenza, un incremento del livello di conoscenza e competenze.

- *Incertezza (Sfiducia) nella tecnologia blockchain*: Discussioni, gruppi di dibattito e di lavoro sul tema, potrebbero contribuire a sfatare "falsi miti" sulla blockchain (come il collegamento esclusivo della tecnologia alla valuta virtuale "Bitcoin"), incrementando il livello generale di fiducia.

CONCLUSIONI

Sono giunto al termine di questo ampio percorso svolto nell'ambito della tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain, con delle risposte fondamentali.

Queste mi hanno consentito di entrare in possesso di una visione decisamente più ampia di tale tecnologia e della sua adozione nelle filiere produttive.

Per comprendere effettivamente e nel dettaglio dove sono arrivato, è fondamentale ripartire da alcune questioni poste all'inizio di questo elaborato di ricerca, alle quali ho potuto fornire delle risposte esaustive grazie all'indagine svolta.

“Quali sono i settori dove può risultare maggiormente funzionale l'applicazione della blockchain nel Supply Chain Management?”

“Quanto complessa è l'applicazione della blockchain nel Supply Chain rispetto ad altre tipologie di applicazioni già consolidate?”

“Quali sono le principali barriere che ostacolano l'adozione della blockchain nel Supply Chain Management?”

“Quali potrebbero essere le soluzioni per il superamento delle barriere?”

“Quali sono i principali benefici nell'applicazione della blockchain alla Supply Chain?”

“Complessivamente quanto si ritiene la blockchain applicata alla Supply Chain una tecnologia innovativa e funzionale?”

“In quale attività del Supply Chain Management la blockchain potrebbe apportare miglioramenti?”

Grazie ad uno studio accurato e strutturato della teoria, associato ad un'analisi personale svolta sull'argomento, adottando una metodologia quantitativa e lo strumento del questionario, è stato per me possibile ottenere delle risposte esaustive e innovative.

La blockchain è una tecnologia ad oggi emergente, che sicuramente ha mostrato le sue potenzialità in un primo momento nel campo della finanza, spostandosi successivamente nel campo delle Supply Chain.

Grazie al coinvolgimento di esperti del settore sono riuscito a far emergere e comprendere al meglio quelli che rappresentano ad oggi i benefici, le potenzialità ma anche i limiti e le barriere di questa tecnologia.

Tutto ciò mi ha permesso di realizzare percorsi di miglioramento, grazie all'emersione delle principali soluzioni per garantire un'adozione più “fiduciosa” e su larga scala di tale tecnologia.

Questo grande interesse emerso nella tecnologia blockchain applicata alla Supply Chain incoraggia sicuramente lo sviluppo di nuove ricerche e sperimentazioni sulla tematica. Elementi rilevanti emersi, come l'industria e il commercio che rappresentano i principali ambiti applicativi, in cui le caratteristiche della blockchain potrebbero apportare maggiori benefici, evidenzia la complessità ancora molto forte nell'applicazione della blockchain nelle Supply Chain rispetto ad altre tecnologie già esistenti ed affermare.

Questo però non deve scoraggiare, anzi, deve rappresentare un vero e proprio incentivo al miglioramento e ad una maggiore conoscenza sulla tematica.

Infatti numerosi risultati ottenuti fanno ben sperare per il futuro di questa tecnologia, in quanto essa è considerata dai portatori di interesse come una tecnologia decisamente innovativa e funzionale.

Essendo la blockchain applicata al Supply Chain Management il tema centrale di questa indagine, ho inoltre voluto analizzare nel dettaglio le attività che gioverebbero di più dalla sua adozione, è emerso che tutte le attività del Supply Chain Management beneficerebbero dell'adozione della tecnologia blockchain.

Obiettivo centrale che ho raggiunto grazie alla mia indagine empirica è stato quello, non solo di individuare delle soluzioni forti e specifiche, ma di correlare tali soluzioni ad una molteplicità di barriere, con lo scopo di comprendere come tali soluzioni potessero rappresentare la chiave di volta per il superamento delle stesse.

Grazie a tutto ciò ho potuto presentare e proporre dei percorsi di miglioramento efficaci per le organizzazioni (come l'implementazione di modelli specifici, la strutturazione di corsi di formazione, il miglioramento della comunicazione della filiera etc.).

È possibile infine affermare che una delle principali applicazioni di questa tecnologia appare essere proprio quella di una sua introduzione in una Supply Chain.

Effettuando ciò, nell'organizzazione avverrebbe un immediato accrescimento di alcune componenti fondamentali:

- Comunicazione.
- Condivisione dei dati.
- Sinergia in ogni attività del Supply Chain Management.

Infatti la possibilità di sfruttare le caratteristiche della blockchain, prendendo in considerazione le esigenze di una filiera produttiva, potrebbe rappresentare un vero e proprio primo passo fondamentale per garantire una completa, sicura e funzionale adozione della blockchain nelle Supply Chain, senza andare a stravolgere completamente il sistema di gestione delle imprese, ma andando a trasformare il loro “modo di pensare”, generando e portando in primo piano elementi fondamentali come:

- Valore.
- Trasparenza.
- Sicurezza.
- Innovazione.
- Condivisione.
- Fiducia tra tutti gli attori.

Non si tratta solo di far comprendere l'importanza di implementare gli aspetti più tecnici della blockchain per poter cambiare la Supply Chain, è necessario un percorso ben strutturato in cui si parta da un cambiamento del modo e della mentalità della gestione dell'intera filiera.

Solo in questo modo la blockchain sarà davvero una tecnologia utile, funzionale, di cui le imprese potranno davvero beneficiare.

Tutto ciò introducendo quindi un nuovo concetto di fiducia tra tutti gli attori facenti parte del Supply Chain Management.

Mi ritengo complessivamente soddisfatto della mia indagine, in quanto spero di aver contribuito a portare alla luce i benefici dell'applicazione della tecnologia blockchain alla Supply Chain, fornendo anche soluzioni forti ed efficaci per l'implementazione di questa tecnologia, sensibilizzando ed incrementando la conoscenza sul tema, spronando la nascita di nuove ricerche e sperimentazioni.

Sicuramente questa ricerca potrebbe essere amplificata, ad esempio prendendo in considerazione un campione di esperti più vasto, sul territorio italiano e magari anche su quello internazionale, andando ad effettuare analisi su casi di studio reali, valutando indici di performance delle imprese prima e dopo l'adozione della blockchain nei loro modelli di business.

In questo modo sarebbe possibile quantificare in modo più specifico i benefici della blockchain in un'organizzazione specifica, portare alla luce problematiche pratiche emerse durante le fasi di installazione, controllo, mantenimento della tecnologia.

A partire da queste future ricerche sarà quindi possibile individuare soluzioni sempre più accurate, dettagliate, specifiche, consentendo in questo modo la diffusione, in una molteplicità di settori, della tecnologia blockchain nelle varie Supply Chain.

BIBLIOGRAFIA

- Al-Jaroodi J., Moohamed N., 2019, Blockchain in Industries: A Survey, *IEEE Access*.
- Banerjee A., 2017, Integrating Blockchain with ERP for a Transparent Supply Chain, *Infosys*.
- Banerjee A., 2018, Blockchain Technology: Supply Chain Insights from ERP, *Advances in Computers volume 111 – Blockchain Technology: Platforms, Tools and Use Cases*.
- Battini L., 2019, *Corso di Logistica Industriale*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.
- Biazzo S., Filippini R., 2020, *Corso di Gestione dello Sviluppo del Prodotto*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.
- Bolzan M., 2013, La tecnica Delphi, *Università degli Studi di Padova*, (https://homes.stat.unipd.it/mariobolzan/sites/homes.stat.unipd.it/mariobolzan/files/LA%20TECNICA%20DELPHI24sett2013_0.pdf).
- Capgemini, 2018, Does blockchain hold the key to a new age of supply chain transparency and trust?, (<https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2018/10/Digital-Blockchain-in-Supply-Chain-Report.pdf>).
- Casino F., Dasaklis K. T., Patsakis C., 2019, Enhanced Vendor-managed Inventory through Blockchain, *IEEE Access*.
- Casino F., Dasaklis T.K., Patsakis C., 2019, A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues, *Journals Elsevier - Telematics and Informatics*.
- Cooper, Lambert, 2000, Issues in Supply Chain Management, *Elsevier – Industrial Marketing Management*.
- Corbetta P., 1999, Metodologia e tecniche della ricerca sociale, *Il Mulino*, Bologna
- De Toni A.F., Panizzolo R., 2018, *Sistemi di gestione della produzione*, Isedi, Novara.
- Deloitte, 2020, Deloitte's 2020 Global Blockchain Survey, *www2.deloitte.com*, (https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/6608_2020-global-blockchain-survey/DI_CIR%202020%20global%20blockchain%20survey.pdf).
- Fidesic Corporation, 2002, The True Costs of Invoicing and Payment, (<http://www.enlivensoftware.com/Portals/0/docs/Cost%20of%20Invoicing.pdf>).
- Francisco K., Swanson D., 2018, The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency, *MDPI*.
- Ghobakhloo M., 2018, The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0., *Emerald - Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ghode D., Yadav V., Jain R., Soni G., 2020, Adoption of blockchain in supply chain: an analysis of influencing factors, *Emerald, Journal of Enterprise Information Management Volume 33*.

Hasan R.H., Salah K., Jayaraman R., Ahmad W.R., Yaqoob I., Omar M., 2020, Blockchain-based Solution for the Traceability of Spare Parts in Manufacturing, *IEEE Access*.

Hastig G., 2019, Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors, *Production and Operations Management (POMS)*.

Henry M. K., Marek L., 2016, Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance, *Workshop on Information Technology and Systems (WITS)*, Dublin, Ireland.

Iansiti, M., 2017, The Truth About Blockchain, *Harvard Business Review*.

Ilhaam A., Jayaraman R., Salah K., Debe M., Omar M., 2020, Enhancing Vendor Managed Inventory Supply Chain Operations Using Blockchain Smart Contracts, *IEEE Access*.

Ismail E., Ar Murat I., Ozdemir I.A., 2019, Assessing the feasibility of blockchain technology in industries, *Emerald – Journal of Enterprise Information Management*.

Ismail L., Materwala H., 2019, A Review of Blockchain Architecture and Consensus Protocols: Use Cases, Challenges, and Solutions, *Symmetry*, Department of Computer Science and Software Engineering, UAE University College of IT, Al Ain, United Arab Emirates.

Khan D., Jung T. L., Hashmani A. M., Waqas A., 2020, A Critical Review of Blockchain Consensus Model, *3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, Sukkur IBA University Pakistan.

Korpela K., Hallikas J., Dahlberg T., 2017, Digital Supply Chain Transformation toward Blockchain Integration, *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Hawaii.

Kouhizadeh M., Saberi S., Sarkis J., 2020, Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

Kshetri N., 2018, Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

Kursh S. R., Gold, N. A., 2016, Adding FinTech and Blockchain to your curriculum, *Business Education Innovation Journal*.

Matthias K., Lechler S., Von der Gracht H.A., Hartmann E., 2020, Potentials of blockchain technology in supply chain management: Long-term judgments of an international expert panel, *Elsevier – Technological Forecasting & Social Change*.

Mattila J., 2016, The Blockchain Phenomenon, *Berkeley Roundtable on the International Economy (BRIE)*, University of California, Berkeley.

Mehrdokht P., Yangyan S., Stefan S., Lenny K. S.C., 2019, Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: a systematic review of the literature, *International Journal of Production Research*.

Nakamoto S., 2008, Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, *Bitcoin.org* (https://bitcoin.org/files/bitcoin-paper/bitcoin_it.pdf).

Ølnes S., Ubacht J., Janssen M., 2017, Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing, *Journal Elsevier – Government Information Quarterly*.

Paliwal V., Chandra S., Sharma S., 2020, Blockchain Technology for Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Literature Review and a Classification Framework, *MDPI Sustainability*.

Panizzolo R., 2019, *Corso di Organizzazione della Produzione e dei Sistemi Logistici*, Magistrale Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Padova.

Pareschi, 2011, *Logistica integrata e flessibile*, Esculapio, Bologna.

Parola L., Merati P., Gavotti G., 2018, Blockchain e smart contract: questioni giuridiche aperte, *IPSOA*, Milano.

Porru S., Pinna A., Marchesi M., Tonelli R., 2017, Blockchain-oriented software engineering: Challenges and new directions, *IEEE/ACM 39th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C)*.

Prause G., 2019, Smart Contracts for Smart Supply Chains, *IFAC (International Federation of Automatic Control) – Elsevier*

Rogerson M., Parry G., 2020, Blockchain: case studies in food supply chain visibility, *Emerald, Supply Chain Management: An International Journal*.

Romano e Danese, 2006, *Supply Chain Management - la gestione dei processi di fornitura e distribuzione*, McGraw-Hill.

Rubio M.A., Tarazona G.M., Contreras L., 2018, Big Data and Blockchain Basis for Operating a New Archetype of Supply Chain, *Springer International Publishing*.

Saberi S., Kouhizadeh M., Sarkis J., 2020, Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers, *Journal Elsevier – International Journal of Production Economics*.

Saveen A. A., Radmehr P. M., 2016, Blockchain Ready Manufacturing Supply Chain Using Distributed Ledger, *International Journal of Research in Engineering and Technology – IJRET*.

Sheng-Li S., Xiao-Yue Y., Hu-Chen L., Ping Z., 2018, DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications, *Mathematical Problems in Engineering*, Egypt.

Sherali Z., Abdo B.J., 2019, Blockchain: Trends and future opportunities, *Internet Technology Letters*.

Shoaib M., Lim K. M., Wang C., 2020, An integrated framework to prioritize blockchain-based supply chain success factors, *Emerald, Industrial Management & Data Systems Volume 120*.

Suhyeon L., Seungjoo K., 2018, Pooled Mining Makes Selfish Mining Tricky, *CIST Korea University and Korea Agency for Defense Development*.

Swan M., 2015, Blockchain: blueprint for a new economy, *O'Reilly Media*, California.

Tapscott D., Tapscott A., 2017, How blockchain will change organizations, *MIT Sloan Management Review*.

Tonnissen S., Teuteberg F., 2019, Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies, *Journals Elsevier - International Journal of Information Management*.

Virbahu N. J., Devesh M., 2018, Blockchain for Supply Chain and Manufacturing Industries and Future It Holds!, *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*.

Wu H., Cao J., Yang Y., Tung L.C., Jiang S., Tang B., Liu Y., Wang X., Deng Y., 2019, Data Management in Supply Chain UsingBlockchain: Challenges and A Case Study, *IEEE Access / 28th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN)*.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H.-N., & Wang, H., 2017, Blockchain challenges and opportunities: A survey. *International Journal of Web and Grid Services*.

SITI INTERNET CONSULTATI

Academy.Young, 2020, Bitcoin: cos'è? <https://academy.youngplatform.com/it/principiante/articoli/tutti/bitcoin-cos-e>, (consultato il 02/11/2020).

Academy.Young, 2020, La crittografia e la funzione di hash, <https://academy.youngplatform.com/it/principiante/articoli/tutti/crittografia-funzione-hash-blockchain>, (consultato il 02/11/2020).

Anwar H., 2018, Consensus Algorithms: The Root of Blockchain Technology, <https://101blockchains.com/consensus-algorithms-blockchain>, (consultato il 27/11/2020).

Anwar H., 2020, Public Vs Private Blockchain: How do they differ? <https://101blockchains.com/public-vs-private-blockchain>, (consultato il 30/10/2020).

Armato E., 2017, Differenza tra ricerca quantitativa e qualitativa, <https://www.ffind.com/it/2017/10/differenza-tra-ricerca-quantitativa-e-qualitativa>, (consultato il 22/01/2021).

Arrigo F., 2019, Blockchain e smart contract: funzionamento e applicazioni, <https://www.altalex.com/documents/news/2019/04/29/tecnologia-blockchain-e-smart-contract>, (consultato il 14/01/2021).

Balbio, B., 2020, Cresce la Blockchain, <https://www.osservatori.net/it/ricerche/comunicati-stampa/cresce-la-blockchain-488-progetti-nel-mondo-plus56-nel-2019-e-grandi-opportunita-per-litalia>, (consultato il 08/12/2020).

Banerjee A., 2017, Product Provenance and Supply Chain Transparency using Oracle Blockchain Services - An Infosys offering!, https://www.infosysblogs.com/oracle/2017/10/product_provenance_and_supply_.html, (consultato il 06/01/2021).

Bellini J., 2020, Solving Supply Chain problems with Digital Twins, <https://supplychainbeyond.com/solving-supply-chain-problems-with-digital-twins>, (consultato il 03/02/2021).

Bellini M., 2017, Blockchain per la Smart Agrifood: EY presenta Wine Blockchain con EZ LAB a difesa del Vino Made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/agrifood/blockchain-la-smart-agrifood-ey-presenta-wine-blockchain-difesa-del-vino-made-italy>, (consultato il 01/12/2020).

Bellini M., 2018, Che cosa sono e come funzionano le Blockchain Distributed Ledgers Technology – DLT, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/cosa-funzionano-le-blockchain-distributed-ledgers-technology-dlt>, (consultato il 27/10/2020).

Bellini M., 2018, Smart Contracts: che cosa sono, come funzionano quali sono gli ambiti applicativi, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/legal/smart-contract/blockchain-smart-contracts-cosa-funzionano-quali-gli-ambiti-applicativi>, (consultato il 01/01/2021).

Bellini M., 2019, Cosa può fare la blockchain per aumentare la sicurezza del voto elettronico, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/pubblica-amministrazione/cosa-puo-fare-la-blockchain-per-aumentare-la-sicurezza-del-voto-elettronico>, (consultato il 03/12/2020).

Bellini M., 2020, Blockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-cosi-importante>, (consultato il 24/10/2020).

Bellini M., 2020, Energia e blockchain: come cresce il mercato e in quali ambiti applicativi, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/energy/energia-e-blockchain-come-cresce-il-mercato-e-in-quali-ambiti-applicativi>, (consultato il 04/12/2020).

Bellini M., 2020, La blockchain per ottimizzare le reti elettriche: in Europa si guarda a PlatOne, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/energy/la-blockchain-per-ottimizzare-le-reti-elettriche-in-europa-si-guarda-a-platone>, (consultato il 05/12/2020).

Belvedere A., 2019, Tendermint PoS basato su BFT, <https://www.bitcoinio.net/cryptoeconomy/altcoins/proof-of-stake-tendermint>, (consultato il 27/11/2020).

Ben L., 2020, «Spesasospesa», piattaforma per la solidarietà garantita dalla blockchain, <https://www.ilsole24ore.com/art/spesasospesa-solidarieta-garantita-blockchain-ADoRpHQ>, (consultato il 01/12/2020).

Bianchi R., 2020, Acquisire o fidelizzare il cliente: cosa costa di più?, <https://www.bludata.com/acquisire-o-fidelizzare-il-cliente-cosa-costa-di-piu>, (consultato il 07/02/2021).

Binance Academy, 2020, Casi d'Uso della Blockchain: Sanità, <https://academy.binance.com/it/articles/blockchain-use-cases-healthcare>, (consultato il 26/11/2020).

Binance Academy, 2020, Cosa sono gli hard fork e i soft fork?, <https://academy.binance.com/it/articles/hard-forks-and-soft-forks>, (consultato il 19/11/2020).

Binance Academy, 2020, La Byzantine Fault Tolerance Spiegata, <https://academy.binance.com/it/articles/byzantine-fault-tolerance-explained>, (consultato il 26/11/2020).

Binance Academy, 2020, La Proof of Authority spiegata, <https://academy.binance.com/it/articles/proof-of-authority-explained>, (consultato il 24/11/2020).

Binance Academy, 2020. Cos'è un algoritmo di Consenso Blockchain?, <https://academy.binance.com/it/articles/what-is-a-blockchain-consensus-algorithm>, (consultato il 19/11/2020).

Bitcoinwiki.org, 2020, Delegated Proof of Stake, <https://en.bitcoin-wiki.org/wiki/DPoS>, (consultato il 23/11/2020).

Bitcoinwiki.org, 2020, PBFT, <https://it.bitcoinwiki.org/wiki/PBFT>, (consultato il 26/11/2020).

Bitcoinwiki.org, 2020, Proof of Authority, <https://en.bitcoin-wiki.org/wiki/Proof-of-Authority>, (consultato il 24/11/2020).

Blockchain4innovation, 2017, Cosa può fare la Blockchain per la Smart Energy, per lo Smart Metering e per l'IoT, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/smart-energy/cosa-puo-fare-la-blockchain-per-la-smart-energy-per-lo-smart-metering-e-per-liot>, (consultato il 04/12/2020).

Blockchain4innovation, 2019, Blockchain: i benefici concreti e le applicazioni più promettenti per 27 settori, <https://www.blockchain4innovation.it/iot/blockchain-benefici-concreti-le-applicazioni-piu-promettenti-27-settori>, (consultato il 07/12/2020).

Bosco B., 2020, Le prime polizze assicurative su blockchain sono dedicate ai viaggiatori, <https://www.insuranceup.it/it/business/le-prime-polizze-assicurative-su-blockchain-sono-dedicate-ai-viaggiatori>, (consultato il 29/11/2020).

Bottinelli M., 2019, Blockchain – il consenso, <https://bottinelli-marina.medium.com/https-medium-com-bottinelli-marina-blockchain-il-protocollo-di-consenso-ea13afdd48f3>, (consultato il 22/11/2020).

Burt A., 2017, SAP debuts new 'Leonardo' Blockchain as a Service, <https://www.supplychaindive.com/news/sap-leonardo-blockchain-as-a-service-2017/442974>, (consultato il 11/01/2021).

Calvo A., 2018, Guida Blockchain: cos'è e perché è rivoluzionario, <https://www.criptoaluta.it/blockchain>, (consultato il 29/10/2020).

Camerinelli E., 2016, https://www.logisticamanagement.it/it/articoli/20161124/blockchain_nella_supply_chain, (consultato il 07/10/2020).

Capaccioli G., 2019, Blockchain: la Proof of Authority (PoA), <https://affidaty.io/blog/it/2019/08/blockchain-la-proof-of-authority-poa>, (consultato il 24/11/2020).

Cavalli S., 2019, Proof of Work (PoW) vs Proof of Stake (PoS): la guida, <https://cryptonomist.ch/2019/10/05/proof-of-work-pow-vs-proof-of-stake-pos-la-guida>, (consultato il 21/11/2020).

Clear C2, 2020, Blockchain customer relationship management, <https://www.clearc2.com/blockchain-technology-crm>, (consultato il 08/01/2021).

Cmcmarkets.com, 2020, Cosa sono le blockchain fork?, <https://www.cmcmarkets.com/it-it/impara-come-operare-con-criptoalute/cosa-e-una-blockchain-fork>, (consultato il 20/11/2020).

Condemi J., 2020, Smart grid: cosa sono, come funzionano e ambiti applicativi, <https://www.internet4things.it/smart-energy/smart-grid-cosa-sono-come-funzionano-e-ambiti-applicativi>, (consultato il 04/12/2020)

Cook E., 2020, Digitalising the Supply Chain: The Digital Twin, <https://www.supplychaindigital.com/technology-4/digitalising-supply-chain-digital-twin>, (consultato il 03/02/2021).

Cooper R.G., 1990, Stage-Gate Systems: A New Tool for Managing New Products, https://www.researchgate.net/publication/4883499_Stage-Gate_Systems_A_New_Tool_for_Managing_New_Products, (consultato il 29/12/2020).

CorCom, 2020, Blockchain, si muove la PA italiana: ecco le best practice nazionali, <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/blockchain-si-muove-la-pa-italiana-ecco-le-best-practice-nazionali>, (consultato il 02/12/2020).

Corrado M., 2016, L'evoluzione del ruolo della logistica inversa, <https://www.logisticaefficiente.it/le/supplychain/management/evoluzione-del-ruolo-della-logistica-inversa.html>, (consultato il 27/12/2020).

Costa C., 2020, Con l'IIoT, Siemens supporta la ripartenza del manifatturiero italiano, <https://www.internet4things.it/smart-manufacturing/con-iiot-siemens-supporta-la-ripartenza-del-manifatturiero-italiano>, (consultato il 06/12/2020).

Costa C., 2020, Made in Italy: la Blockchain di Genuine Way certifica le sneakers Womsh, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/industria4-0/made-in-italy-la-blockchain-di-genuine-way-certifica-le-sneakers-womsh>, (consultato il 02/12/2020).

Costa C., 2020, Made in Italy: la Blockchain di Trusty certifica i prodotti agroalimentari, <https://www.blockchain4innovation.it/sicurezza/made-in-italy-la-blockchain-per-certificare-i-prodotti-agroalimentari>, (consultato il 30/11/2020).

Cross A., 2018, What is Customer Relationship Marketing?, <https://www.ngdata.com/what-is-customer-relationship-marketing>, (consultato il 28/12/2020).

Dal Prà M., 2018, Byzantine Fault Tolerance: la chiave per la blockchain, https://www.electroyou.it/m_dalpra/wiki/byzantine-fault-tolerance-la-chiave-per-la-blockchain, (consultato il 26/11/2020).

DeAngelis S., 2011, Supply Chain Evolution and Transformation, <https://www.enterrasolutions.com/blog/supply-chain-evolution-and-transformation>, (consultato il 30/12/2020).

Dell'Olio L., 2019, Così la blockchain cambia volto al settore energy, https://www.repubblica.it/economia/rapporti/mondo5g/trend-e-stili-di-vita/2019/10/21/news/cosi_la_blockchain_cambia_volto_al_settore_energy-237750527, (consultato il 05/12/2020).

Della Mura M.T., 2020, Monitoraggio Infrastrutture: IBM con Autostrade Tech e Fincantieri NexTech, <https://www.internet4things.it/smart-city/monitoraggio-infrastrutture-ibm-con-autostrade-tech-e-fincantieri-nexttech>, (consultato il 06/12/2020).

Deloitte, 2020, Making blockchain real for customer loyalty rewards programs, <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/financial-services/articles/making-blockchain-real-customer-loyalty-rewards-programs.html>, (consultato il 09/01/2021).

Digital4, 2020, Supply Chain Management: cos'è e perché è importante per le aziende, <https://www.digital4.biz/supply-chain/supply-chain-trends/supply-chain-management-cose-e-perche-e-importante-per-le-aziende>, (consultato il 14/12/2020).

Experis Academy, 2020, IoT: benefici e rischi della tecnologia che cambierà le nostre vite, <https://www.experisacademy.it/it/news/2020-05-14/iot-benefici-rischi-tecnologia-che-cambiera-nostre-vite>, (consultato il 06/12/2020).

Frankenfield J., 2020, Proof of Elapsed Time (PoET) (Cryptocurrency), <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-elapsed-time-cryptocurrency.asp>, (consultato il 25/11/2020).

Fretty P., 2020, Blockchain: When Accurate Tracking, Tracing and Recording Matter, <https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21132176/blockchain-when-accurate-tracking-tracing-and-recording-matter>, (consultato il 03/01/2021).

Frollà A., 2017, Assicurazioni, Allianz lancia la blockchain per il mercato “captive”, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/assicurazioni/assicurazioni-allianz-lancia-la-blockchain-mercato-captive>, (consultato il 29/11/2020).

Frosi D., 2018, Omnicanalità: il ruolo strategico della Logistica, https://blog.osservatori.net/it_it/omnicanalit%C3%A0-strategia-logistica, (consultato il 08/01/2021).

Gallone M., 2017, Blockchain | Il problema dei generali bizantini rivoluziona l'economia, <https://blogantifragile.com/blockchain-problema-general-bizantini>, (consultato il 26/11/2020).

Gartner.com, 2018, Gartner Survey Reveals the Scarcity of Current Blockchain Deployments, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-05-03-gartner-survey-reveals-the-scarcity-of-current-blockchain-developments>, (consultato il 15/01/2021).

Gatti M., 2019, Delegated Proof of Stake: cos'è il D-PoS?, <https://cryptonomist.ch/2019/06/02/delegate-proof-of-stake-d-pos>, (consultato il 23/11/2020).

Gonzalez A., 2016, Germany Tops 2016 Logistics Performance Index, <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2016/06/28/germany-tops-2016-logistics-performance-index>, (consultato il 30/12/2020).

Gotal S., 2015, Centralized vs Decentralized vs Distributed, <https://medium.com/delta-exchange/centralized-vs-decentralized-vs-distributed-41d92d463868> (consultato il 30/10/2020).

Groenfeldt T., 2016, IBM Trials Blockchain For Supply Chain Dispute Resolution, <https://www.forbes.com/sites/tomgroenfeldt/2016/11/03/ibm-trials-blockchain-for-supply-chain-dispute-resolution/?sh=21232ae12496>, (consultato il 03/01/2021).

Gupta A., Bais S. A., 2019, Blockchain in Energy Market, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/blockchain-in-energy-market>, (consultato il 05/12/2020).

Hamish T., 2017, How firms can overcome the obstacles blocking their path to blockchain, https://www.ey.com/en_gl/financial-services-emeia/global-blockchain-benchmarking-study-2017, (consultato il 29/11/2020).

Higgins S., 2017, Automaker Renault Trials Blockchain in Bid to Secure Car Repair Data, <https://www.coindesk.com/automaker-renault-trials-blockchain-bid-secure-car-repair-data>, (consultato il 06/01/2021).

Huskanović A., 2018, Proof of Work – What it is and How does it Work?, <https://www.asyncclabs.co/blog/blockchain-development/proof-of-work-what-it-is-and-how-does-it-work>, (consultato il 9/11/2020).

Hyperledger.org, 2018, Hyperledger Blockchain Performance Metrics White Paper, <https://www.hyperledger.org/learn/publications/blockchain-performance-metrics>, (consultato il 12/01/2021).

James M., 2020, Decision Support System—DSS, <https://www.investopedia.com/terms/d/decision-support-system.asp>, (consultato il 04/02/2021).

Jovacchini L., 2020, Tracciabilità e sostenibilità dei prodotti nell'era della blockchain, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/industria4-0/tracciabilita-e-sostenibilita-dei-prodotti-nellera-della-blockchain>, (consultato il 05/11/2020).

Juneja P., 2019, Limitations & Disadvantages of Decision Support Systems, <https://www.managementstudyguide.com/limitations-and-disadvantages-of-decision-support-systems.htm>, (consultato il 04/02/2021).

Kavas S., 2015, The five biggest problems of global logistics, <https://www.morethanshipping.com/the-5-biggest-problems-of-global-logistics>, (consultato il 05/01/2021).

Labchain, 2019, Blockchain e supply chain management, <https://www.fintastico.com/it/blog/blockchain-e-supply-chain-management>, (consultato il 31/12/2020).

Lech T., 2018, Blockchain – Intuition, <https://blog.mathocr.com/2018/04/13/blockchain-intuition.html>, (consultato il 14/01/2021).

Ledger.com, 2019, <https://www.ledger.com/academy/blockchain/what-are-public-keys-and-private-keys>, (consultato il 02/11/2020).

Livelli. F.M.R., 2020, Come la blockchain può garantire maggiore sostenibilità nel settore agroalimentare, <https://www.agrifood.tech/blockchain/blockchain-agroalimentare-sostenibilita>, (consultato il 30/11/2020).

Logistica Efficiente, 2015, Politiche di routing, <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/magazzino/politiche-routing.html>, (consultato il 26/12/2020).

Logistica Efficiente, 2016, ERP (Enterprise Resource Planning), <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/supply-chain/erp.html>, (consultato il 04/02/2021).

Logistica Efficiente, 2019, APS - Advanced Planning & Scheduling, <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/supply-chain/aps-advanced-planning-scheduling.html>, (consultato il 04/02/2021).

Logisticamente, 2018, La gestione dei resi: è possibile ottimizzare i processi e ridurre gli sprechi?, <https://www.logisticamente.it/Articoli/11060/la-gestione-dei-resi-e-possibile-ottimizzare-i-processi-e-ridurre-gli-sprechi>, (consultato il 27/12/2020).

Lorusso D.S., Gentile N., De Totero I., 2018, Smart Contract e patologia contrattuale: l'ipotesi della nullità, <http://www.blblex.it/blog.php?id=718&lang=it>, (consultato il 14/01/2021).

Lugano F., 2019, Le dimensioni non contano: Bitcoin Cash non riempie i blocchi, <https://cryptonomist.ch/2019/01/26/dimensioni-blocchi-bitcoin-cash>, (consultato il 14/01/2021).

Macin M., 2020, Monitoraggio industriale e Industrial Internet of Things, <https://www.internet4things.it/industry-4-0/monitoraggio-industriale-e-industrial-internet-of-things>, (consultato il 06/12/2020).

Maglia S., 2020, Cosa si intende per imballaggio?, <https://www.tuttoambiente.it/commenti-premium/cosa-si-intende-per-imballaggio>, (consultato il 25/12/2020).

Maleddu M., 2020, Come utilizzare la blockchain in favore della democrazia partecipativa, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/come-utilizzare-la-blockchain-in-favore-della-democrazia-partecipativa>, (consultato il 03/12/2020).

Maragno G., 2019, Blockchain e PA, i casi di successo in Italia e nel mondo, <https://www.agendadigitale.eu/documenti/blockchain-e-pa-i-casi-di-successo-in-italia-e-nel-mondo>, (consultato il 02/12/2020).

McAfee A., Brynjolfsson E., 2012, Big Data: The Management Revolution, <https://hbr.org/2012/10/big-data-the-management-revolution>, (consultato il 30/12/2020).

Mecalux, 2018, Reverse logistics: cos'è e quali sono i vantaggi della logistica inversa, <https://www.mecalux.it/articoli-sulla-logistica/reverse-logistics>, (consultato il 27/12/2020).

Miozzi L., 2020, Blockchain: dall'Internet of Things all'Internet of Value, <https://www.internet4things.it/iot-library/blockchain-dallinternet-of-things-allinternet-of-value>, (consultato il 06/12/2020).

Murphy K., 2019, The Differences Between Source To Pay and Procure To Pay, <https://www.purchasecontrol.com/blog/source-to-pay-vs-procure-to-pay>, (consultato il 02/01/2021).

Nasdaq, 2017, Byzantine Fault Tolerance: The Key for Blockchains, <https://www.nasdaq.com/articles/byzantine-fault-tolerance-key-blockchains-2017-06-29>, (consultato il 26/11/2020).

Neil S., 2017, Blockchain Meets the Manufacturing Supply Chain, <https://www.automationworld.com/factory/supply-chain-management/blog/13317960/blockchain-meets-the-manufacturing-supply-chain>, (consultato il 04/01/2021).

Nonnis W., 2020, Le applicazioni della blockchain nell'ambito della PA, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/pubblica-amministrazione/le-applicazioni-della-blockchain-in-ambito-pa>, (consultato il 02/12/2020).

OpenBOM, 2017, How blockchain can change product service and maintenance, <https://medium.com/@openbom/how-blockchain-can-change-product-service-and-maintenance-e323dcd10811>, (consultato il 07/01/2021).

Osservatori.net, 2019, La Blockchain spiegata semplice, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-spiegazione-significato-applicazioni#caratteristiche, (consultato il 07/11/2020).

Pagano M., 2020, Bitcoin: un valore inestimabile per i soliti noti, <https://www.trend-online.com/prp/bitcoin-valore>, (consultato il 25/11/2020).

Paris C., 2020, Blockchain, gli algoritmi del consenso: che cosa sono e a cosa servono, <https://www.agendadigitale.eu/documenti/blockchain-gli-algoritmi-del-consenso-che-cosa-sono-e-a-cosa-servono>, (consultato il 26/11/2020).

Patel D., 2017, UPS bets on blockchain as the future of the trillion-dollar shipping industry, <https://techcrunch.com/2017/12/15/ups-bets-on-blockchain-as-the-future-of-the-trillion-dollar-shipping-industry>, (consultato il 05/01/2021).

Patelli S., 2020, Digitalizzazione dei Processi dopo Industria 4.0, <https://www.headvisor.it/digitalizzazione-industria-4-0>, (consultato il 04/11/2020).

Pinto A., 2018, Your unanswered questions on the ROI of blockchain, <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2018/11/your-unanswered-questions-on-the-roi-of-blockchain>, (consultato il 13/01/2021).

Porazzi G., 2017, Riflessioni sul concetto di moneta programmabile, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/riflessioni-sul-concetto-moneta-programmabile>, (consultato il 06/11/2020).

Porta M., 2019, Proof of Authority (PoA): il consenso basato sulla reputazione, <https://cryptonomist.ch/2019/10/12/proof-of-authority-poa>, (consultato il 24/11/2020).

Porta M., 2019, Proof of Elapsed Time (PoET): l'algoritmo di consenso basato sul tempo, <https://cryptonomist.ch/2019/06/15/proof-of-elapsed-time-poet>, (consultato il 25/11/2020).

Portale V., 2019, La Blockchain parla italiano: investimenti e applicazioni nel nostro Paese, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-in-italia, (consultato il 08/12/2020).

Portale V., 2019, Le applicazioni della Blockchain: i 5 settori più promettenti, https://blog.osservatori.net/it_it/applicazioni-blockchain, (consultato il 25/11/2020).

Rando A., 2020, come la blockchain può tutelare il made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/come-la-blockchain-puo-tutelare-il-made-in-italy>, (consultato il 30/11/2020).

Rando A., 2020, Crittografia, cos'è, a cosa serve, perché non se ne può fare a meno, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/crittografia-cose-a-cosa-serve-perche-non-se-ne-puo-fare-a-meno>, (consultato il 02/11/2020).

Randstad, 2017, Investire nella formazione dei dipendenti, <https://www.randstad.it/knowledge360/formazione-e-lavoro/ecco-perche-investire-nella-formazione-dei-dipendenti-e-un-fattore-chiave-per-la-crescita-aziendale>, (consultato il 05/02/2021).

Renga F., 2019, L'impatto della Blockchain nel Finance e nelle assicurazioni, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-insurance-finance, (consultato il 29/11/2020).

Renga. F, 2019, Blockchain nell'agrifood: grande opportunità... travestita da moda?, https://blog.osservatori.net/it_it/blockchain-agrifood-grande-opportunita, (consultato il 01/12/2020).

RFID Global, 2020, Tecnologia RFID: concetti base, <https://www.rfidglobal.it/tecnologia-rfid>, (consultato il 04/02/2021).

Rilee K., 2018, Understanding Hyperledger Sawtooth — Proof of Elapsed Time, <https://medium.com/kokster/understanding-hyperledger-sawtooth-proof-of-elapsed-time-e0c303577ec1>, (consultato il 25/11/2020).

Rita V., 2019, I bitcoin pesano sull'ambiente quanto una città di mezzo milione di abitanti, <https://www.wired.it/scienza/energia/2019/06/13/bitcoin-peso-ambiente>, (consultato il 16/01/2021).

Rubino A., 2020, Blockchain: cosa sono i protocolli PoW e PoS e a cosa servono, <https://www.blockchain4innovation.it/criptovalute/blockchain-cosa-sono-i-protocolli-pow-e-pos-e-a-cosa-servono>, (consultato il 21/11/2020).

RuralHack, 2019, Blockchain per l'agrifood, <http://www.ruralhack.org/blockchain-per-lagrifood-scenari-applicazioni-impatti>, (consultato il 30/11/2020).

Russo N., 2019, Facciamo chiarezza sugli Smart Contract, <https://www.riskcompliance.it/news/facciamo-chiarezza-sugli-smart-contract>, (consultato il 31/12/2020).

Russo S., 2019, Cosa sono gli smart contract e perché adottarli, <https://blog.yourtarget.ch/cosa-sono-smart-contract-e-perche-adottarli>, (consultato il 01/01/2021).

Salvadori G., 2019, Cos'è la Smart Energy: soluzioni e startup per l'efficienza energetica, https://blog.osservatori.net/it_it/smart-energy-startup-iot-per-efficienza-energetica, (consultato il 05/12/2020).

SAP, 2005, mySAP Supply Chain Management, https://faculty.biu.ac.il/~shnaidh/zoолоo/erp/mySAP_Supply_Chain_Management_Solution_Map.pdf, (consultato il 23/12/2020).

SAP, 2016, Service Parts Planning (SPP), https://help.sap.com/doc/saphelp_scm700_ehp04/7.0.4/enUS/47/e12f019e014ac5e10000000a42189d/frameset.htm, (consultato il 24/12/2020).

Sarzana F., 2018, Creare fiducia attraverso la disintermediazione: la risoluzione del Parlamento Europeo su DLT e blockchain, <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/creare-fiducia-attraverso-la-disintermediazione-la-risoluzione-del-parlamento-europeo-su-dlt-e-blockchain>, (consultato il 05/11/2020).

Singh N., 2020, How Contract Management Solutions And Blockchain Work Together, <https://101blockchains.com/contract-management-solutions-and-blockchain>, (consultato il 01/01/2021).

Singh N., 2020, Permissioned vs Permissionless Blockchains, <https://101blockchains.com/permissioned-vs-permissionless-blockchains>, (consultato il 30/10/2020).

Stinnes A., 2020, Is blockchain perfect for the supply chain?, <https://www.dcvelocity.com/articles/44343-is-blockchain-perfect-for-the-supply-chain>, (consultato il 03/01/2021).

Tar A., 2018, Proof-of-Work explained, <https://it.cointelegraph.com/explained/proof-of-work-explained>, (consultato il 03/11/2020).

The Economist, 2015, The trust machine, <https://www.economist.com/leaders/2015/10/31/the-trust-machine>, (consultato il 15/01/2021).

Torchiani G., 2020, Data Science e Blockchain per il Made in Italy, <https://www.blockchain4innovation.it/mercati/agrifood/data-science-e-blockchain-per-il-made-in-italy>, (consultato il 30/11/2020).

Torchiani G., 2020, Smart grid: cos'è e come funziona la rete elettrica intelligente in Italia, <https://www.energyup.tech/energy-management/smart-grid-cose-e-come-funziona-la-rete-elettrica-intelligente-in-italia>, (consultato il 04/12/2020).

Tricoli N., 2020, Tracciabilità della logistica alimentare: dall'RFID all'IoT, passando per la Blockchain, <https://www.digital4.biz/supply-chain/tracciabilita-della-logistica-alimentare-dallrfid-alliot-passando-per-la-blockchain>, (consultato il 10/01/2021).

Van Kralingen B., 2018, IBM, Maersk Joint Blockchain Venture to Enhance Global Trade, <https://www.ibm.com/blogs/think/2018/01/maersk-blockchain>, (consultato il 05/01/2021).

Vella G., 2019, Digital week, Finer: blockchain è internet del valore, <https://www.we-wealth.com/it/news/fintech/blockchain/finer-blockchain-internet-valore>, (consultato il 06/11/2020).

Vella G., 2019, Distributed Ledger Technology: definizione e caratteristiche, https://blog.osservatori.net/it_it/distributed-ledger-technology-significato, (consultato il 26/10/2020).

Vella G., 2019, La storia dei Bitcoin: tra passato e futuro della Blockchain, https://blog.osservatori.net/it_it/bitcoin-storia-blockchain, (consultato il 25/11/2020).

Wikipedia.org, 2019, Proof of Authority, https://en.m.wikipedia.org/wiki/Proof_of_authority, (consultato il 24/11/2020).

Wikipedia.org, 2020, Analytic Hierarchy Process, https://it.wikipedia.org/wiki/Analytic_Hierarchy_Process, (consultato il 17/01/2021).

Wikipedia.org, 2020, Bitcoin, https://it.wikipedia.org/wiki/Bitcoin#Evoluzione_del_prezzo, (consultato il 25/11/2020).

Wikipedia.org, 2020, Funzione crittografica di Hash, https://it.wikipedia.org/wiki/Funzione_crittografica_di_hash (consultato il 01/11/2020)

Wikipedia.org, 2020, Funzione di Hash, https://it.wikipedia.org/wiki/Funzione_di_hash, (consultato il 01/11/2020).

Wikipedia.org, 2020, Metodo Delphi, https://it.wikipedia.org/wiki/Metodo_Delphi, (consultato il 20/01/2021).

Wikipedia.org, 2020, Proof of Stake, <https://it.wikipedia.org/wiki/Proof-of-stake>, (consultato il 21/11/2020).

Wine2wine, 2018, Blockchain nella filiera del vino, <https://www.wine2wine.net/blockchain-cosafunziona>, (consultato il 07/02/2021).

RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione di questa tesi di laurea.

Ringrazio il CSCMP, grazie al loro supporto ho potuto portare a termine la mia indagine di ricerca.

In particolare desidero ringraziare il mio relatore, Roberto Panizzolo, che mi ha seguito durante tutto il percorso, dedicandomi tempo ed attenzione con estrema professionalità, è stato un punto di riferimento fondamentale.

Ringrazio tutti coloro che mi sono stati vicini, che mi hanno sostenuto e creduto in me.

Ringrazio il mio amico e collega di corso Simone, un compagno sempre presente in questo percorso tortuoso e difficile chiamato Università.

Ringrazio Beatrice, la mia migliore amica e compagna di vita, sei stata al mio fianco ogni giorno in tutti questi anni, in ogni momento bello e brutto, mi hai teso la mano quando ero in difficoltà e mi hai stretto forte quando stavo per cadere.

Grazie per aver creduto in noi, nei nostri obiettivi e nel nostro futuro, sei la cosa più importante che la vita mi ha dato.

Ringrazio Pierludovico Mizzoni per avermi trasmesso la passione per l'ingegneria ed aver creduto nelle mie capacità, se ho trovato la mia strada lo devo a lei.

Ringrazio la mia famiglia, per avermi dato la possibilità di realizzare questo sogno, per aver creduto in me ed essere sempre stati al mio fianco.

Ringrazio i miei amici Vladimir, Emanuele, Nicolò, Andrea e Luca.

Infine ringrazio Armando, per averci creduto, per non aver mai mollato, anche quando i momenti erano duri non hai mai smesso di sognare, è stato un percorso difficile e complesso, ma pieno di gioia e felicità.

Ho vissuto questi anni con la sensazione di dovermi meritare quello che la vita mi ha dato, ho lottato ogni giorno per colmare questa sensazione e per la prima volta sono fiero di me stesso; conscio di quello che ho fatto, consapevole della determinazione, dedizione e costanza che ho messo in questo lungo percorso.

Una delle esperienze più belle e importanti che segnerà per sempre la mia vita.

Ricorderò questo momento per sempre.