



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea

**Tecnologia Blockchain: applicazioni, soluzioni e
impatto all'interno della Supply Chain**

Relatore

Ch. mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Diomande Messeve Moustafà

Anno Accademico 2021-2022

Sommario

Sebbene la tecnologia Blockchain sia nata inizialmente per garantire lo scambio di criptovalute tra individui ed entità all'interno di una rete, oggi è conosciuta e testata al di fuori del singolo settore finanziario: le piattaforme basate su questa tecnologia rappresentano uno strumento informativo di supporto per applicazioni a livello aziendale in diverse filiere in tutto il mondo. La garanzia di tracciabilità, l'immutabilità e la trasparenza delle informazioni scritte in un registro distribuito sono i punti di forza delle soluzioni di implementazione Blockchain, il cui obiettivo è ridisegnare le operazioni e le interazioni tra gli attori di una supply chain: un sistema che permette di registrare dati e documenti secondo l'interesse dei business partners e crea collaborazione e fiducia reciproca tra di essi.

L'obiettivo della seguente Tesi è quello di discutere il potenziale impatto a livello applicativo della blockchain nella gestione della supply chain, mediante l'analisi della letteratura in cui le più recenti ricerche effettuate in tale ambito forniscono dati e informazioni che permettono di comprendere ed elaborare gli effettivi vantaggi e le eventuali limitazioni di tale tecnologia.

Lo studio propone inizialmente un quadro descrittivo in cui vengono analizzate le caratteristiche fondamentali della tecnologia blockchain, le diverse tipologie esistenti, il suo funzionamento, le potenzialità, i limiti e i principali ambiti applicativi. Viene poi fornito un approfondimento sulla gestione della catena di approvvigionamento, sul livello di digitalizzazione e sull'importanza che esso ricopre all'interno di una supply chain. La consultazione dei siti degli enti di ricerca e di consulenza ha fatto emergere in quali particolari ambiti della supply chain tale tecnologia può trovare spazio di implementazione e quale grado di digitalizzazione può apportare all'interno della filiera.

Nel cuore della tesi il focus viene posto sulle principali soluzioni in ambito supply chain fornite dall'implementazione della blockchain. L'analisi della letteratura indica che l'ottenimento di una completa visibilità lungo l'intera supply chain è ottenibile tramite il raggiungimento della trasparenza dei dati in cui i partner della filiera riescono a raggiungere un livello di allineamento e collaborazione ottimizzato. Vengono dunque analizzate le caratteristiche di base e i metodi di implementazione della tecnologia che permettono che essa venga applicata senza che le diverse aziende incorrano in rischi di sicurezza e riservatezza per quanto riguarda i dati sensibili.

L'effettivo utilizzo della tecnologia viene messo in risalto attraverso l'analisi di modelli applicativi e casi studio, mediante i quali è possibile comprendere quali siano i vantaggi effettivi di tale tecnologia all'interno della gestione della filiera; tuttavia, allo stesso tempo emergono le varie sfide e limitazioni a livello applicativo.

Indice

Capitolo 1 - La Blockchain	5
1.1 Definizione	5
1.2 Principali caratteristiche	5
1.3 Crittografia	6
1.4 Componenti di base e funzionamento della Blockchain	8
1.4.1 Meccanismi di Consenso	9
1.5 Tipologie di Blockchain	11
1.5.1 Permissionless Ledger	11
1.5.2 Bitcoin	12
1.5.3 Ethereum	13
1.5.4 Permissioned Ledger	14
1.5.5 Elementi fondamentali della blockchain privata	15
1.6 Smart Contracts	16
1.6.1 Definizione	17
1.6.2 Funzionamento	17
1.7 Ambiti applicativi della Blockchain	18
Capitolo 2 - Digitalizzazione della Supply Chain	21
2.1 Supply Chain Management	21
2.2 Obiettivi del supply chain management	22
2.3 Digital Supply Chain	23
2.4 Software per il supporto del Supply Chain Management	25
2.5 Tecnologie a supporto della Supply Chain	26
2.6 Soluzioni 4.0 all'interno della Supply Chain	27
2.6.1 Big Data e Analytics	27
2.6.2 Internet of Things	28
2.6.3 Cloud Computing	28
2.6.4 Robotica e Automazione	29
2.6.5 Stampa 3D	29
2.7 Limiti e problemi della Supply Chain	30
Capitolo 3 - Integrazione della Blockchain all'interno della Supply Chain	31
3.1 Data Transparency	32
3.1.1 Sfide	33
3.1.2 Necessità della trasparenza dei dati e problemi di sicurezza	34
3.1.3 Soluzioni e tecniche di implementazione	35
3.2 Gli Smart Contracts	36
3.3 Panoramica di alcuni casi applicativi della Blockchain e degli smart contracts nella Supply chain	37
3.4 Sostenibilità: implementazione del Life Cycle Assessment mediante Blockchain	40
3.4.1 Product Life Cycle Assessment	41
3.4.2 Inefficienze del Life Cycle Assessment tradizionale	42
3.4.3 Integrazione della tecnologia Blockchain	44

3.4.4 Meccanismo di integrazione Blockchain-LCA e trasmissione dei dati	46
3.4.5 Verifiche e prerequisiti per il calcolo LCA.....	48
3.4.6 Benefici derivanti dall'integrazione Blockchain-LCA	49
3.5 Esempio di modello sviluppato per il monitoraggio della temperatura e la prevenzione della contraffazione farmaceutica	50
3.5.1 Catena di approvvigionamento farmaceutica	51
3.5.2 Limitazioni della supply chain e soluzione proposta	52
3.5.3 Spiegazione tecnica del modello	53
3.5.3.1 Scalabilità della rete blockchain.....	54
3.5.3.2 Gestione della supply chain farmaceutica basata su blockchain e IoT	56
3.5.5 Analisi della sicurezza del network blockchain	58
3.6 Soluzioni derivanti dall'applicazione della blockchain ai limiti della supply chain.....	59
Capitolo 4 - Analisi di progetti applicativi della blockchain nelle diverse supply chain.....	61
4.1 Settore Automotive.....	62
4.1.1 Caso Studio.....	63
4.1.2 Difficoltà riscontrate dalla società.....	63
4.1.3 Framework della soluzione proposta.....	65
4.1.4 Implementazione della rete mediante utilizzo di IBM Hyperledger	65
4.1.5 Risultati della simulazione dell'implementazione della rete Blockchain	67
4.2 Sostenibilità della Supply Chain – Caso studio.....	70
4.2.1 Caso Studio: applicazione della Blockchain a supporto dell'analisi LCA per prodotti tessili.....	71
4.2.2 Modelli di analisi LCA: generico e specifico.....	71
4.2.3 Analisi dei risultati	75
4.2.4 Osservazioni sui risultati ottenuti	77
Capitolo 5 – Conclusione.....	79
5.1 Progetti e sviluppi futuri della Blockchain.....	81
5.2 Implicazioni manageriali e step implementativi per progetti Blockchain.....	82
Bibliografia e Sitografia.....	85

Lista delle figure

Figura 1.1 – Crittografia Simmetrica

Figura 1.2 – Crittografia asimmetrica

Figura 1.3 – Tipologie di blockchain

Figura 1.4 – Come avvengono le transazioni all'interno di una blockchain pubblica

Figura 1.5 – Come avvengono le transazioni all'interno di una blockchain privata

Figura 1.6 – Processamento dello smart contract con dati in entrata e in uscita

Figura 2.1 – Anelli di attività della SC e rappresentazione dei flussi

Figura 2.2 – Elementi chiave di una digital SC

Figura 3.1 – Sfide di natura tecnica della Supply Chain

Figura 3.2 - Processo semplificato della garanzia della provenienza del tonno

Figura 3.3 – Confronto grafico di un sistema centralizzato e decentralizzato

Figura 3.4 – Framework dell'integrazione Blockchain-LCA

Figura 3.5 – Esempio di rete LCA decentralizzata

Figura 3.6 – Supply chain farmaceutica

Figura 3.7 – Monitoraggio della temperatura e lettura del QR code

Figura 3.8 – Supply chain farmaceutica basata sulla blockchain

Figura 3.9 – Architettura dell'Access Real Code

Figura 4.1 – Modello semplificato della filiera

Figura 4.2 – Livelli di inventario prima della simulazione della rete blockchain

Figura 4.3 – Livelli di inventario ottenuti dopo la simulazione della rete blockchain

Figura 4.4 - Panoramica dei costi operativi giornalieri e tempo di attesa medio prima dell'implementazione della blockchain

Figura 4.5 - Panoramica dei costi operativi giornalieri e tempo di attesa medio dopo l'implementazione della blockchain

Figura 4.6 – Modello LCA strutturato nelle tre fasi principali del ciclo di vita della lana: produzione in allevamento, trasporto e lavorazione in pettinatura

Figura 4.7 – Schematizzazione del processo di analisi LCA specifico

Figura 4.8 – Analisi del contributo di impatto tra LCA basate su dati specifici (S) e generici (G)

Figura 4.9 – tasso di variabilità per le singole aree di impatto tra modelli LCA generico e LCA specifico

Figura 5.1 – Il trilemma della blockchain

Figura 5.1 – Step implementativi di un progetto blockchain

Lista delle tabelle

Tabella 1 – Confronto tra i meccanismi di consenso blockchain

Tabella 2 – Requisiti e soluzioni di sicurezza

Tabella 3 – Stima dei fattori che incidono sull'IQR e sui tempi di attesa lungo il periodo di un anno

Tabella 4 – Caratteristiche e modalità di produzione dei tre fornitori di CLM

Introduzione

La blockchain è una tecnologia emergente che ha guadagnato un'enorme popolarità nei recenti anni ed ha attraversato un'importante crescita dovuta principalmente all'invenzione e alla diffusione della prima criptovaluta, nota come Bitcoin. Possiamo quindi riferirci all'anno 2008 come anno ufficiale della sua creazione, poiché in quell'anno, un individuo (o forse un gruppo di più individui), sotto lo pseudonimo di Satoshi Nakamoto, ha pubblicato il whitepaper intitolato "Bitcoin: a Peer-To-Peer Electronic Cash System" in cui l'autore definì la rete Bitcoin come "un sistema puramente in versione peer-to-peer della valuta digitale che consente di effettuare pagamenti online direttamente da un utente all'altro senza dover passare per un istituto finanziario." (Bellini, 2021)

La blockchain è considerata un'innovazione disruptive comparabile ad internet, promettendo un'innovazione nell'area commerciale e finanziaria paragonabile all'impatto che ha avuto il web sulla comunicazione. Sta rivoluzionando il modo in cui interagiamo in base a tre principali concetti:

- Tracciabilità e conservazione dei dati: il sistema decentralizzato e distribuito tra un'estesa rete di computer diventa un modo sicuro per tracciare i cambiamenti delle informazioni nel tempo.
- Fiducia: è il concetto chiave. Il sistema ci permette di interagire direttamente con i nostri dati in tempo reale e la rete, tutti i computer verificano i cambiamenti nelle transazioni creando un sistema di fiducia nelle informazioni.
- Transazioni tra pari: in questo sistema non ci sono intermediari. Invece di condividere le nostre informazioni con un intermediario quale la banca o un avvocato, le condivideremo direttamente con altri pari. È un nuovo modo di accedere, verificare e compiere transazioni.

Si tratta dunque, di una tecnologia *trustless* nel senso che ogni utente connesso alla rete non ha bisogno di fidarsi della controparte, o di un intermediario centrale, per poter effettuare una transazione. La fiducia dell'utente è tutta riposta nella tecnologia ed in particolare nel software e nel protocollo che ne regolano il funzionamento.

La Blockchain è una promettente tecnologia per registrare e tracciare qualsiasi cosa di valore all'interno di un sistema trasparente, democratico e sicuro. Una blockchain completamente pubblica permette a tutti di vedere e accedere ai dati mentre un sistema privato può selezionare un gruppo di utenti da un'organizzazione o istituzione autorizzati a vedere e/o modificare i dati. E in un sistema ibrido, alcuni pari possono accedere a tutte le informazioni mentre altri solo ad alcune parti; oppure tutti possono vedere le informazioni ma solo alcuni possono aggiungere nuove informazioni.

L'emergere di tale tecnologia negli ultimi anni ha fatto sì che lo sviluppo e l'implementazione della blockchain venissero posti sotto attenzione in molteplici settori, tra cui il settore farmaceutico, il settore energy, l'eGovernment, l'eCommerce, il settore automotive e il settore

luxury. In particolare, per quanto riguarda il tema della supply chain, la tecnologia blockchain rappresenta un pratico strumento di miglioramento delle performance complessive mediante l'incentivazione dell'allineamento e della collaborazione tra i diversi attori della filiera.

Non c'è dunque dubbio sul motivo per cui la blockchain nell'ultimo decennio sia stata tra le tecnologie dirompenti più discusse dove alcuni sono convinti che ciò sia dovuto alla stretta connessione della tecnologia con l'industria delle criptovalute, che ha un impatto diretto sulle tendenze finanziarie più potenti del mondo; altri invece si concentrano su come l'applicazione della tecnologia blockchain in vari settori industriali possa apportare un valore significativo.

La revisione di una serie di paper ha motivato la scelta del tema dell'elaborato in quanto nella letteratura scientifica un numero elevato di ricerche qualitative e quantitative hanno permesso di chiarire il reale interesse dei *supply chain manager* e della comunità scientifica nelle opportunità proposte dallo sviluppo di questa nuova tecnologia all'interno della catena di fornitura.

È possibile considerare una supply chain come una rete costituita da un numero variabile di nodi che partecipano quotidianamente ad attività necessarie alla creazione di valore commerciale per il business. Data la complessità delle operations, molti attori si affidano ad altri network di partner e subfornitori; questo fa sì che si crei la necessità di doversi appoggiare ad eventuali intermediari portando il business a dover attendere le relative validazioni delle transazioni generando così una serie di inefficienze che si ripercuotono lungo tutti i processi della catena.

Per mantenere l'allineamento della supply chain è stato incentivato il livello di burocratizzazione interna in modo tale da certificare ogni singolo passaggio e processo che il prodotto e i vari componenti hanno subito. Si tratta dunque di un processo dipendente che risulta in eventuali ritardi, attese e perdite potenziali per tutti gli stakeholder della filiera.

Attraverso la presente Tesi l'obiettivo è dunque comprendere lo sviluppo e l'implementazione della tecnologia a livello industriale in modo da poter comprenderne l'impatto e il valore aggiuntivo che essa permette di apportare in termini di miglioramento attraverso soluzioni specifiche.

Lo studio è strutturato come segue: nel primo capitolo viene introdotta la blockchain e ne vengono discusse le proprietà base, in particolare come essa nasce e si sviluppa, quali sono le tipologie diverse di blockchain con i relativi esempi, quali sono le caratteristiche che rendono tale tecnologia sicura e fanno sì che possa essere applicata ad un vasto spettro di ambiti e infine viene spiegato il funzionamento e il concetto degli smart contract che ricoprono un ruolo centrale nell'applicazione della blockchain.

Nel secondo capitolo viene affrontato il tema del supply chain management ed in particolare il grado di digitalizzazione presente all'interno delle organizzazioni con cui si intende, quali sono i diversi software e le tecnologie di cui si fa attualmente uso per la gestione efficiente della filiera e qui nello specifico si fa riferimento alle tecnologie innovative dell'industria 4.0; il capitolo viene concluso presentando le limitazioni nella gestione della supply chain focalizzando l'attenzione sulle soluzioni ad esse che potrebbe fornire l'applicazione della Blockchain.

Il terzo capitolo rappresenta il tema centrale della Tesi in cui vengono spiegate con maggiore dettaglio le limitazioni della filiera e vengono descritte le tecniche di implementazione della blockchain per l'ottenimento delle soluzioni a tali problematiche. Viene poi sviluppata la nozione di smart contracts con specifici casi applicativi. All'interno del capitolo viene poi approfondita la sostenibilità di una supply chain e come essa possa essere migliorata mediante la tecnologia blockchain e infine viene presentato un modello applicativo per la catena di approvvigionamento farmaceutica.

Nel quarto capitolo vengono poi trattati due casi studio in cui viene evidenziato e quantificato l'effettivo miglioramento apportato dalla tecnologia: un caso studio applicato al settore automotive e un caso riguardante l'applicazione dell'analisi di valutazione dell'impatto ambientale della supply chain mediante la blockchain.

Infine, nel capitolo conclusivo vengono spiegate le limitazioni dell'applicazione della tecnologia, gli sviluppi futuri riguardanti le soluzioni a tali limitazioni e le implicazioni manageriali che riguardano lo sviluppo di progetti di implementazione della tecnologia in una visione strategica della supply chain.

Capitolo 1 - La Blockchain

Attraverso questo primo Capitolo verrà fornito un background sulla tecnologia blockchain in modo da chiarirne il funzionamento, gli aspetti chiave e le principali caratteristiche. Questo permetterà di comprendere le potenziali applicazioni della tecnologia e il valore che può offrire in termini di miglioramento all'interno di una vasta gamma di ambiti e in particolare l'ambito Supply Chain.

1.1 Definizione

La Blockchain (*“catena di blocchi”*) è una struttura di dati decentralizzata, condivisa e crittograficamente immutabile, essa rientra nelle Distributed Ledger Technologies ovvero delle strutture che fungono da registro digitale di tutte le transazioni e/o informazioni inserite nella rete e suddivise in *“blocchi”* di dati. L'inserimento e la validazione di tali transazioni sono delegati ad un meccanismo di consenso, distribuito su tutti i nodi della rete.

L'aggiunta di ogni nuovo blocco alla catena deve passare attraverso un preciso protocollo basato sul consenso tra i nodi e una volta autorizzata l'eventuale aggiunta del nuovo blocco, ogni nodo aggiorna la propria copia senza che ci sia più possibilità di modificare i dati una volta inseriti.

La Blockchain, dunque è basata su una rete e dal punto di vista delle funzionalità permette di gestire un database in modo distribuito, mentre dal punto di vista operativo è un'alternativa agli archivi centralizzati, ovvero permette di gestire l'aggiornamento dei dati con la collaborazione dei partecipanti alla rete e con la possibilità di avere dati condivisi, accessibili, distribuiti presso tutti i partecipanti. Di fatto, permette una gestione dei dati in termini di verifica, di validazione e di autorizzazione senza che sia necessaria una autorità centrale.

1.2 Principali caratteristiche

La Blockchain è una piattaforma che consente lo sviluppo e la concretizzazione di una nuova forma di rapporto sociale, che è in grado di garantire a tutti la possibilità di verificare e di disporre di una totale trasparenza sugli atti e sulle decisioni prese all'interno della rete. Questo risulta possibile grazie alle seguenti caratteristiche intrinseche della tecnologia:

- decentralizzazione
- immutabilità del registro
- trasparenza
- tracciabilità delle transazioni
- sicurezza basata su tecniche crittografiche
- consenso
- responsabilità

- programmabilità

Ci si trova dunque di fronte ad un nuovo concetto di *trust* possibile grazie alla Blockchain e l'estrema sicurezza garantita dalla crittografia di base. (Comandini, 2020)

1.3 Crittografia

Risulta importante definire e sviluppare il concetto di crittografia in quanto la blockchain è un grande database per la gestione di transazioni crittografate su una rete decentralizzata di tipo peer-to-peer¹:

“La crittografia o criptografia (dal greco kryptòs [nascosto] e graphia [scrittura]) indica lo sviluppo di metodi per la conversione dei dati da un formato leggibile ad un formato codificato che può essere letto o elaborato solo dopo che è stato decrittato. La crittografia è alla base della protezione dei dati ed è il modo più semplice e importante per garantire che le informazioni di un sistema informatico non possano essere rubate e lette da qualcuno che voglia utilizzarle per scopi malevoli.” (Bellini, 2021)

I due metodi di crittografia più comuni sono il metodo simmetrico ed il metodo asimmetrico, a seconda del fatto che la stessa chiave venga utilizzata o meno sia per la cifratura che per la decifratura:

- **Simmetrico**: è noto anche come crittografia a chiave privata. La chiave utilizzata per la cifratura è la stessa usata per la decifratura, il che rende il sistema ideale per singoli utenti e sistemi chiusi. In caso contrario, è necessario inviare la chiave al destinatario. In questo modo aumenta però il rischio che venga compromessa se intercettata da una terza parte, ad esempio un hacker. Questo metodo è più rapido di quello asimmetrico.
- **Asimmetrico**: questo metodo utilizza due chiavi diverse, pubblica e privata, che presentano fra loro un collegamento matematico. Le chiavi sono essenzialmente grandi numeri associati fra loro ma non identici, da qui l'aggettivo "asimmetrico". La chiave privata viene tenuta segreta dal proprietario e la chiave pubblica viene condivisa tra i destinatari autorizzati o resa disponibile al pubblico su larga scala.

¹*Rete peer-to-peer*: Nella sua forma più semplice, una rete peer-to-peer (P2P) viene creata quando due o più PC sono collegati e condividono risorse senza passare attraverso un computer server separato. Una rete P2P può essere una connessione ad hoc ovvero, un paio di computer collegati tramite un bus seriale universale per trasferire file (USB). Una rete P2P può anche essere un'infrastruttura permanente che collega una mezza dozzina di computer in un piccolo ufficio tramite fili di rame. Oppure una rete P2P può essere una rete su una scala molto più ampia in cui protocolli e applicazioni speciali stabiliscono relazioni dirette tra gli utenti su Internet. [Computer World: What's A peer-to-peer Network]

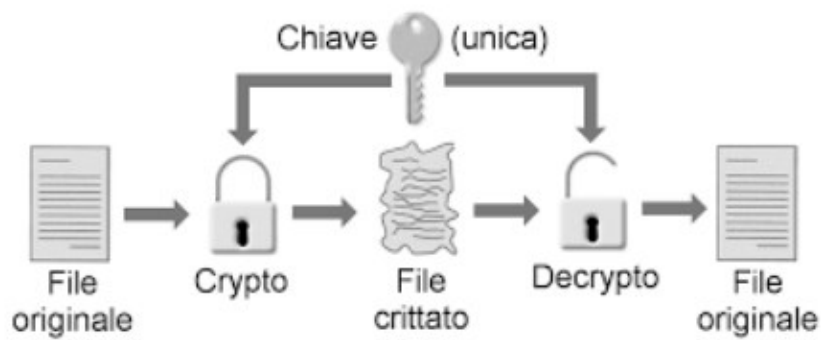


Figura 1.1 – Crittografia Simmetrica
 (Sito: Weturtle, Introduzione alla Crittografia)

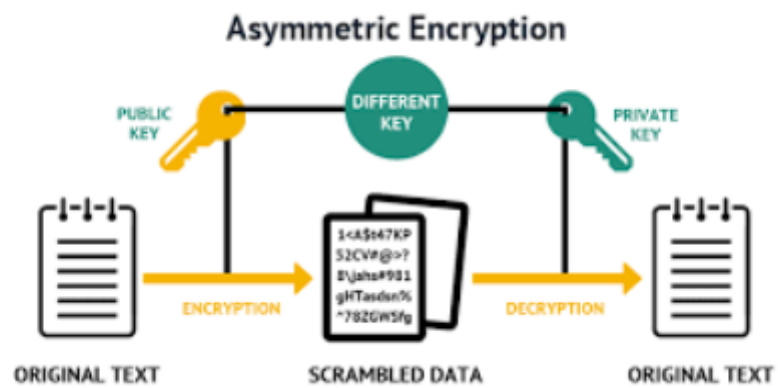


Figura 1.2 – Crittografia asimmetrica
 (Sito: Weturtle, Introduzione alla Crittografia)

I dati crittografati con la chiave pubblica del destinatario possono essere decifrati solo con la corrispondente chiave privata.

1.4 Componenti di base e funzionamento della Blockchain

Una generica rete Blockchain è costituita dai seguenti componenti che ne garantiscono il funzionamento e la sicurezza:

- **Nodi:** sono i partecipanti alla rete e sono costituiti fisicamente dai server di ciascun partecipante.
- **Transazione:** è costituita dai dati che rappresentano i valori oggetto di “scambio” e che necessitano di essere verificati, approvati e poi archiviati.
- **Blocco:** è rappresentato dal raggruppamento di un insieme di transazioni che sono unite per essere verificate, approvate e poi archiviate dai partecipanti alla Blockchain.
- **Ledger:** è il registro pubblico nel quale vengono “annotare” con la massima trasparenza e in modo immutabile tutte le transazioni effettuate in modo ordinato e sequenziale. Il Ledger è costituito dall’insieme dei blocchi che sono tra loro incatenati tramite una funzione di crittografia e grazie all’uso della funzione di *hash*.
- **Hash:** è una operazione (non invertibile) che permette di mappare una stringa di testo e/o numerica di lunghezza variabile in una stringa unica ed univoca di lunghezza determinata. L’Hash identifica in modo univoco e sicuro ciascun blocco. Un hash non deve permettere di risalire al testo che lo ha generato, in questo modo garantisce l’integrità del messaggio.

Ciascun blocco contiene dunque le diverse transazioni e dispone di un Hash collocato nell’*header*. L’Hash registra tutte le informazioni relative al blocco, tra cui il timestamp², la versione del blocco e le informazioni relative al blocco precedente permette di creare la catena e di legare i blocchi stessi. La transazione contiene invece informazioni relative all’indirizzo pubblico del ricevente, le caratteristiche della transazione e la firma crittografica che ne garantisce sicurezza e autenticità.

Il meccanismo di transazione può essere suddiviso nelle seguenti cinque fasi:

1. **Transaction Definition:** il mittente genera la transazione specificando i dettagli della chiave pubblica del ricevente e il valore della transazione. Inoltre, questa transazione deve essere autorizzata con la firma digitale crittografica del mittente, che verifica che la transazione sia valida e sicura.
2. **Transaction Authentication:** una volta inviata alla rete, la transazione è ricevuta dai nodi, i quali la autenticano decriptando la firma digitale. Questa transazione attende in un pool di transazioni sospese finché un blocco non viene creato.
3. **Block Creation:** ogni nodo della rete prende in carico la transazione combinandola con altre transazioni in attesa e creando un blocco; in seguito, ogni nodo lavora per

² Timestamp: Una marca temporale è una sequenza di caratteri che rappresentano una data e/o un orario per accertare l’effettivo avvenimento di un certo evento; è il risultato di una specifica procedura informatica che si traduce nella creazione di una sequenza di caratteri e genera la cosiddetta impronta digitale hash.

risolvere il proof of work relativo al proprio blocco e, una volta risolto, lo trasmettono a tutti gli altri nodi.

4. Block Validation: i nodi incaricati di validare il blocco ricevuto lo accettano solo se tutte le transazioni in esso sono valide e non sono già state spese.
5. Block Chain: dopo che ogni transazione registrata in un blocco è stata accettata, il nuovo blocco è collegato all'ultimo blocco della catena. La versione aggiornata della catena viene quindi inviata alla rete, che la accetta come la versione aggiornata sulla quale futuri blocchi verranno registrati. I nodi esprimono l'accettazione del blocco mediante il tentativo di creare il prossimo blocco della catena, utilizzando l'hash del blocco accettato come hash precedente.

La blockchain è organizzata per aggiornarsi automaticamente su ciascuno dei nodi che partecipano alla rete e questo rende praticamente nulla la possibilità di violazione del sistema. Ogni operazione effettuata deve essere confermata automaticamente da tutti i singoli nodi attraverso software di crittografia, che verificano un pacchetto di dati definiti a chiave privata, il quale viene poi utilizzato per firmare le transazioni garantendo così l'identità digitale di chi le ha autorizzate.

1.4.1 Meccanismi di Consenso

La blockchain è un sistema che utilizza la crittografia per rendere sicure le transazioni, di conseguenza si ha una ridefinizione del ruolo dell'intermediario come garante della validità del sistema in quanto il sistema non è più centralizzato. La fiducia ora si basa sul meccanismo del consenso, processo nel quale la maggioranza dei validatori della rete (o in molti casi anche tutti) giungono ad un accordo riguardo lo stato del registro.

Ci sono molteplici meccanismi di consenso che sono stati sviluppati negli ultimi anni. Gli elementi principali di un meccanismo di consenso sono:

- Struttura decentralizzata: nessuna autorità centrale può finalizzare processi o transazioni
- Quorum: i nodi scambiano messaggi tramite un set predefinito di passaggi
- Autenticazione: questo protocollo serve a verificare l'identità dei partecipanti
- Integrità: rafforza la validazione e verifica dell'integrità del processo
- Non ripudio: serve per verificare che il mittente abbia effettivamente inviato il messaggio
- Privacy: questo protocollo assicura che solo gli effettivi destinatari di un messaggio ne abbiano accesso
- Tolleranza all'errore: configurazione della rete che assicura che l'efficienza e la velocità delle operazioni non siano compromesse dal fallimento di singoli nodi o server.

Tra i numerosi meccanismi di consenso che si utilizzano per validare le transazioni si hanno: Proof of Work, Proof of Stake e Proof of Authority.

Proof of Work

Il Proof of Work si basa sul meccanismo della “catena più lunga”, dove la catena con il maggiore “proof of work” è definita come quella valida e sicura. La validazione consiste in un problema matematico di cui i *miners* devono trovare la soluzione, e una volta determinata la soluzione viene verificata da tutti i nodi della rete e se corretta viene allegata alla rete e il miner viene premiato con una determinata quantità di bitcoin. Questo meccanismo, tuttavia presenta delle limitazioni in termini di scalabilità, flessibilità, riservatezza ma soprattutto bassa efficienza energetica.

Il fatto di risolvere un problema computazionale matematico per collegare l’hash relativo alla transazione con quello dell’ultimo blocco registrato sulla blockchain è un processo computazionale che deve essere supportato da hardware molto potenti, che pertanto saranno estremamente energivori. Moltiplicando l’energia consumata per una singola transazione per il totale delle transazioni richieste al secondo, si avrà una grande richiesta di energia sia elettrica che di calcolo.

Proof of Stake

Il Proof of Stake rappresenta un’alternativa al Proof of Work in quanto il processo computazionale risulta essere più efficiente. In questo meccanismo, i miners (gli stakeholders) sono responsabili dell'autenticità del blocco con una parte del loro patrimonio. I blocchi sono generati in modo simile al PoW ma la procedura di hashing in questo caso avviene in uno spazio di ricerca limitato, invece dello spazio illimitato del PoW. In questo modo la transazione può essere processata in minor tempo e il sistema sarà più veloce e meno energivoro. Poiché non è necessario risolvere problemi matematici complessi, questo algoritmo è molto più efficiente dal punto di vista energetico e della scalabilità. Ciò significa che la rete è più economica da gestire, si incorre tuttavia in limiti di sicurezza e di centralizzazione della rete rispetto all'algoritmo Proof of Work, questo perché la probabilità che un miner sia scelto per la creazione di un blocco dipende dalla quantità di “monete” (stake) da esso possedute e non dal potere computazionale fornito.

Proof of Authority

Tale meccanismo risulta essere adeguato alla gestione trasparente delle informazioni aziendali in particolare nella gestione della supply chain e della logistica. Tale meccanismo è progettato per essere una soluzione pratica ed efficiente in termini energetici, rivolta soprattutto alle blockchain private. Questo protocollo di consenso ha una marcata differenza rispetto al Proof of Work e Proof of Stake: si utilizzano le identità reali per consentire la convalida all'interno della rete blockchain. Ciò significa che i validatori mettono la loro vera identità e reputazione come garanzia di trasparenza del sistema. Un processo che include una selezione arbitraria dei validatori di fiducia cioè, affinché il sistema funzioni i validatori vengono scelti in modo casuale.

La Proof of Authority fa uso di identità e reputazione per la seguente ragione: l'identità di una persona o di un'istituzione è rara e la reputazione della stessa è molto preziosa. Il suo utilizzo all'interno del protocollo significa che il *validator* rende pubbliche queste informazioni in modo tale da garantire il funzionamento della rete blockchain. Qualsiasi atto che minacci l'affidabilità e la trasparenza della rete ricade direttamente su quella persona o istituzione.

In questo modo, i validatori si prenderanno cura della propria reputazione e identità. Ed è per questo motivo che garantiranno il corretto funzionamento, la trasparenza e l'affidabilità del sistema. In questo senso, l'identità messa in gioco può servire da grande equalizzatore, compreso e valorizzato da tutti gli attori. Le persone o le istituzioni la cui identità è in gioco si sentiranno incoraggiate a preservare la rete.

Inoltre, la PoA si basa su un numero limitato di validatori e questa peculiarità offre un chiaro vantaggio: l'elevata scalabilità della blockchain. Che ha un impatto positivo nelle applicazioni in cui la velocità è fondamentale. Inoltre, mantiene un alto livello di controllo degli accessi a detta blockchain, poiché possono partecipare solo i nodi con autorizzazione.

1.5 Tipologie di Blockchain

A seconda degli ambiti di applicazione si possono avere due tipologie differenti di blockchain: permissionless ledger (blockchain pubbliche) e permissioned ledger (blockchain private).

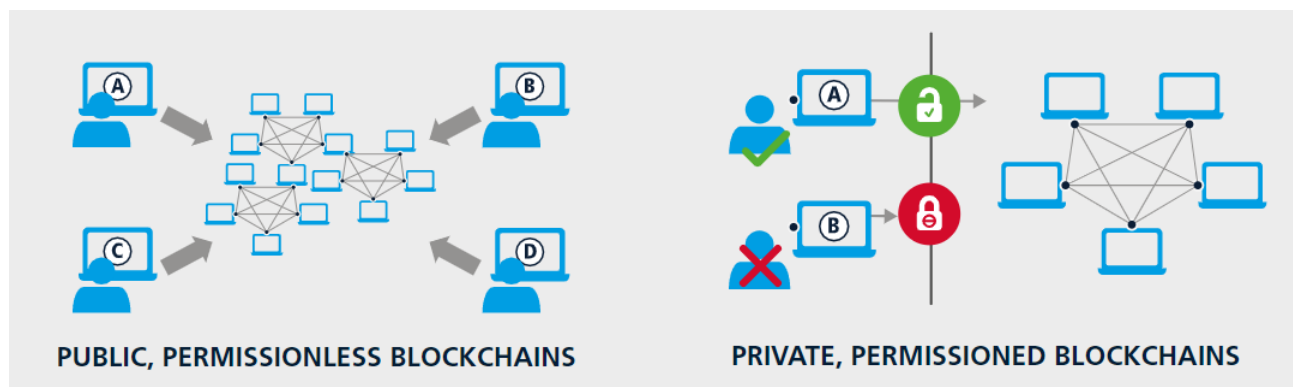


Figura 1.3 – Tipologie di blockchain

(Sito: DHL, Blockchain trend report)

1.5.1 Permissionless Ledger

Si tratta di blockchain aperte che non hanno una “proprietà” o un attore di riferimento e sono concepite per non essere controllate. L’obiettivo è quello di permettere a ciascuno di contribuire all’aggiornamento dei dati sul ledger e di disporre, in qualità di partecipante, di

tutte le copie immutabili di tutte le operazioni. Ovvero di disporre di tutte le copie identiche di tutto quanto viene approvato grazie al consenso.

Questo modello di blockchain impedisce ogni forma di censura, nessuno è nella condizione di impedire che una transazione possa avvenire e che possa essere aggiunta al ledger una volta che ha ottenuto il consenso necessario tra tutti i nodi (partecipanti) alla blockchain.

Le permissionless ledger possono essere utilizzate come database globale per tutti quei documenti che hanno la necessità di essere assolutamente immutabili nel tempo. Gli esempi più noti di Blockchain pubblica sono Bitcoin ed Ethereum.

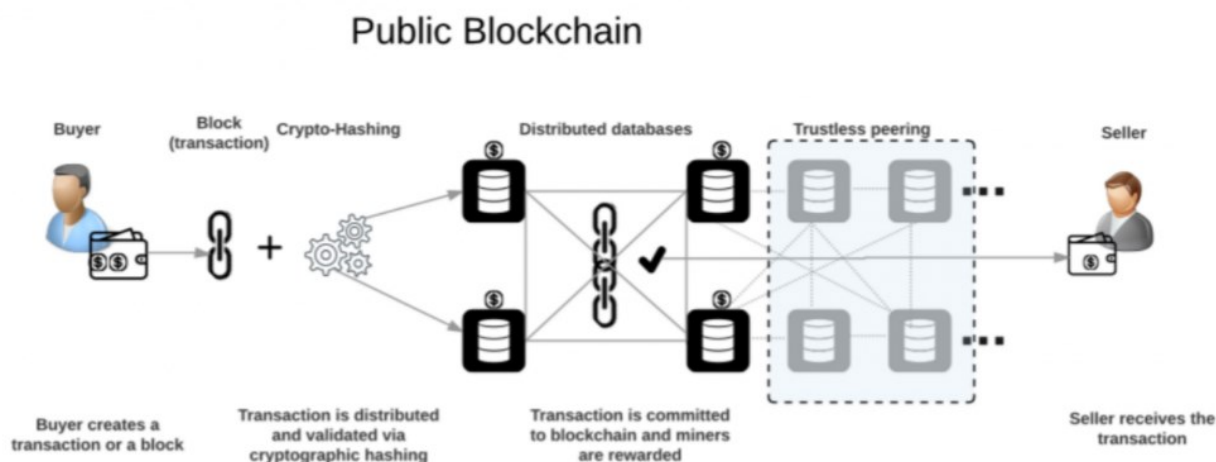


Figura 1.4 – Come avvengono le transazioni all’interno di una blockchain pubblica (Sito: Spindox, Classificazione delle blockchain)

1.5.2 Bitcoin

Bitcoin rappresenta la prima vera applicazione della tecnologia Blockchain, si tratta di una valuta digitale decentralizzata che consente pagamenti istantanei a chiunque, in qualsiasi parte del mondo. Bitcoin utilizza la tecnologia peer-to-peer per operare senza un'autorità centrale in quanto la gestione delle transazioni e l'emissione di denaro vengono eseguite collettivamente dalla rete.

Bitcoin rappresenta una delle prime implementazioni del concetto di criptovaluta, si basa su un protocollo open source basato sulla blockchain sviluppato da Satoshi Nakamoto³ che nel 2008 ne rilasciò il *whitepaper*: “*Bitcoin: a peer to peer cash system*” in cui ne viene descritto tecnicamente il funzionamento.

³ Satoshi Nakamoto: si tratta di uno pseudonimo in quanto la vera identità del creatore o del gruppo di creatori della criptovaluta Bitcoin è ad oggi ignota.

Come avvengono le transazioni

Le transazioni all'interno della rete Bitcoin sono basate non più sulla fiducia verso terze parti, ma sulla crittografia come descritto precedentemente, di conseguenza non è più necessaria la presenza di un intermediario (es. banca, istituzione finanziaria) in una transazione.

Per poter effettuare una transazione serve l'indirizzo del portafoglio che deve ricevere i bitcoin, il cosiddetto wallet⁴ nel quale sarà contenuta una chiave che serve per firmare le transazioni e fornire una prova crittografica della loro provenienza. A questo punto per inviare bitcoin bisogna firmare digitalmente l'hash della precedente transazione e aggiungere la chiave pubblica del nuovo proprietario.

La transazione passa poi nel network Bitcoin in attesa che i nodi validino le firme crittografiche e confermino la transazione che una volta confermata diventa irreversibile, pubblica e pseudonima.

Caratteristiche principali

Bitcoin ha una serie di caratteristiche che lo rendono innovativo rispetto alle tradizionali valute e reti di transazione:

- **Decentralizzazione:** il sistema non è governato da un'autorità centrale (banca, istituzione o società), non essendoci terze parti coinvolte nelle transazioni e nella gestione dei flussi non ci sono commissioni da pagare.
- **Sicurezza:** la crittografia e la matematica che ne stanno alla base ne garantiscono l'estrema affidabilità in quanto nessuno può prelevare denaro senza l'autorizzazione del possessore dei bitcoin.
- **Trasparenza:** ogni transazione che avviene rimane memorizzata all'interno della blockchain in modo immutabile, chiunque è in grado di vedere qualsiasi transazione di bitcoin effettuata, quindi scoprendone la provenienza, certificarne l'esistenza e associarne la proprietà ad un utente identificato con uno pseudonimo (tuttavia non con l'identità anagrafica)
- **Velocità:** la transazione avviene in pochi minuti, generalmente il tempo che ci impiegano i partecipanti alla rete (nodi) a validare le firme crittografiche e confermare la transazione

1.5.3 Ethereum

Se la blockchain di Bitcoin mira a decentralizzare e ridisegnare il sistema bancario ed il sistema delle transazioni, quella di Ethereum ha l'obiettivo di utilizzare una blockchain per sostituire le terze parti di Internet: quelle che memorizzano i dati (a titolo di esempio Google, Facebook, Amazon ecc).

⁴ *Wallet*: termine che indica un prodotto o servizio utilizzato per conservare le chiavi private di una o più criptovalute, molti wallet consentono anche di effettuare transazioni per l'invio o la ricezione di criptovalute.

Ethereum nasce nel 2013 per opera di Vitalik Buterin⁵ e può essere definita come un *planetary scale computer*, si passa dal concetto di distributed ledger a quello di distributed computing. Si tratta di un “computer mondiale-virtuale” che punta a decentralizzare il modello client-server esistente ed è composto da tutti i computer connessi alla rete Ethereum ma è allo stesso tempo autonomo da essi. Ethereum è la prima piattaforma a sfruttare il potenziale della tecnologia blockchain oltre il puro scambio di valute digitali.

In particolare, Ethereum è una *programmable blockchain* ovvero, non si limita a mettere a disposizione operations predefinite e standardizzate, ma permette agli utenti di crearne delle proprie e di sviluppare diverse tipologie di applicazioni blockchain decentralizzate, le cosiddette DApps⁶.

1.5.4 Permissioned Ledger

Si tratta di blockchain private che possono invece essere controllate e dunque possono avere una “proprietà”. Quando un nuovo dato o record viene aggiunto, il sistema di approvazione non è vincolato alla maggioranza dei partecipanti alla blockchain bensì a un numero limitato di attori che sono definibili come trusted.

Questo tipo di blockchain possono essere utilizzate da istituzioni, grandi imprese che devono gestire filiere con una serie di attori, imprese che devono gestire fornitori e subfornitori, banche, società di servizi ed operatori nell’ambito del retail. In questo caso le permissioned ledger rispondono alle necessità di un aggiornamento diffuso su più attori che possono operare in modo indipendente, ma con un controllo limitato a coloro che sono autorizzati, inoltre permettono di definire speciali regole per l’accesso e la visibilità di tutti i dati.

In altri termini, le permissioned ledger introducono nella blockchain il concetto di governance ovvero una definizione di regole di comportamento e vengono definite come “blockchain appartenenti ad un consorzio”. Esempi di blockchain private sono Multichain, Hyperledger e Trustchain.

- Multichain: piattaforma standard per la creazione e l'implementazione di blockchain private all'interno o tra più organizzazioni. Essa supporta server Windows, Linux e Mac e fornisce una semplice interfaccia a riga di comando.
- Hyperledger: piattaforma nata nel 2015 da Linux Foundation da uno sforzo collaborativo che mira a identificare applicazioni *blockchain based* in grado di assistere le aziende in ambito industriale. Il focus è la creazione di uno standard open source che permetta di trasformare le transazioni di business.
- Trustchain: Trustchain è una piattaforma basata sulla tecnologia blockchain per la supply chain, che viene utilizzata per affrontare problemi di fiducia legati alla qualità

⁵ Vitalik Buterin: è uno sviluppatore di origine russe cresciuto in Canada, egli raccolse le caratteristiche principali della piattaforma Ethereum in un whitepaper nel 2013 e, successivamente ne pubblicò ulteriori specifiche nel 2014. Di fatto una prima versione della piattaforma viene rilasciata il 30 Luglio 2015.

⁶ DApps: Decentralized Applications, si tratta di applicazioni informatiche operanti nel contesto di una blockchain decentralizzata.

delle materie prime. Trustchain fa uso della blockchain permissioned per monitorare le diverse interazioni tra i partner della catena di approvvigionamento e assegna in modo dinamico sia un punteggio di reputazione che un punteggio di fiducia in base alle interazioni stesse da parte degli attori della filiera.

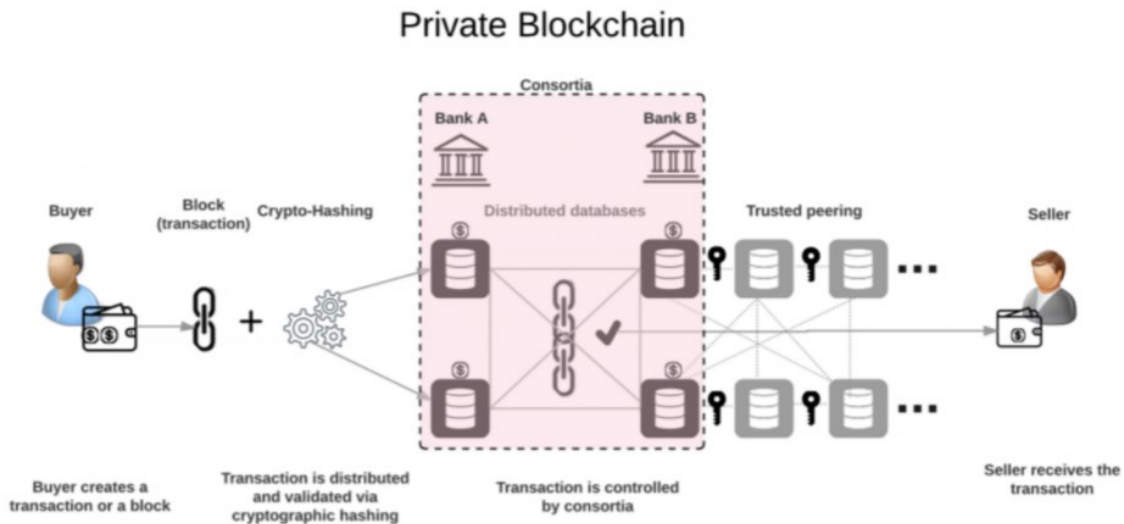


Figura 1.5 – Come avvengono le transazioni all'interno di una blockchain privata (Sito: Spindox, Classificazione delle blockchain)

1.5.5 Elementi fondamentali della blockchain privata

Per sviluppare le blockchain private vanno implementati quattro elementi fondamentali: infrastruttura, governance, applicazioni ed ecosistema.

Infrastruttura

L'infrastruttura è costituita da reti e da nodi, il suo ruolo all'interno di una blockchain privata è fondamentale in quanto le permissioned ledger devono poter contare su reti private, chiuse, affidabili e ampiamente testate. La sicurezza di queste soluzioni è direttamente legata alla capacità di garantire l'impenetrabilità della rete da parte di soggetti che non siano autorizzati.

Governance

La blockchain privata è basata su un insieme di regole condivise da tutti gli attori. Le regole sono parte stessa dello sviluppo di tale blockchain e per attuarla è necessario lavorare in fase di ideazione e progettazione sia sull'infrastruttura, sia sulle logiche applicative.

La Governance, quindi è parte integrante del processo progettuale e rappresenta la base sulla quale vengono poi attuate le attività di produzione come un insieme di regole che permettono prima di tutto di garantire l'assoluta sicurezza della blockchain per tutti gli attori e naturalmente il raggiungimento degli obiettivi di business delle imprese e delle organizzazioni che saranno chiamate a utilizzarla.

Applicazioni

Lo sviluppo di applicazioni prevede che le imprese, le software house, i system integrator e gli application provider che creano soluzioni per le blockchain private siano chiamati a lavorare in forma di partnership rigorosamente stretta e controllata con i fornitori di infrastrutture. La componente applicativa nelle blockchain private è strettamente legata alle logiche tecnologiche e di governance definite dalle imprese concentrare sull'infrastruttura.

Ecosistema

Creare un ecosistema per le blockchain private significa che queste siano popolate da una serie di attori che devono condividere in modo rigoroso gli stessi valori e le stesse regole.

Il principio vale anche per le imprese che sono chiamate a fornire servizi di private blockchain sia a livello di infrastruttura, di sviluppo di applicazioni e di servizi. Tutti gli attori sono chiamati a dare vita a un ecosistema, ovvero a condividere in tutte le attività di progettazione, sviluppo, gestione le regole di Governance che poi vanno attuate con le imprese che utilizzeranno la blockchain.

1.6 Smart Contracts

Gli smart contracts, o contratti intelligenti, sono stati oggetto di sperimentazione già negli anni Novanta⁷ ma è proprio grazie alla blockchain e alle sue caratteristiche di fiducia e sicurezza che questi tipi di contratto trovano una loro dimensione e utilità in questo millennio senza ricorrere a una terza parte fiduciaria.

⁷ Nick Szabo un informatico americano, inventò una valuta virtuale chiamata "Bit Gold" nel 1998, e definì i contratti intelligenti come protocolli di transazione computerizzati che eseguono i termini di un contratto.

1.6.1 Definizione

Lo 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 eseguire 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.

Per la corretta stesura degli Smart Contracts è necessario un supporto legale (avvocato, giudice o notaio), ma non ne ha bisogno per la sua verifica e per la sua attivazione in quanto verrà trasformato in *smart* da un programmatore.

Con la pubblicazione del whitepaper di Ethereum, vennero gettate le basi della piattaforma di riferimento per lo sviluppo degli smart contract su blockchain, che fornisce una struttura vera e propria che rende immutabile il codice dello smart contract, le condizioni prestabilite dal contratto e, soprattutto i dati che determinano le seguenti azioni. Se tutto ciò non fosse immutabile, trasparente, certificato e tracciato, non ci si potrebbe minimamente fidare di tale strumento.

1.6.2 Funzionamento

Per attivare l'esecuzione automatica di una funzione, lo smart contract utilizza i cosiddetti *oracoli* per ricevere informazioni dal mondo esterno.

Un oracolo fornisce i dati dal mondo esterno allo smart contract presente sulla rete blockchain (inbound oracle) oppure consente agli smart contract di inviare dati al mondo esterno (outbound oracle).

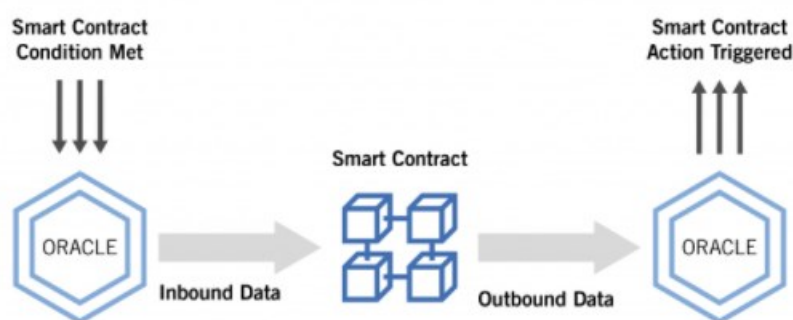


Figura 1.6 – Processamento dello smart contract con dati in entrata e in uscita
(Sito: JDSupra, Smart supply chains using smart contract)

Gli oracoli si suddividono nelle seguenti tipologie:

- Oracolo software: collega gli smart contracts a fonti di dati online, come dati meteorologici, prezzi delle materie prime e ritardi nei trasporti.
- Oracolo hardware: apparecchiature che comunicano informazioni del mondo reale allo smart contract. Un esempio sono i sensori RFID che possono rilevare i cambiamenti ambientali che collegandoli alla blockchain attivano un determinato smart contract.
- Oracoli umani: le persone agiscono come oracoli quando forniscono informazioni del mondo reale a un contratto intelligente, spesso mediante crittografia per garantire che l'individuo corretto fornisca le informazioni. Un approccio legato agli oracoli umani è l'utilizzo di un protocollo di consenso, ovvero che diverse persone votano l'input da fornire all'oracolo. Importante precisare che questa tipologia di oracolo è soggetta a potenziale errore umano. Risulta comunque utile scegliere di utilizzare un oracolo umano quando una certa decisione richiede un grado di soggettività oppure quando la natura dell'evento scatenante rende difficile il monitoraggio continuo.

Nel caso specifico della supply chain è possibile usare una combinazione delle tipologie di oracoli per rafforzare l'affidabilità del sistema. L'applicazione degli smart contracts rappresenta un ruolo centrale negli impieghi della Blockchain nella supply chain. L'applicazione di tali strumenti verrà spiegata con maggior dettaglio nei capitoli seguenti della presente Tesi.

1.7 Ambiti applicativi della Blockchain

Grazie alle diverse caratteristiche uniche la tecnologia blockchain ha rapidamente guadagnato popolarità oltre le criptovalute. A conclusione del primo capitolo della presente tesi vengono discussi gli ambiti che possono godere dei potenziali benefici che può portare tale tecnologia.

1. Blockchain nella finanza e sistema bancario

Blockchain è fondamentalmente un libro mastro distribuito e poiché la gestione di un libro mastro è il core business del settore bancario e finanziario, è il primo settore ad abbracciare la tecnologia. In passato nel sistema bancario tradizionale, tutte le transazioni venivano originariamente archiviate in formato fisico. Successivamente, i libri mastri fisici sono stati sostituiti attraverso la gestione digitale dei dettagli delle transazioni all'interno di un database. Tuttavia, a causa delle crescenti minacce online, un database centralizzato tradizionale è sottoposto a rischio di manipolazione e l'intero sistema è vulnerabile all'hacking. Poiché il settore bancario e finanziario è considerato

un pilastro fondamentale per lo sviluppo economico di un paese, qualsiasi interruzione o malfunzionamento di tali settori sarebbe catastrofico.

Le caratteristiche uniche della blockchain possono aiutare il settore a gestire i propri processi in modo efficiente. La verifica dei risultati finanziari, che di solito richiede giorni e settimane, può essere considerevolmente ridotta a ore grazie alla disponibilità di dati affidabili.

Pagamenti e liquidazioni automatizzati, tokenizzazione⁸ di titoli come azioni e obbligazioni, eliminazione di terze parti per un'elaborazione più rapida, sicura ed efficiente di prestiti e crediti, gestione patrimoniale infallibile, database decentralizzato per mantenere i registri dei clienti, trasferimenti di denaro internazionali sicuri ed economici e natura immutabile delle transazioni sono alcuni dei vantaggi che un sistema bancario tradizionale può ottenere adottando la blockchain.

2. Blockchain in ambito assicurativo

L'assicurativo è un altro settore chiave che coinvolge numerosi contratti sotto forma di documenti fisici distribuiti tra più parti che si traducono in un'elaborazione ritardata e un lungo ciclo di liquidazione. I contratti comportano un'ingombrante registrazione di vari dettagli come i dati personali dei clienti, gli eventuali sinistri, i premi, i rinnovi, i reclami, le indagini e gli accordi.

I dettagli della transazione possono essere archiviati in modo semplice ed efficiente in una rete blockchain che può essere utilizzata per supportare reclami rapidi, automatizzare la liquidazione dei reclami e prevenire reclami fraudolenti. Ciò può portare a una maggiore soddisfazione del cliente e ridurre i costi amministrativi per le assicurazioni.

3. Blockchain in ambito healthcare

Tradizionalmente, le cartelle cliniche dei pazienti sono archiviate in un formato fisico e la maggior parte di esse viene persa nel corso di un lungo periodo di tempo. La blockchain può fungere da sistema interoperabile e completo per registrare e gestire i dettagli delle persone estraendo automaticamente i dati dei pazienti dai medici e dalle cartelle cliniche degli ospedali e archiviandoli in una rete sicura ed immutabile sotto forma di cartelle cliniche elettroniche. Questo può facilitare anche i medici nel comprendere lo storico clinico di un paziente, potenzialmente effettuando una diagnosi migliore e per aumentare la possibilità di prevenire malattie future.

I record possono essere utilizzati anche per acquistare o rinnovare polizze assicurative e avviare richieste di risarcimento o accordi automatici. Inoltre, la tecnologia può

⁸ Tokenizzazione: trasformazione e rappresentazione di una risorsa o un oggetto all'interno di un blocco della rete blockchain; implica un processo di trasformazione che consiste nel digitalizzare un determinato oggetto e portare tutte le sue informazioni all'interno un blocco della rete blockchain. Una volta registrato il token, può essere manipolato scambiato o archiviato. La particolarità della tokenizzazione è che può essere applicata a qualsiasi tipologia di oggetto (Beni, documenti di identità, immobili, materiali industriali ecc....)

anche supportare il mantenimento di una più ampia iniziativa di gestione della salute pubblica ed eliminare la circolazione di farmaci e prodotti farmaceutici contraffatti.

4. Proprietà intellettuale e copyright management

La tecnologia blockchain può fungere da deposito digitale per mantenere la proprietà intellettuale e i certificati di diritto d'autore di individui e aziende. Attraverso gli smart contracts, i diritti IP (Intellectual Property) possono essere concessi in licenza automaticamente alle parti interessate e i dettagli delle royalty possono essere rintracciati facilmente. Ulteriori potenziali casi d'uso includono il mantenimento delle diverse versioni di un IP in un'unica posizione sicura decentralizzata, la gestione dei diritti digitali, la prova della proprietà e l'autenticazione della provenienza, la distribuzione, il tracciamento e l'approvazione automatica dei diritti IP e l'implementazione di contratti IP

5. Blockchain in ambito educativo

Gli istituti di istruzione possono utilizzare la natura immutabile della tecnologia blockchain per archiviare e tracciare digitalmente intere trascrizioni, come i registri degli studenti e del personale, il programma di studio e l'emissione di certificati e diplomi. I vari diplomi e certificati diventerebbero un record permanente a prova di manomissione nella rete blockchain dell'università che può essere facilmente visualizzato o verificato dalle altre agenzie partecipanti come università di istruzione superiore e aziende.

6. Blockchain in ambito immobiliare

I documenti di proprietà, la cronologia dei dettagli della proprietà precedente, i dettagli delle tasse pagate al governo, i documenti di approvazione della proprietà, i dettagli di affitto e mutuo possono essere tracciati in modo efficiente mantenendo tutti i record in una rete blockchain. La tecnologia può permettere che i documenti delle transazioni relative alla proprietà diventino trasparenti e affidabili, altrimenti potrebbero essere sottoposte a pratiche poco corrette.

La rimozione graduale degli intermediari, il miglioramento della trasparenza, la liquidità, la proprietà frazionata, le transazioni fraudolente, l'uso di denaro non contabilizzato e altre attività illegali comuni nel settore immobiliare possono essere eliminate mediante blockchain.

Il potenziale dell'applicazione della tecnologia blockchain è ampio e, in generale, può essere utilizzata in tutti i settori in cui sia necessaria la trasparenza e l'affidabilità dei dati. In linea con questo contesto, gli altri settori che possono realizzare i vantaggi della tecnologia blockchain includono la vendita al dettaglio, l'eCommerce, il mercato azionario, il settore dei trasporti, il settore food, settore farmaceutico, gioielleria di lusso e governance.

Capitolo 2 - Digitalizzazione della Supply Chain

Ottenere benefici in termini di costo, efficienza, tempistiche ed efficacia, rappresenta il fulcro degli obiettivi della gestione dei processi aziendali, di conseguenza il tema del Supply Chain Management va compreso e applicato nel modo più opportuno possibile. Inoltre, è importante tenere conto del livello di innovazione in quanto oggi, grazie alla rete internet e alle nuove tecnologie è possibile facilitare la condivisione delle informazioni tra i diversi attori della supply chain in modo tale da aumentare il tasso di coordinamento e di integrazione per l'ottenimento di risultati impattanti in termini di competitività nel settore di appartenenza, di performance e di miglioramento delle relazioni all'interno della catena di fornitura stessa.

2.1 Supply Chain Management

Il Supply Chain Management è la gestione delle relazioni e dei flussi tra le “catene” di operations e di processi che producono valore sotto forma di prodotti e servizi per il cliente finale.

Si tratta di un insieme di approcci caratterizzato da metodologie gestionali e soluzioni software per la gestione efficiente dell'intera catena di distribuzione con particolare attenzione alla logistica e al rapporto con i fornitori. La gestione è focalizzata sulla previsione, programmazione e coordinamento del flusso delle merci, basata sulle aspettative del cliente finale.

Una definizione esaustiva è data dal *Council of Supply Chain Management Professional*⁹:

“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, il coordinamento, 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”. (Varriale et al., 2021)

La catena di distribuzione si compone sostanzialmente, delle seguenti nove attività:

- Marketing
- Rapporti con i fornitori
- Approvvigionamenti
- Gestione e stoccaggio delle scorte di materie prime
- Produzione
- Gestione e stoccaggio dei prodotti finiti
- Gestione degli ordini di acquisto

⁹ CSCMP: è un'associazione globale leader per professionisti del supply chain management. Nata nel 1963 fornisce servizi di ricerca, consulenza, opportunità di network e risorse a scopo educativo

- Gestione delle consegne
- Logistica inversa (gestione resi)

Tali attività avvengono in un ordine preciso e prevedono due flussi in verso opposto, uno verso monte (*flusso delle informazioni*) ed uno verso valle (*flusso dei prodotti e dei servizi*):



Figura 2.1 – Anelli di attività della SC e rappresentazione dei flussi

(Sito: Mecalux, Supply chain: cos'è e come funziona la catena di approvvigionamento)

Essendo che la supply chain è costituita da più attori all'interno della catena ovvero più aziende diverse fra loro, il vantaggio competitivo non va ricercato esclusivamente nel miglioramento e snellimento dei singoli processi aziendali interni, bensì attraverso il coordinamento strutturato, l'integrazione, la visibilità e la condivisione delle informazioni attraverso l'intera supply chain in modo tale da renderla reattiva, efficiente, e in linea con le aspettative del mercato.

2.2 Obiettivi del supply chain management

L'obiettivo fondamentale del Supply Chain Management è la soddisfazione dei bisogni del cliente finale. Questo avviene attraverso il controllo delle prestazioni e il miglioramento dell'efficienza per ottimizzare il livello di servizio reso al cliente finale, razionalizzando i costi operativi e il capitale impegnato. La gestione efficiente della catena di approvvigionamento consente alle aziende di ridurre il time to market, diminuire i prezzi dei prodotti e assicurare una differenziazione rispetto ai competitor.

Risulta dunque ragionevole affermare che la supply chain rappresenta uno dei driver fondamentali su cui devono puntare le organizzazioni e le aziende per aumentare il proprio successo all'interno del proprio settore di competenza.

A questo scopo la supply chain deve raggiungere livelli opportuni su cinque obiettivi di performance (Vinelli, Danese e Romano, 2013):

- *Qualità*: funzione della performance di qualità di tutte le operations della catena, risultante in un prodotto o servizio privo di errori o incongruenze;
- *Velocità*: rapidità nel servire i clienti;
- *Affidabilità*: garanzia della consegna “puntuale” al cliente;
- *Flessibilità*: capacità della catena di adeguarsi ai cambiamenti e ai fattori di perturbazione;
- *Costo*: derivante dalle relazioni di tipo commerciale tra le operations.

Riuscire ad ottenere livelli adeguati su tali obiettivi si traduce:

- in una più precisa previsione della domanda, derivante da un’accurata comprensione delle esigenze dei consumatori;
- in una pianificazione della domanda puntuale, data dalla realizzazione di piani di azione attendibili, precisi e volti a ridurre il numero di resi;
- in un processo di trattamento degli ordini ottimizzato;
- in una migliore previsione della capacità produttiva data dall’ottimizzazione dell’utilizzo degli impianti;
- nella pianificazione dell’utilizzo delle materie prime;
- in una più efficace integrazione tra domanda e fornitura e tra produzione, logistica e marketing.

2.3 Digital Supply Chain

Grazie all’avvento di internet e alla diffusione dell’utilizzo delle ICT (Information Communication Technologies) e alla loro corretta implementazione nelle logiche e strategie aziendali è ulteriormente possibile migliorare il servizio al cliente, aumentare la velocità di comunicazione, ridurre i costi di processo e assicurare una maggiore flessibilità aziendale.

In particolare, la digitalizzazione ha reso strategico il Supply Chain Management, rendendo più facili e immediate la coordinazione, l’integrazione e la comunicazione tra i membri operanti lungo la catena di distribuzione avendo dunque ricadute importanti su (Bellini, 2021):

- **Integrazione dei dati**: in quanto l’interoperabilità dei dati permette di rendere simultanei i flussi tra tutti gli stakeholder e ridurre inutili tempi morti. Tutto questo si traduce in una maggiore capacità di soddisfare le richieste dei clienti in modo reattivo
- **Visibilità in tempo reale**: avere completa visibilità di tutto il processo permette di individuare le aree più critiche e di gestirne in anticipo le vulnerabilità e le interruzioni. In questo modo si ha la possibilità di attivarsi in anticipo, non solo nel momento in cui i processi hanno una battuta d’arresto, evitando ripercussioni anche economiche. Questo può essere garantito avendo una visibilità end-to-end dell’intera catena di fornitura in tempo reale, e ciò è possibile attraverso il digitale.

La Supply Chain tradizionale è caratterizzata da una serie di passaggi in gran parte discreti e isolati passando attraverso il marketing, lo sviluppo del prodotto, la produzione, la distribuzione e infine, nelle mani del cliente. La digitalizzazione abbatte le barriere presenti tra le diverse fasi e la catena diventa un ecosistema completamente integrato che è completamente trasparente a tutti gli attori coinvolti: dai fornitori di materie prime, componenti e parti, ai trasportatori di tali forniture e prodotti finiti, e infine ai clienti che devono essere soddisfatti. Per realizzare ciò risulta fondamentale la presenza dei seguenti otto elementi chiave:

- Integrazione tra pianificazione ed esecuzione
- Visibilità della logistica
- Procurement 4.0
- Smart warehousing
- Gestione efficiente delle parti di ricambio
- Logistica autonoma e B2C
- Analisi prescrittiva della Supply Chain
- Abilitatori della digital supply chain

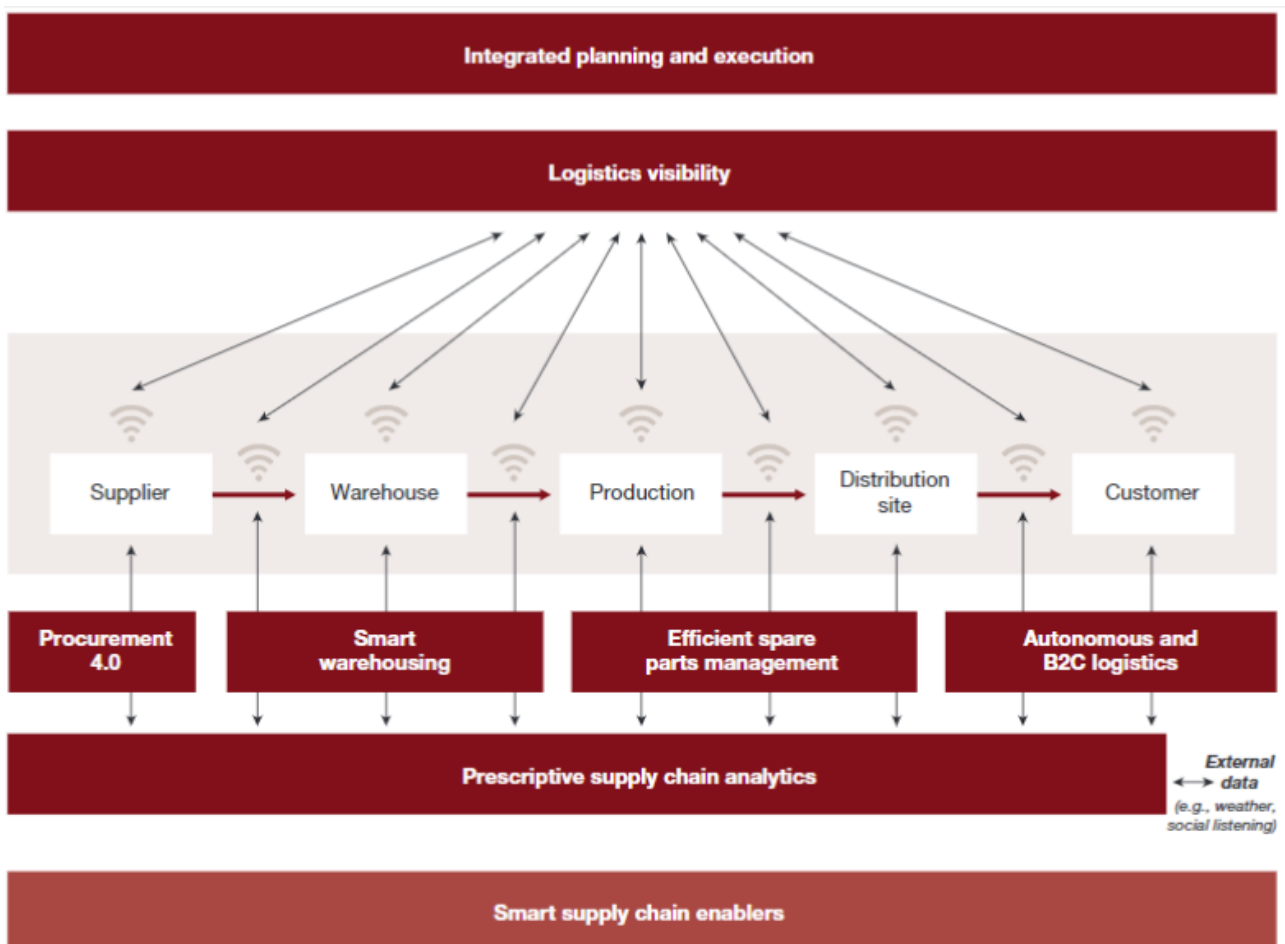


Figura 2.2 – Elementi chiave di una digital SC

(Sito: PWC, Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused)

Riuscire a sviluppare questi elementi chiave in un insieme coerente e completamente trasparente per un'azienda si traduce in enormi vantaggi in una visione più ampia di miglioramento della supply chain in termini di servizio clienti, flessibilità, efficienza e riduzione dei costi (Bertramm e Schrauff, 2016).

2.4 Software per il supporto del Supply Chain Management

È possibile ricondurre i diversi software per la gestione della Supply Chain a livello di singola azienda alle seguenti categorie:

- Enterprise Resource Planning: l'ERP consente di centralizzare la raccolta dei dati provenienti da tutte le aree aziendali. Messa a sistema, i flussi di lavoro risultano così razionalizzati e ottimizzati, favorendo un'integrazione virtuosa tra tutte le LOB (Linee of Business) ma anche una nuova efficienza operativa. I vantaggi, oltre a un'armonizzazione delle procedure e a un forte coordinamento di ogni processo, è che grazie a un ERP si possono eliminare tutti i problemi legati alla duplicazione e al disallineamento delle informazioni. Avere un database condiviso, completo e capace di aggiornarsi in tempo reale ogni volta che un utente di qualsiasi reparto e livello gerarchico compie un'operazione all'interno del sistema, infatti, è un grosso valore aggiunto per tutte le imprese.
- Warehouse Management System: il WMS è una soluzione software che offre visibilità sull'intero inventario di un'azienda e gestisce le operazioni di adempimento della Supply Chain dal centro di distribuzione allo scaffale del negozio. Tale soluzione consente inoltre alle aziende di massimizzare l'utilizzo dello spazio e degli investimenti in attrezzature coordinando e ottimizzando l'utilizzo delle risorse e dei flussi di materiale. Nello specifico, i sistemi WMS sono progettati per supportare le esigenze di un'intera catena di approvvigionamento globale, comprese le attività di distribuzione e produzione ad alta intensità di risorse e di servizi.
- Procurement: il software di approvvigionamento fornisce una serie di strumenti per supportare l'acquisto di beni e servizi da parte di un'azienda. Il fatto di digitalizzare questo processo garantisce i seguenti benefici: trasparenza attraverso l'impresa, riduzione dei costi, miglioramento dell'efficienza operativa, workflow standardizzato e digitalizzazione di cataloghi.
- Transportation Management System: sono soluzioni software che vengono progettate per supportare gli addetti alle spedizioni consentendo riduzione di costi,

ottimizzazione dei livelli di servizio, automatizzazione dei processi ed esecuzione dei processi di logistica nel modo più efficiente.

Tali software garantiscono: una pianificazione operativa della logistica, una gestione dei trasporti attraverso una intelligence (dashboard che permette di dettagliare i dati e le metriche sui trasporti), una gestione efficiente della flotta, la fatturazione e il pagamento dei trasporti automatizzata e infine visibilità su articoli, ordini e spedizioni per offrire un servizio di livello superiore e pianificare con maggiore sicurezza.

- *Manufacturing Execution System*: Il MES, letteralmente, il “Sistema di esecuzione della produzione” è un software che controlla e gestisce la produzione di un’azienda in modo automatizzato e integrato. Dall’ingresso delle materie prime al prodotto finito consente di monitorare e misurare nel dettaglio i costi di produzione di ogni singolo pezzo, i consumi delle risorse e le condizioni delle macchine impegnate nei processi.

Inoltre, il software aiuta a raggiungere gli obiettivi aziendali individuati dalla pianificazione strategica: in base alla tipologia di sistema produttivo, identifica e riduce colli di bottiglia, lavorazioni critiche, vincoli nella relazione macchine-operatori. Ottimizza la dimensione dei volumi richiesti e prodotti, quindi stabilizza il mix di produzione e riduce il tempo di consegna.

Tra le funzioni e caratteristiche principali abbiamo la raccolta e l’elaborazione dei dati, il controllo di produzione, la tracciabilità di prodotto e il controllo qualità.

Queste descritte rappresentano le soluzioni software scelte all’interno della Supply Chain che, applicate integralmente ottimizzano i flussi di prodotti, di informazioni e il flusso finanziario per la singola organizzazione.

2.5 Tecnologie a supporto della Supply Chain

Come spiegato precedentemente i software del Supply Chain Management consentono di migliorare la gestione del magazzino, tracciare il movimento delle merci e fornire informazioni e *analytics* a supporto delle decisioni permettendo una più accurata previsione della domanda e delle vendite.

Le Supply Chain moderne necessitano di costante ricerca e miglioramento per soddisfare l’elevata domanda all’interno del mercato competitivo globale, sotto questo punto di vista è possibile affermare che la rapida evoluzione tecnologica mondiale ha aperto una nuova ondata di possibilità a livello di automatizzazione e digitalizzazione nei settori industriali, sotto il nome di *Industria 4.0*, grazie alla quale numerosi modelli di business sono stati trasformati in nuovi ecosistemi digitali.

L'industria 4.0 contiene un insieme di diverse tecnologie, definite *smart technologies*, definite da una serie di caratteristiche chiave che rendono possibile l'interconnettività dei dispositivi e dei sistemi software di un'azienda, in particolare:

- *Comunicabilità*: capacità dei dispositivi o dei sistemi di interagire tra di loro in modo tale da potersi inviare dati e informazioni;
- *Programmabilità*: possibilità dei sistemi di eseguire funzioni differenti con maggiore flessibilità;
- *Associabilità*: possibilità dei dispositivi di essere associati ad altre entità quali persone, luoghi e dispositivi stessi;
- *Indirizzabilità*: identificazione di un unico dispositivo;
- *Memorizzabilità*: capacità dei sistemi di raccogliere e salvare dati e informazioni.

Avere un set di tecnologie operative che provvedono a fornire un alto livello di servizio, dove il cliente può ricevere il prodotto di cui necessita ad un prezzo soddisfacente e con una consegna puntuale è chiaramente in lineo con gli obiettivi chiave del Supply Chain Management, che è possibile raggiungere attraverso investimenti nella digitalizzazione e focalizzando le iniziative della Supply Chain su obiettivi specifici che fanno parte di una strategia aziendale di lungo termine di aumento della competitività.

2.6 Soluzioni 4.0 all'interno della Supply Chain

L'Industria 4.0 svolge un ruolo fondamentale nella gestione della catena di approvvigionamento e richiede ricerca, innovazione e miglioramenti costanti vista l'elevata domanda per soddisfare i mercati competitivi globali. In particolare, gli ambiti tecnologici che caratterizzano l'industria 4.0 sono: big data e analytics, internet of things (IoT), robotica e automazione, cloud computing e stampa 3D (Menon e Shah, 2019).

2.6.1 Big Data e Analytics

Uno degli obiettivi principali di tale tecnologia è di massimizzare l'utilizzo dei dati per il miglioramento della produttività fornendo "*l'informazione corretta, per il giusto user al momento giusto*" dove l'analytics permette di ottenere elevate *insights* e maggiore visibilità all'interno della Supply Chain.

Big Data Analytics definisce l'insieme di processi per esaminare e analizzare un'elevata quantità di dati di variabili diverse e trarre delle conclusioni attraverso la determinazione delle tendenze future, di pattern, di correlazioni e di altre informazioni di valore a livello di business per aumentare l'efficienza operativa e per esplorare nuovi mercati e opportunità.

L'applicazione del big data analytics nella Supply Chain include le seguenti aree: strategie di approvvigionamento, supply chain network design, sviluppo e design del prodotto,

pianificazione della domanda, pianificazione della produzione, gestione del magazzino, logistica, sostenibilità e agilità della supply chain.

Esistono 4 tipologie di Supply Chain Analytics:

- descriptive analytics che garantisce visibilità;
- predictive analytics, per avere una proiezione dei trend;
- prescriptive analytics, per la risoluzione dei problemi;
- cognitive analytics, per rispondere alle domande imitando il ragionamento umano.

Il miglioramento del big data analytics può avere un grande impatto a livello delle performance dell'organizzazione attraverso la creazione di nuovi prodotti e servizi, fornendo un miglior customer service, incrementando le vendite e i ricavi e attraverso l'espansione in nuovi mercati globali.

2.6.2 Internet of Things

L'IoT rappresenta una delle più recenti tecnologie che consente di portare elevati livelli di comunicazione ed efficienza nella Supply Chain. L'IoT permette di determinare la posizione esatta degli articoli in tempo reale, il movimento e monitorarne le condizioni di conservazione, trasformando il monitoraggio dell'inventario e la gestione del magazzino nel suo complesso.

In particolare, grazie alla tecnologia RFID¹⁰ è possibile tracciare in ogni momento la posizione esatta delle merci e condividere le comunicazioni tra i canali della catena tempestivamente grazie al trasferimento radio dei dati. I dispositivi smart consentono la raccolta e l'analisi di una grande quantità di informazioni, tra cui dati di natura statistica e avvisi di possibili guasti interni che possono richiedere un intervento immediato.

Il risultato che consegue da questa tipologia di tecnologia è la riduzione del tempo che intercorre tra l'analisi delle informazioni e il processo di decision making il che permette alle operations della Supply Chain di raggiungere elevati livelli di reattività ed efficienza mai sperimentati prima.

2.6.3 Cloud Computing

La tecnologia del cloud computing è composta da sistemi strutturali che permettono un accesso a un insieme di risorse programmabili allocate sulla rete Internet, tipicamente costituite da un ampio livello di servizi che possono essere messi a punto con un ridotto tasso di gestione da parte dell'azienda che ne usufruisce.

¹⁰ **RFID**: Radio Frequency Identification è la tecnologia di identificazione automatica basata sulla propagazione nell'aria di onde elettro-magnetiche, consentendo la rilevazione univoca, automatica (hand free), massiva e a distanza di oggetti, animali e persone sia statici che in movimento. L'RFID interviene a monte della filiera del dato, acquisendolo con peculiarità tecniche e quindi prestazionali uniche, così da diventare l'abilitatore dell'infrastruttura IoT, per l'interconnessione di persone, oggetti, servizi e processi.

Il cloud computing consente di integrare più piattaforme, adottare un approccio scalabile delle soluzioni, rendere disponibili le informazioni e i dati su richiesta tutto ciò bypassando la logica di gestione dei silos informatici. Questo consente alle aziende di focalizzarsi sul proprio core business e affidare alle terze parti la gestione e la manutenzione dell'infrastruttura informatica. Tutto ciò rende la Supply Chain più reattiva e agile, perché consente di analizzare e soddisfare rapidamente nuove richieste "collegando" più risorse e strumenti.

2.6.4 Robotica e Automazione

I robot autonomi rappresentano la più recente tecnologia in ambito di robotica, sono sviluppati e programmati per eseguire i task con minima o nulla interazione umana. Possono variare da processi automatici robotizzati a veicoli dotati di intelligenza artificiale, dove i robot sono in grado di riconoscere e imparare l'ambiente circostante e prendere decisioni in modo autonomo.

La tecnologia viene usata particolarmente per migliorare l'efficienza delle attività di routine all'interno di stabilimenti produttivi e di magazzini, affiancando gli operatori umani, con un aumento di accuratezza e velocità nell'esecuzione di operazioni e processi che possono risultare pericolosi. Grazie a questa tecnologia le persone possono focalizzarsi sullo svolgimento di attività più a valore aggiunto.

Col continuo miglioramento dei componenti hardware e software, tale tecnologia sta diventando sempre più sofisticata e veloce consentendo una completa integrazione con gli operatori umani, è possibile dunque dire che potrà essere un punto di forza dai prossimi cinque ai dieci anni per le aziende che ne hanno fatto parte dei propri investimenti strategici.

2.6.5 Stampa 3D

La stampa 3D consiste in una serie di processi che consentono di produrre oggetti aggiungendo il materiale uno strato dopo l'altro. Ciascuno strato corrisponde ad una sezione trasversale di un modello 3D e generalmente è possibile realizzare prodotti di qualsiasi geometria. Sebbene i materiali più comunemente utilizzati per la stampa 3D siano le leghe di plastica e metallo, è possibile lavorare praticamente qualsiasi tipo di materiale.

Considerando la gestione efficiente dei pezzi di ricambio, in molti magazzini la domanda è altamente irregolare, quasi impossibile da prevedere. Attraverso la digitalizzazione, lo stoccaggio e la distribuzione dei pezzi di ricambio si sta rivoluzionando grazie alla previsione della domanda mediante i software di analisi. Inoltre, grazie alla stampa 3D i pezzi di ricambio possono essere prodotti internamente secondo le necessità. Tutto ciò che serve sono le stampanti 3D, il software, un progetto con le specifiche corrette per ogni parte e i materiali necessari per produrlo. Le specifiche possono essere create utilizzando lo scanner laser 3D e tradotte automaticamente in codice leggibile dalle stampanti.

2.7 Limiti e problemi della Supply Chain

Si conclude il presente capitolo della tesi indicando quali sono le eventuali problematiche in cui le catene di approvvigionamento possono incorrere, in modo tale da avere una panoramica di introduzione utile alla comprensione delle effettive soluzioni proponibili mediante un'integrazione della tecnologia blockchain alla supply chain.

1. Monitoraggio dello storico di un prodotto
Difficoltà nel convalidare i fornitori di identità e verificare eventuali manomissioni da parte di intermediari.
2. Problemi di differenziali di tariffazione
Le aziende preferiscono mantenere segreti i loro costi poiché ciò consente loro di pagare prezzi più bassi durante l'outsourcing nei paesi in via di sviluppo.
3. Coinvolgimento di più attori all'interno della supply chain
La mediazione tra un numero elevato di parti può essere un grosso problema per i fornitori di servizi logistici, rallentando la fornitura dei servizi e creando un grande sovraccarico per la logistica.
4. Problemi di qualità e conformità
La sostituzione di componenti difettosi può risultare in un processo oneroso in termini di tempi e di costi.
5. Interruzioni dovute a fattori inevitabili
I processi produttivi e logistici potrebbero subire delle interruzioni dovuti a situazioni di disastri naturali o problemi socioeconomici a livello macro.
6. Centralizzazione
La necessità di un intermediario fa sì che il potere si accentri nelle mani di pochi col rischio di un eventuale uso improprio delle risorse.
7. Eventuali frodi da parte degli intermediari
All'aumentare del numero degli attori della supply chain che interagiscono tra di loro, vi è un aumento proporzionale degli intermediari.

Capitolo 3 – Integrazione della Blockchain all'interno della Supply Chain

All'interno delle moderne supply chain risulta essenziale incentivare, non solo obiettivi in termini di efficienza, tempi e costi ma anche obiettivi sul piano della collaborazione e della trasparenza lungo l'intera catena e tra gli attori e partners da cui essa è costituita. In questo contesto la Blockchain risulta promettente in quanto grazie alle caratteristiche intrinseche della tecnologia è in grado di proporre una opportuna trasparenza all'interno della supply chain.

La tecnologia appunto, nasce originalmente per consentire piena trasparenza e accesso illimitato alle basi di dati di una determinata rete. Questo chiaramente può comportare una certa sensibilità in termini di confidenzialità delle informazioni per le aziende. Tenendo conto di ciò, le sfide, i requisiti, i diversi modi e strumenti di applicazione della Blockchain per raggiungere la trasparenza desiderata verranno discussi nel presente Capitolo.

Verrà poi fornita la spiegazione teorica e pratica della tecnologia degli smart contracts in quanto, quando si parla di collaborazione e trasparenza è immediato collegare le nozioni di fiducia e sicurezza di cui gli smart contracts rappresentano una soluzione chiave.

Inoltre, in un'ottica di ottimizzazione dell'order management per la contrazione dei diversi lead time, il miglioramento del servizio e la qualità offerti al cliente risulta efficace essere supportati da un robusto sistema di tracciabilità. Un ulteriore oggetto di discussione sarà appunto capire come le esistenti architetture e metodologie di implementazione della Blockchain possono permettere la riduzione nei tempi di attesa lungo i vari nodi della supply chain e migliorare la tracciabilità delle merci risultando dunque in una logistica efficiente, puntuale e affidabile.

Verrà poi presentato una spiegazione dell'implementazione nella blockchain in fase di valutazione di impatto ambientale LCA e in conclusione verrà fornito un modello applicativo per l'industria farmaceutica.

3.1 Data Trasparenza

La trasparenza all'interno della supply chain sta emergendo come caratteristica fondamentale per il mantenimento della continuità aziendale e dell'elevata qualità del prodotto e del servizio. Una collaborazione efficace tra i diversi stakeholder richiede una catena di distribuzione con un elevato grado di fiducia caratteristica strettamente legata appunto, alla trasparenza.

Con data transparency si intende la possibilità di accedere e lavorare facilmente con i dati indipendentemente da dove essi siano situati all'interno della rete o da quali applicazioni siano stati generati.

La trasparenza nella supply chain si riferisce alla divulgazione di informazioni a partner commerciali, azionisti, clienti, consumatori e organismi di regolamentazione. Vengono acquisite informazioni di alto livello lungo la catena, come componenti del prodotto, nomi dei fornitori, le diverse sedi coinvolte e certificati associati. È importante notare come la trasparenza sia un prerequisito essenziale per la tracciabilità.

La fiducia è un componente fondamentale nella costituzione di una supply chain trasparente, tuttavia essendo la catena costituita da attori diversi e autonomi tra loro, la trasparenza dei dati rischia di essere compromessa proprio dalla mancanza di fiducia tra i partner, inoltre è importante sottolineare come sempre più clienti siano in linea con principi etici e di sostenibilità dell'ambiente di conseguenza aumenta la loro esigenza nella richiesta di informazioni e dettagli circa i prodotti come l'origine di fabbricazione, la qualità del servizio e le prove sulla sicurezza e sull'impatto ambientale. Pertanto, la costruzione della fiducia viene agevolata proprio consentendo la trasparenza lungo la catena in modo che gli individui e le aziende possano risalire dai loro prodotti alla loro origine e ricavare tutte le informazioni necessarie.

Questo può essere ottenuto utilizzando la tecnologia Internet of Things (IoT) che viene utilizzata per fornire i dati raccolti all'interno della rete in modo tale da migliorare le prestazioni e la tracciabilità della catena di approvvigionamento come visto nel capitolo precedente. Così facendo però la supply chain viene sovraccaricata di dati aggiuntivi all'interno dei sistemi indipendenti dei diversi partner che la costituiscono.

Ciò suggerisce dunque che, un buon candidato che consente la piena trasparenza nei record di dati è proprio la Blockchain che mediante una piattaforma decentralizzata peer-to-peer basata sulla crittografia permette di aumentare il livello di trust dei partner della catena di approvvigionamento.

3.1.1 Sfide

Generalmente, la supply chain è costituita da una complessa rete di parti interessate in tutti i settori per coordinare attività collaborative e raggiungere accordi reciproci. La figura 3.1 illustra le sfide significative di una generica catena di approvvigionamento, che includono: centralizzazione dei sistemi, mancanza di trasparenza, sfide legate alla scalabilità e sfide di natura tecnica all'integrazione IoT e tecnologie imminenti (Hellani et al., 2021).

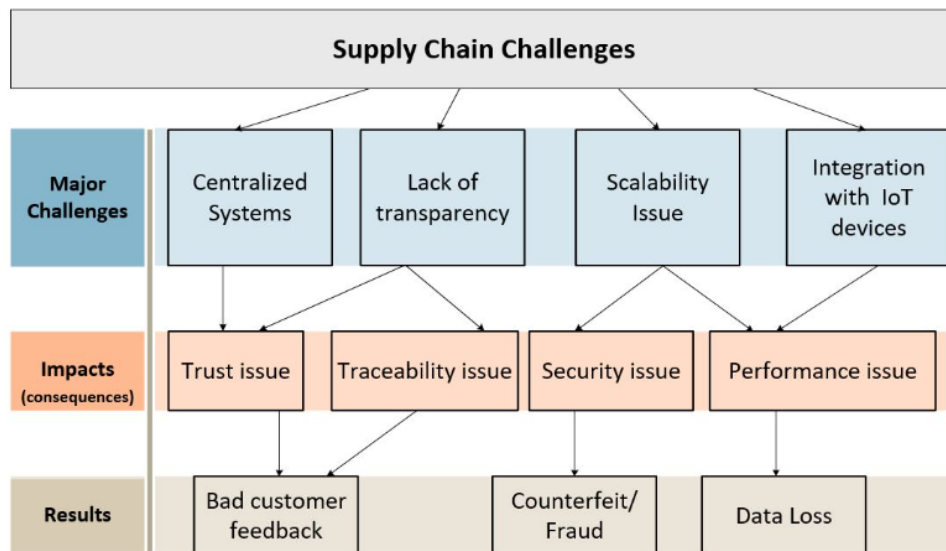


Figura 3.1 – Sfide di natura tecnica della Supply Chain

(Articolo: *On Blockchain Integration with Supply Chain: Overview on Data Transparency*)

Le diverse informazioni e transazioni che avvengono nella catena sono gestite da sistemi centralizzati forniti da terze parti fidate, che a loro volta possono presentare problemi relativi all'affidabilità delle informazioni. Non essendoci informazioni condivise affidabili all'interno di una vasta parte della supply chain si incorre in mancanza di trasparenza che porta a problematiche di tracciabilità e fiducia, oltre che a feedback negativi da parte dei clienti.

Un ulteriore problema è dato dalla scalabilità delle informazioni. Generalmente il prodotto viaggia in molte regioni geografiche e viene fornito con documenti cruciali come certificati di standardizzazione ISO, fatture, dogane, lettere, prove, ecc. e di conseguenza una singola transazione può richiedere centinaia di comunicazioni tra le parti interessate. Il verificarsi di problemi di scalabilità porta a rischi di sicurezza e prestazioni che a loro volta sono causa di possibili contraffazioni dei dati dei prodotti previsti e, in molti casi, perdita dei dati stessi.

Un'altra possibile causa di rischio di riduzione delle prestazioni è che la tradizionale infrastruttura di rete non è in grado di sfruttare il pieno potenziale dei dispositivi IoT e di gestire/analizzare la grande mole di dati in entrata all'interno dei sistemi centralizzati. I framework e le infrastrutture attualmente esistenti sono progettati unicamente per connettere dispositivi IoT eterogenei e i servizi associati, nonché per l'aggregazione e l'analisi dei dati.

3.1.2 Necessità della trasparenza dei dati e problemi di sicurezza

La supply chain ha subito enormi cambiamenti nel corso del tempo a causa delle elevate richieste di trasparenza e tracciabilità date dal fatto che ad esempio, i consumatori sono sempre più interessati a conoscere le informazioni circa l'origine e la sostenibilità dei processi impiegati nella realizzazione dei vestiti e prodotti che acquistano, o quanto sostenibile possa essere il loro nuovo veicolo elettrico, date le materie prime necessarie per realizzarlo; si vede appunto come la trasparenza nelle catene di approvvigionamento globali diventa una questione importante, che deve essere affrontata. Queste esigenze rappresentano la motivazione principale per la creazione di sistemi trasparenti.

Inoltre, la supply chain risulta sempre più caratterizzata dalla diversità di partner, prodotti e desideri dei clienti. Di recente, le sfide hanno spaziato dall'eterogeneità dei sistemi ai requisiti tecnologici aggiuntivi. Pertanto, oltre le sfide illustrate nella figura 3.1 le motivazioni alla base della necessità di trasparenza all'interno delle catene di approvvigionamento sono le seguenti:

- *indipendenza dei database*: l'attuale infrastruttura delle supply chain è basata su un insieme di sistemi centralizzati all'interno del quale ogni stakeholder rappresenta un sistema centralizzato a sé che appartiene ad una o più catene di approvvigionamento. Questi sistemi fanno molto affidamento a piattaforme di gestione delle informazioni centralizzate, spesso disparate e autonome. Pertanto, lo scambio di dati tra diversi database non è flessibile, a causa della natura fissa dei diversi standard di dati. In pratica, la tendenza delle aziende ad utilizzare la propria piattaforma e controllare i propri dati limiterebbe la collaborazione.
- *bassa collaborazione*: le sfide della supply chain sono principalmente legate all'eterogeneità degli stakeholder, alle diverse forme di dati e alla mancanza di comunicazione tra i sistemi coinvolti. Le relazioni collaborative determinano il modo in cui i dati vengono condivisi tra le aziende e li proiettano nei processi aziendali sottostanti. La collaborazione è un'opportunità per le aziende moderne di ottimizzare le relazioni con i propri partner commerciali. Tuttavia, il raggiungimento della collaborazione pone sfide complesse tra gli attori della filiera.
- *perdita dei dati*: La diffusione dell'adozione dell'IoT innesca profondi cambiamenti nella manifattura globale. I sistemi IoT sono generalmente eterogenei e classificati in domini amministrativi diversi. La tecnologia IoT migliora il progresso della produzione e fornisce un elevato livello di controllo, ma carica server e dispositivi periferici con un volume elevato di dati. L'attuale infrastruttura di rete non è in grado di sfruttare tutto il potenziale IoT e non è in grado di gestire e analizzare a fondo gli enormi dati in entrata nel conteso centralizzato. Investire in tecnologie IoT nell'attuale infrastruttura della catena di approvvigionamento sovraccaricherebbe i sistemi tradizionali con un elevato carico di dati; quindi, parte delle informazioni è considerata persa. Inoltre, la maggior parte dei prodotti di valore è controllata ed etichettata elettronicamente; questi tag possono essere cancellati o sostituiti durante la transizione tra le parti interessate senza lasciare tracce, causando rischi di fiducia e sicurezza. La probabilità di alterazione dei dati è molto alta attraverso gli attuali processi della catena

di approvvigionamento, dove è probabile che la perdita di dati e la frode si verifichino in molte situazioni.

- *complessità dei prodotti*: La natura diversa dei prodotti e dei servizi odierni richiede che le loro supply chain siano adeguatamente visibili per fornire funzionalità di trasparenza e tracciabilità. Tuttavia, molti produttori e venditori riscontrano un'insufficienza di dati e pertanto non riescono a fornire ai clienti le informazioni richieste proprio a causa della mancanza di trasparenza. La complessità della catena di approvvigionamento è in continua evoluzione, poiché la diversità dei prodotti e dei requisiti richiede l'integrazione di molte supply chain multilivello. Inoltre, i dati informativi non controllati del sistema centralizzato portano a massicce contraffazioni, enormi perdite commerciali e cattiva reputazione aziendale.

La supply chain è soggetta a diversi fattori di sicurezza che ne possono ostacolare l'intero processo produttivo. A garanzia della riservatezza delle informazioni risulta importante l'opacità dei dati: di solito, i processi di produzione sono accompagnati da diversi aspetti privati, tra cui una corretta pianificazione, ricette, informazioni sulla produzione, ecc. Per definizione, un sistema è opaco se un osservatore esterno non è in grado di dedurre un "segreto" sul comportamento del sistema. La privacy dei dati è una delle preoccupazioni evidenti delle diverse aree della supply chain in quanto i sistemi possono essere soggetti a violazioni dei dati, furti, perdite, accessi non autorizzati ed intercettazioni. L'opacità dei dati deve essere mantenuta da tutte le parti interessate che formano una catena di approvvigionamento, di conseguenza la piattaforma decentralizzata che gestisce una filiera deve considerare nella sua implementazione i requisiti di opacità (Hellani et al., 2021).

3.1.3 Soluzioni e tecniche di implementazione

Nel presente paragrafo vengono proposte le diverse tecniche e soluzioni impiegate per la realizzazione delle piattaforme decentralizzate che vanno a costituire le supply chain trasparenti basate sulla tecnologia Blockchain.

1. Blockchain core improvements

I dispositivi IoT hanno due funzioni principali: catturare i dati e trasmetterli alla loro destinazione. L'obiettivo è sfruttare le caratteristiche della Blockchain in modo tale da permettere l'integrazione con i dispositivi IoT. In base ai requisiti dell'IoT vengono rimodellati in particolare, la dimensione del blocco per consentire una maggiore capacità di stoccaggio dei dati e l'algoritmo di consenso della transazione. Una corretta integrazione tra Blockchain e dispositivi IoT permetterebbe un rilevamento accurato dei dati e migliore visibilità lungo l'intera supply chain.

2. Smart Contracts

Gli smart contracts essendo contratti automatizzati incorporati all'interno della Blockchain vanno a rendere un intero processo automatizzato e decentralizzato. Dopo

l'implementazione degli smart contract, è quasi impossibile modificarne il codice per la caratteristica di immutabilità della Blockchain. Oltre al ruolo dello smart contract nel garantire l'andamento del contratto è anche considerato un ottimo strumento per migliorare la trasparenza dei dati nella supply chain in quanto nel momento in cui viene eseguito, tutte le parti interessate all'interno della filiera vengono informate del risultato e, quindi, possono tracciare e monitorare i propri prodotti, aumentandone il livello di trasparenza.

3. *Merkle Tree Tool*

La struttura ad albero di Merkle¹¹ consente a qualsiasi parte di verificare rapidamente la validità dei dati. L'albero Merkle ha tre funzioni principali:

- garantisce l'integrità e la validità dei dati
- consuma meno memoria e risorse della CPU
- l'elaborazione di Merkle richiede l'invio di piccoli dati sulla rete e l'archiviazione su dischi.

L'albero di Merkle assume un ruolo importante nella tracciabilità della supply chain in quanto agevola la trasparenza dei dati.

4. *Zero-Knowledge proof*

Zero-knowledge proof (ZKP) è un sistema di crittografia nel quale i fornitori di servizi non riconoscono i dati memorizzati sui server. Tale sistema viene utilizzato nella messaggistica, nell'autenticazione, nella protezione dell'archiviazione e per qualsiasi informazione sensibile. Viene integrato con la Blockchain privata, in modo che qualunque sia il numero di nodi della rete Blockchain venga raggiunto un robusto livello di sicurezza al registro dei dati. L'integrazione del sistema Zero Knowledge Proof con la Blockchain permette alla supply chain di aumentare il proprio livello di trasparenza, preservando allo stesso tempo la riservatezza dei dati.

3.2 Gli Smart Contracts

Uno smart contract può essere pensato come un protocollo di transazione elettronica che consente l'applicazione digitale di un contratto legale inteso a soddisfare determinati requisiti quali pagamenti e obblighi legali di cui l'esecuzione avviene senza il coinvolgimento di terzi. Viene utilizzata invece la tecnologia Blockchain, puntando a ridurre costi di transazione e di

¹¹ Struttura ad albero di Merkle: è un albero binario con un valore associato per ogni nodo della rete, dove ognuno è l'hash dei suoi figli. Questi alberi della struttura dei dati vengono creati eseguendo ripetutamente l'hashing di coppie di nodi finché non rimane un solo hash. L'ultimo nodo di un albero (foglia) è un hash di dati transazionali in cui altri nodi sono hash dei loro hash precedenti.

esecuzione realizzando appunto, transazioni tracciabili e irreversibili; gli smart contracts nella supply chain risultano particolarmente utili nei seguenti casi:

- *Rilascio dei pagamenti*: un'azienda potrebbe utilizzare uno smart contract come mezzo per rilasciare automaticamente il pagamento al soddisfacimento di una o più determinate condizioni. Ad esempio, un'azienda produttrice e il fornitore, possono creare dei portafogli digitali e disporre di uno smart contract in modo tale che l'azienda possa pagare il fornitore per l'acquisto di beni. Una volta che la merce viene ispezionata e accettata, il contratto intelligente sposterebbe automaticamente la criptovaluta dal *wallet* dell'azienda al portafoglio digitale del fornitore per effettuare il pagamento.
- *Registrazione di movimenti contabili*: uno smart contract può essere implementato per registrare su un registro blockchain il verificarsi o meno di un evento specifico. Ad esempio, se un dispositivo abilitato all'IoT rileva l'apertura e la chiusura di un container durante il transito, uno smart contract potrebbe registrare automaticamente queste informazioni. Tale monitoraggio potrebbe risultare particolarmente utile per le merci che richiedono una stretta custodia, come nel caso del trasporto di prodotti farmaceutici o prodotti luxury.
- *Segnalazione della necessità di intervento manuale*: gli smart contract sono utili anche per segnalare il verificarsi di un evento che richieda un intervento manuale. Ad esempio, per i prodotti termosensibili, uno smart contract legato ai monitor della temperatura potrebbe avvisare tutte le parti interessate se si verifica una temperatura al di fuori di determinato range ammissibile. Ciò consentirebbe di intervenire tempestivamente per correggere la temperatura, condurre un'indagine sul motivo per cui la temperatura si trova fuori range e, se necessario, ritirare i prodotti interessati dal flusso commerciale.

3.3 Panoramica di alcuni casi applicativi della Blockchain e degli smart contracts nella Supply chain

1. Gestione dei contratti dei Fornitori e incremento dell'efficienza dei pagamenti

Le grandi organizzazioni trattano con molteplici fornitori, soprattutto nel settore manifatturiero. La gestione dei contratti nel modo tradizionale prevede un lungo processo di negoziazione, creazione, esecuzione, pagamento e rinnovo. Queste attività devono essere coordinate tra più organizzazioni e più dipartimenti all'interno della supply chain, aumentando la complessità dell'intero processo di gestione. Le stime mostrano che le inefficienze nella gestione dei fornitori, dell'approvvigionamento e dell'amministrazione del trasporto costano alle sole aziende del Regno Unito 2 miliardi di dollari all'anno.

Attraverso la blockchain è possibile usufruire degli smart contracts rendendo automatici i diversi contratti tra le diverse parti della supply chain, in modo che si eseguano da soli all'accadere di determinati eventi. Dunque, le organizzazioni possono creare una rete peer-to-peer distribuita in cui le parti possono interagire tra loro senza intermediari, in modo automatico, verificabile e sicuro. Poiché esiste una piattaforma affidabile, le parti interessate possono concordare di scambiare dati e autorizzare transazioni senza la necessità di intermediari. Ciò migliora la velocità di esecuzione e consente un meccanismo di pagamento più rapido per i vari fornitori coinvolti.

Ad esempio, una prova di consegna da parte di un fornitore può attivare un controllo qualità automatico dei materiali. Quindi, se l'ispezione è soddisfacente e la merce rispetta i requisiti di qualità e conformità, viene attivato un pagamento digitale e ciò contribuisce a ridurre il fabbisogno di capitale circolante dei fornitori.

2. Utilizzo di thread digitali sicuri per ridurre i tempi di progettazione

Col termine thread si intende un "filo digitale" ovvero un flusso di informazioni connesse che consente una visione integrata dei dati di una determinata risorsa lungo tutto il suo *product lyfe cycle (PLC)*. Questo non è limitato alle sole fasi di progettazione e costruzione di un prodotto, ma include anche eventuali operazioni di manutenzione. Sempre più spesso, gli operatori nei settori aerospaziali e automobilistici utilizzano applicazioni IoT per monitorare le condizioni di esercizio di parti critiche e di alto valore durante le operazioni. Ciò porta a una proliferazione di dati tra più partner, il che comporta maggiore complessità in termini di elaborazione e stoccaggio dei dati stessi, dei costi di controllo e di sicurezza.

Un thread digitale abilitato dalla blockchain consente alle organizzazioni di condividere i dati tra gli OEM¹² e fornitori di una supply chain con un elevato grado di fiducia, in quanto i dati non possono essere alterati a insaputa delle parti interessate. La piattaforma blockchain agisce come un'unica fonte di verità su tutti i nodi e può essere legato a tutti i contratti attraverso il PLC. Questo rappresenta un'opportunità per produttori e fornitori di collaborare in modo efficace e sicuro con i loro partner.

3. Tracking della provenienza delle merci nel settore dei beni di consumo

Il monitoraggio della provenienza delle merci consente alle organizzazioni di monitorare i prodotti lungo l'intera supply chain, partendo dalla fonte e arrivando al cliente. Questo ha applicazioni in numerosi campi tra i quali, beni di lusso, industria farmaceutica, industria automotive, beni artistici e agricoltura. Soprattutto perché è maggiormente crescente un'attenzione significativa sulla provenienza dei beni e sul fatto che tali beni siano stati acquistati da fonti sostenibili.

¹² OEM: Original equipment manufacturer: realizza componenti di prodotti venduti da un'altra società. Un componente OEM potrebbe essere una parte, un sottosistema o un software. Ne sono degli esempi i sistemi operativi e i microprocessori nei computer: in genere, il produttore del computer non produce né il microprocessore né il sistema operativo, ma li acquista invece su base OEM da altre società. In questo senso OEM si riferisce anche al processo di approvvigionamento di un componente da un'altra società.

Ad esempio, c'è una crescente attenzione sulla sostenibilità della pesca in particolare la sostenibilità di pesci come il tonno. Una organizzazione no-profit con sede a Londra ha sviluppato un sistema per tracciare il tonno striato e a pinna gialla, creando una trasparenza “catch-to-consumer” (dalla pesca al cliente) nel seguente modo: l'equipaggio di pesca attacca un tag RFID ai pesci catturati, scansiona e carica le informazioni sul cloud utilizzando dispositivi palmari. Come rappresentato nella *figura 3.2* questi dati vengono aggiunti al registro blockchain, creando uno storico a prova di manomissione. Questo aiuta tracciare il prodotto lungo tutto il processo mentre passa dalla pesca, all'inscatolamento fino al consumatore.

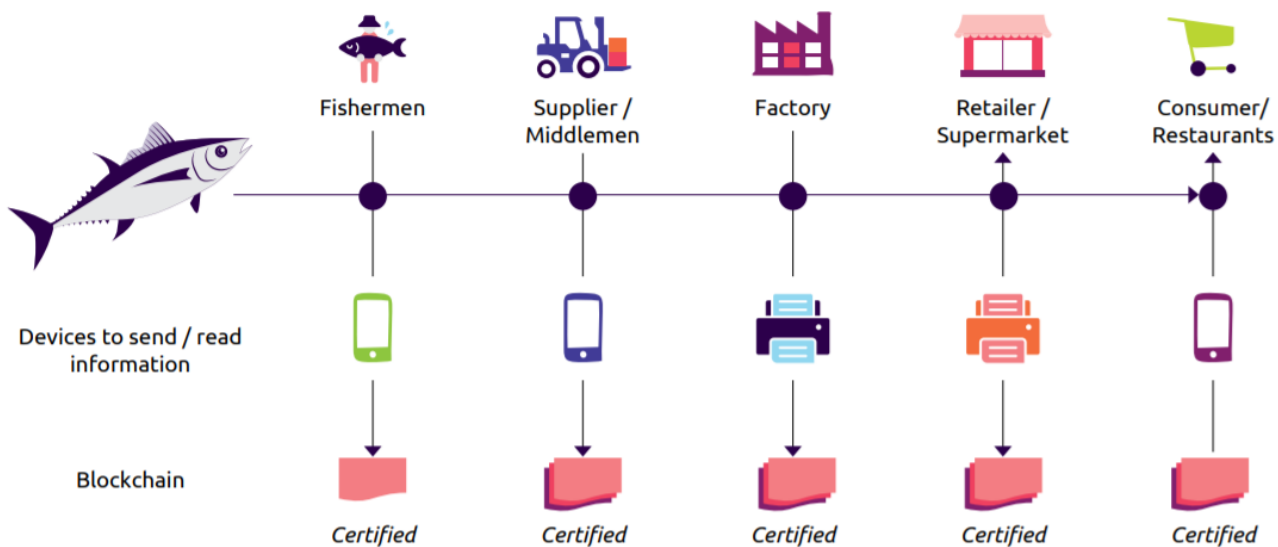


Figura 3.2 - Processo semplificato della garanzia della provenienza del tonno

(Articolo: Capgemini, does blockchain hold the key to a new age of supply chain transparency and trust?)

4. Garanzia della sicurezza e dell'autenticità delle merci

Garantire la sicurezza e l'autenticità di determinati beni di consumo, come alimenti per l'infanzia, prodotti farmaceutici, latticini e carni di prima qualità, è di fondamentale importanza, difatti c'è una grande enfasi su questi aspetti dato l'alto livello di contraffazione, soprattutto in ambito di e-commerce.

La blockchain da questo punto di vista permette ai consumatori di confermare che il prodotto acquistato è autenticamente prodotto dal marchio desiderato. Ad esempio, mediante la blockchain Ambrosus¹³, un marchio europeo di alimenti per l'infanzia ha

¹³ Ambrosus Blockchain: La rete Ambrosus è un ecosistema blockchain ottimizzato per le transazioni di dati IoT per la gestione della catena di approvvigionamento. Applicata praticamente a qualsiasi supply chain complessa, la

implementato una soluzione denominata *Smart Cap*. I consumatori possono verificare se il tappo è stato già aperto, da quando è stato fabbricato, se si tratta effettivamente di un prodotto originale e le condizioni di temperatura in cui è stato mantenuto. Tutti questi parametri vengono registrati su un registro distribuito mediante i sensori IoT e tale registro è reso disponibile per la verifica da parte dei consumatori.

Questo permette anche alle aziende di tenere traccia di tali parametri per garantirne l'autenticità in fase di approvvigionamento e non solo per i prodotti finali; in questo modo in ogni momento lo storico e l'origine di un prodotto sono identificabili. Un'eventuale variazione di temperatura che rappresenti una violazione del contratto innescherebbe una serie di processi automatizzati mediante smart contract, come una penale contrattuale per lo spedizioniere oppure un riordino dal fornitore.

5. Utilizzo della blockchain per fermare le contraffazioni dei prodotti

Le aziende digitali, inclusi e-commerce, social commerce e piattaforme consumer-to-consumer, sono afflitte da un gran numero di contraffazioni. Le merci contraffatte rappresentano il 2,5% del commercio mondiale, per un importo di 461 miliardi di dollari.

La blockchain permissioned offre una soluzione al problema di contraffazione. In questo modello, le parti richiedono permesso di leggere le informazioni sulla blockchain e le parti che possono effettuare transazioni sulla blockchain sono limitate. Ogni partner autorizzato sul registro distribuito può accedere e far funzionare la blockchain attraverso un nodo la cui funzione è convalidare i dati prima che vengano aggiunti alla blockchain stessa. La convalida si basa su un tag univoco per un prodotto e un protocollo scalabile integrato nella piattaforma blockchain per creare una supply chain interamente visibile che includa tutte le parti interessate quali produttori, fornitori, distributori e partner.

3.4 Sostenibilità: implementazione del Life Cycle Assessment mediante Blockchain

Negli ultimi decenni, i problemi ambientali hanno rappresentato un problema sempre più risentito globalmente. I problemi ambientali tipici includono il riscaldamento globale, l'inquinamento chimico, l'esaurimento delle risorse naturali e la perdita della biodiversità. Il fiorire di nuove tecnologie e la domanda di prodotti porta alla crescita industriale, ma allo stesso tempo può essere potenziale causa di problemi ambientali più seri.

piattaforma può essere facilmente integrata nei dispositivi IoT e nei sistemi IT esistenti al fine di digitalizzare i processi della supply chain e aumentarne la trasparenza.

Pertanto, per produrre una quantificazione più accurata e veloce degli impatti ambientali causati da un determinato processo, è necessario uno strumento affidabile, che possa misurare e calcolare gli impatti ambientali in diversi aspetti.

La valutazione del ciclo di vita (LCA) è uno strumento ampiamente utilizzato per analizzare gli impatti ambientali. Tra gli utenti che effettuano l'analisi LCA sono inclusi governi, organizzazioni non governative, settori industriali e istituti accademici e di istruzione. I risultati dell'analisi LCA potrebbero fornire ai clienti un parametro di riferimento in modo tale che possano effettuare confronti. L'analisi LCA può anche favorire il processo decisionale fornendo informazioni su diversi prodotti o processi alternativi in modo che ci possa essere spazio per la negoziazione.

Le ricerche in ambito, dimostrano che la blockchain può essere applicata per migliorare le prestazioni sostenibili e la resilienza della catena di approvvigionamento. Essendo che l'analisi LCA è legata alla distinta base dei prodotti che a sua volta un documento chiave della supply chain, un'integrazione con la blockchain può fornire una base di dati maggiormente conveniente e affidabile.

3.4.1 Product Life Cycle Assessment

L'analisi del ciclo di vita di un prodotto (LCA) è la tecnica riconosciuta a livello internazionale per valutare gli impatti ambientali di una determinata attività economica. LCA supporta le decisioni aziendali, come input per la progettazione di prodotti, processi, input per l'etichettatura delle dichiarazioni di prodotto e input per le decisioni a livello di supply chain. Le procedure di analisi LCA fanno parte degli standard di gestione ambientale ISO 14040¹⁴.

La vita di un prodotto inizia con l'estrazione delle materie prime attraverso la lavorazione dei materiali. Successivamente alle fasi di produzione e distribuzione, il prodotto entra nella fase di utilizzo, durante la quale può essere riparato e mantenuto. La fine del ciclo di vita del prodotto è solitamente determinata dallo smaltimento o dal riciclaggio del prodotto stesso.

Gli input derivanti dalla natura associati a tutte queste fasi includono l'utilizzo di acqua, energia e materie prime. Gli output delle diverse fasi e dei processi includono emissioni di sostanze nell'aria, nel suolo e nell'acqua. Questi input e output da e verso la natura sono chiamati "flussi". Per sviluppare un inventario dei flussi per il ciclo di vita di un prodotto, viene costruito un modello utilizzando i dati sugli input e gli output. Questi dati sono chiamati Life Cycle Inventory (LCI). L'analisi dell'inventario è seguita da valutazioni d'impatto. Questa fase dell'LCA valuta la significatività dei potenziali impatti ambientali sulla base dei risultati

¹⁴ Norma UNI ISO 14040: La consapevolezza dell'importanza della tutela ambientale comporta un maggiore interesse verso lo sviluppo di metodi finalizzati alla misura e alla riduzione degli impatti causati dai processi produttivi. La metodologia più completa è la valutazione del ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment) in forte espansione a livello Nazionale e Internazionale. Lo studio di LCA comporta una valutazione degli impatti ambientali che potenzialmente possono derivare dalle fasi di creazione, utilizzo e smaltimento finale di nuovi prodotti o servizi, processo definito dalla "culla alla tomba".

del flusso LCI. Consiste nella selezione delle categorie di impatto, della loro classificazione e della loro misurazione dell'impatto.

La globalizzazione è causa del rapido ritmo di ricerca e sviluppo di nuovi materiali e metodi di produzione che vengono continuamente introdotti nel mercato. Molti beni di consumo, ad esempio, come l'elettronica, gli alimenti o l'abbigliamento vengono riprogettati frequentemente, creando la necessità di una continua raccolta di dati. Allo stesso modo, la trasformazione del mix energetico verso le fonti rinnovabili può cambiare radicalmente in meglio l'impatto ambientale di interi paesi o settori.

Risulta dunque fondamentale la qualità dei dati, in quanto nel confronto di prodotti diversi tra loro, l'analisi è valida solo quanto i suoi dati. Dati comparabili, accurati e aggiornati sono fondamentali per tale analisi. Tuttavia, risultano molto spesso evidenti le seguenti problematiche:

- I dati di valutazione del ciclo di vita tradizionale in genere non si collegano ad altre dimensioni, come costi, rifiuti, posizione dell'impatto, impronte idriche e altro.
- I risultati LCA sono spesso utilizzati solamente da esperti in ambito LCA, piuttosto che da progettisti e ingegneri che concepiscono i prodotti.
- I prodotti complessi richiedono molto tempo per essere calcolati per ottenere risultati, a volte richiedono anche giorni.

Inoltre, uno studio dettagliato di LCA può risultare a volte oneroso (sia in termini economici e sia in termini di tempo) e complesso da eseguirsi in quanto si deve acquisire una notevole quantità di dati ambientali durante ogni fase del ciclo di vita, e si devono conoscere in modo approfondito sia gli aspetti metodologici standardizzati della metodologia che gli strumenti di supporto quali software e banche dati; di conseguenza, si stanno sempre più sviluppando strumenti di "LCA semplificata" che consentano una verifica immediata del ciclo di vita dei prodotti anche a coloro che non possiedono tutte le competenze e le risorse necessarie per realizzare uno studio dettagliato.

Inoltre, poiché di fondamentale importanza per la buona riuscita di uno studio di LCA è la disponibilità di dati attendibili, in campo internazionale ed europeo si sta cercando di favorire l'accessibilità, la disponibilità e lo scambio gratuito e libero di dati LCA attraverso lo sviluppo di banche di dati pubbliche, protette, compatibili, trasparenti ed accreditate.

3.4.2 Inefficienze del Life Cycle Assessment tradizionale

Nelle supply chain di qualsiasi prodotto, le varie imprese implicate (fornitori, spedizioni, produzione, acquisizione di materie prime, ecc.), vengono definite come "nodi". La partnership o il legame tra due nodi è invece definito come "bordo".

A livello teorico, i risultati del LCA dipendono da due componenti critiche: la distinta base dei materiali e i dati di inventario ambientale. L'analisi del ciclo di vita deve spesso affrontare diverse sfide per quanto riguarda la raccolta di dati affidabili dalla catena di

approvvigionamento, in particolare da una catena costituita da più nodi e bordi complessi. Ottenere dati affidabili è un problema molto impegnativo. Nella classica LCA, ogni nodo dovrebbe ottenere da solo i dati dell'inventario ambientale.

Attualmente, la maggior parte delle strutture utilizzerebbe anche dati di inventario ambientale pubblicate come ad esempio Ecoinvent¹⁵ dove i dati sono forniti dai ricercatori sulla base di alcune assunzioni (ad esempio, la definizione dell'ambito di studio e di analisi); ma quando questi dati sono impliciti, questi presupposti potrebbero essere ignorati dall'utente. Di conseguenza non tutte le ricerche riescono a trovare dati adeguati. Nella pratica l'applicazione dell'analisi LCA necessita di un database che abbia una maggiore precisione, accuratezza e disponibilità e sia più specifico per il prodotto o il processo oggetto di studio.

1. Inefficienza del trasferimento dei dati

I database di inventario ambientale più diffusi provengono sempre da società e organizzazioni centralizzate (ad esempio, Ecoinvent). Questi database vengono raccolti e compilati da un'organizzazione specifica prima e poi pubblicati agli utenti di tutto il mondo. Teoricamente, tutta la trasmissione di dati in una struttura centralizzata dovrebbe passare attraverso un nodo centrale. Questo nodo centrale potrebbe essere una struttura o una rete, e dovrebbe elaborare tutte le transazioni, le restrizioni e le verifiche.

Potrebbe essere troppo astratto parlare direttamente dell'efficienza della trasmissione dei dati senza alcun esempio. Il sistema bancario è una delle strutture centralizzate più tipiche, è vicino alla vita quotidiana e di facile spiegazione. Se un cliente A vuole trasferire tre dollari al cliente B, la banca deve verificare se ci sono abbastanza soldi sul conto di A e se le informazioni sul conto di B sono corrette. Tutte le restrizioni e le verifiche avvengono direttamente dalla banca. Tuttavia, il trasferimento di denaro tramite bonifico potrebbe richiedere giorni e il trasferimento di denaro internazionale potrebbe richiedere anche settimane. Questo è il compromesso di efficienza nell'utilizzo di strutture centralizzate. Da un lato, considerando i processi di restrizione e verifica, la struttura centralizzata è sufficientemente efficiente e potente, perché tutte le restrizioni e le verifiche siano facilmente applicabili; dall'altro, c'è un notevole svantaggio comunemente condiviso dalle strutture centralizzate: l'inefficienza nella trasmissione dei dati.

Tale inefficienza nella trasmissione dei dati risulta peggiore nello scambio di dati per analisi LCA, poiché non esiste una piattaforma centralizzata condivisa su cui eseguire la raccolta dei dati. La procedura di aggiornamento dei dati in LCA è molto più inefficiente: se un ricercatore ha svolto determinate ricerche LCA e aggiornato alcuni dati, tale ricercatore deve pubblicare un paper per descrivere questo aggiornamento. Quindi, le società e le organizzazioni di dati dell'inventario ambientale devono continuare a leggere i documenti per tenersi al passo con i vari aggiornamenti, in modo

¹⁵ Ecoinvent: Il database ecoinvent Life Cycle Inventory (LCI) viene utilizzato per molti progetti di valutazione del ciclo di vita, progettazione ecocompatibile e informazioni ambientali sui prodotti. Dal 2003, il database ecoinvent consente alle aziende di fabbricare i loro prodotti più in armonia con l'ambiente, ai responsabili politici di attuare nuove politiche e ai consumatori di adottare comportamenti più rispettosi dell'ambiente

che le società e le organizzazioni di database possano quindi registrare questi aggiornamenti in una nuova versione del database di inventario ambientale. Alla fine, tutti gli utenti potrebbero vedere questo aggiornamento dopo che la nuova versione è stata rilasciata dalle società e dalle organizzazioni di database.

Se un nodo in una supply chain vuole eseguire analisi LCA, è necessario scaricare i dati di inventario ambientale da una società di dati centralizzata. Nel frattempo, i risultati dell'LCA verrebbero pubblicati tramite documenti o altre pubblicazioni, che potrebbero essere utilizzati come fonte di dati per le aziende o le organizzazioni che pubblicano database di inventario ambientale.

2. Insufficiente disponibilità dei dati

L'attuale database dell'inventario ambientale contiene informazioni significative su diversi tipi di processi di produzione. Il recente database di Ecoinvent contiene più di 16.000 set di dati. Per i ricercatori, se fossero necessarie informazioni di inventario ambientale su un tipo generico di processo, il set di dati aggregati (in termini di medie) dell'inventario ambientale potrebbe anche essere sufficiente. Ad esempio, se i ricercatori sono interessati al confronto tra due diversi tipi di prodotti, come un bicchiere di carta e un bicchiere di polimero, i dati generici potrebbero funzionare. Tuttavia, se un utente desidera conoscere l'impatto ambientale di un processo specifico, le informazioni generiche non sono sufficienti. Con l'attuale database, un utente non conoscerà mai l'impatto ambientale accurato di uno specifico processo produttivo.

3. Preoccupazioni di riservatezza dei dati

Secondo lo standard ISO 14040, i risultati dell'LCA dipendono da due parti critiche come descritto precedentemente: il database dell'inventario ambientale e le distinte base. Nella maggior parte dei casi, i dati di inventario ambientale sono forniti da organizzazioni o aziende pubbliche, che è una tipica struttura centralizzata. Il motivo è che i produttori sono reticenti nel condividere i propri dati, indipendentemente dal fatto che si tratti dei dati di inventario o dei dati di inventario ambientale dei loro prodotti finali. Anche all'interno di una stessa azienda, il problema della privacy dei dati può esistere tra i diversi reparti. La priorità di proteggere i propri dati è molto più alta della priorità di condividere questi dati a vantaggio dell'intera catena di approvvigionamento. Pertanto, probabilmente l'unico modo per risolvere questo problema è trovare una terza parte affidabile (ad esempio una società di dati) per gestire questi dati e renderli anonimi a tutti gli utenti del database. Tuttavia, esiste comunque la possibilità che questa terza parte faccia trapelare al pubblico il nome o le distinte base. Pertanto, pochi produttori sono disposti a condividere i propri dati.

3.4.3 Integrazione della tecnologia Blockchain

Applicando la tecnologia blockchain, è possibile sostituire la tradizionale struttura centralizzata e migliorare l'efficienza della trasmissione dei dati nell'analisi LCA.

Nell'integrazione Blockchain-LCA, tutte le verifiche e le restrizioni dei dati possono essere eseguite da un nodo arbitrario, anziché da un nodo centrale fisso (Figura 3.3), migliorando così drasticamente l'efficienza della trasmissione dei dati. Va fatta tuttavia una considerazione: ogni nodo dovrebbe contenere il dominio per eseguire tali restrizioni e verifiche. In altre parole, se un produttore decidesse di aderire alla rete Blockchain-LCA, questo produttore dovrebbe agire come un nodo con le massime funzioni di esecuzione delle verifiche e di applicazione di tutte le restrizioni. Pertanto, tale rete richiede una progettazione più meticolosa rispetto al tradizionale framework LCA e permetterebbe di superare i limiti della struttura centralizzata e migliorare le prestazioni della classica analisi LCA.

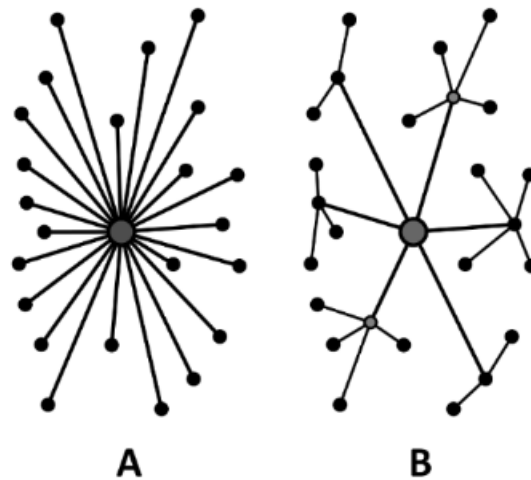


Figura 3.3 – Confronto grafico di un sistema centralizzato e decentralizzato

(Articolo: The Application of Blockchain-Based Life Cycle Assessment on an Industrial Supply Chain)

In questo modello l'impatto ambientale di un prodotto o di un processo e tutta la trasmissione dei dati passerebbe attraverso la blockchain rendendo il sistema più sicuro, automatico e accurato andando appunto a rimuovere le varie inefficienze.

3.4.4 Meccanismo di integrazione Blockchain-LCA e trasmissione dei dati

La figura 3.4 mostra il framework dell'integrazione Blockchain-LCA. In ogni blocco abbiamo *hash precedente* e *nonce*¹⁶ che fungono da collegamento tra blocchi. I dati sul *flusso del materiale* e sulle *prestazioni ambientali* vengono archiviati in ciascun blocco. Ogni volta che si verifica un flusso di materiale, questi dati vengono trasmessi nella rete Blockchain-LCA e le prestazioni ambientali di questo flusso di materiale vengono inviate direttamente al nodo a valle (che è il ricevitore).

Ogni blocco ha una propria limitazione di capacità, il che significa che un blocco può memorizzare un numero limitato di dati sul flusso di materiale e dati sulle prestazioni ambientali. Pertanto, dopo che un blocco è stato riempito, interviene un nodo arbitrario che "sigilla" il blocco e trasmette il blocco all'intera rete (Xuda et al., 2021).

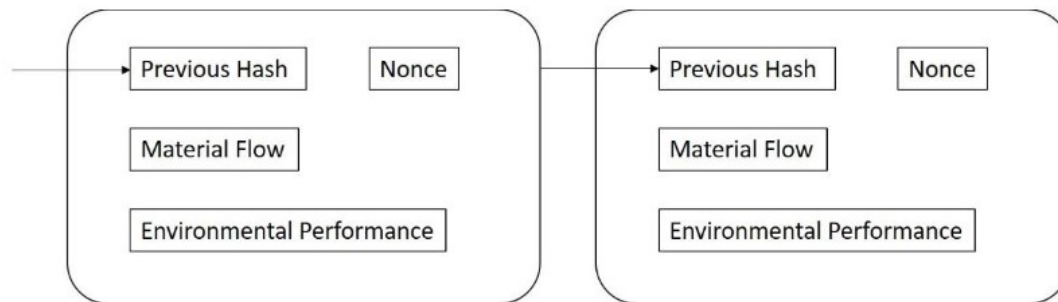


Figura 3.4 – Framework dell'integrazione Blockchain-LCA

(Articolo: *The Application of Blockchain-Based Life Cycle Assessment on an Industrial Supply Chain*)

Si tratta di un meccanismo semplice ma potente: tutte le informazioni vengono trasferite via broadcast all'intera rete BC-LCA.

Esistono tre tipi di nodi che partecipano a questo trasferimento di informazioni: il nodo di invio, il nodo di ricezione e i nodi di trasferimento:

- Il nodo di invio è quello che trasmette le informazioni nella rete Blockchain-LCA e invia le informazioni di flusso del materiale.
- Il nodo ricevente è il nodo che riceve il flusso di materiale.
- I nodi di trasferimento sono i nodi che partecipano al solo trasferimento di informazioni ma non sono né il mittente né il destinatario.

¹⁶ Nonce: è l'abbreviazione di "Number only once used", ovvero numero utilizzato una sola volta ed è il numero aggiunto a un blocco hash o crittografato in una blockchain che, quando viene rieffettuato l'hash, soddisfa le restrizioni del livello di difficoltà

Con il seguente esempio in figura sarà possibile comprendere come avviene il trasferimento delle informazioni attraverso la rete, tale esempio di estrazione di una generica materia prima prevede 4 fasi: estrazione, purificazione, produzione e assemblaggio.

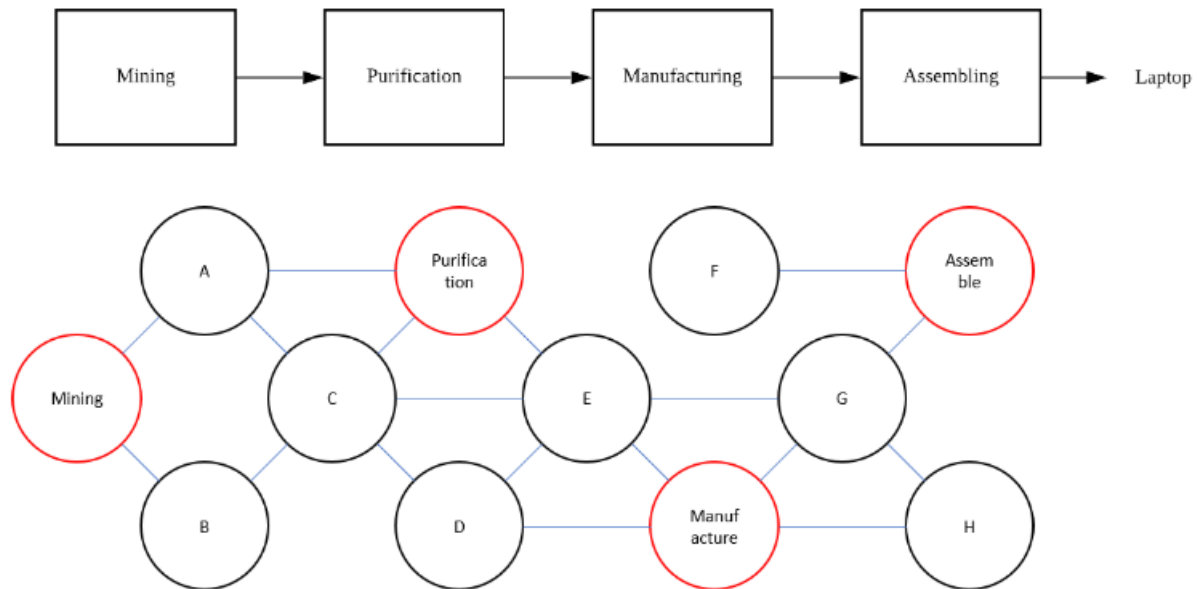


Figura 3.5 – Esempio di rete LCA decentralizzata

(Articolo: *The Application of Blockchain-Based Life Cycle Assessment on an Industrial Supply Chain*)

Il flusso si sviluppa nel modo seguente:

1. Preparazione delle informazioni: il *nodo mining* (estrazione) dovrà preparare l'elenco dei prodotti e degli impatti ambientali correlati a questi prodotti;
2. Notifica al nodo A e al nodo B: il i nodi più vicini del *nodo mining* sono il nodo A e il nodo B, obiettivi della trasmissione. Quindi il *nodo mining* invierà le informazioni preparate direttamente al nodo A e al nodo B;
3. Il nodo A avviserà *nodo purification* e il nodo B avviserà il nodo C; questi due nodi otterranno a loro volta le informazioni preparate;
4. Il *nodo purification* riceve le informazioni circa gli impatti ambientali e tutti gli altri nodi conservano il record. Dopo che le informazioni preparate sono state ricevute dal node purification, il nodo A, il nodo B e il nodo C manterranno sempre le informazioni.
5. Le informazioni continuano a diffondersi fino a quando non vengono ricevute in tutti i nodi della rete. Qui, oltre al *node mining* e al *nodo purification*, tutti gli altri nodi manterrebbero le informazioni in maniera immutabile per la registrazione e per prevenire contraffazione dei dati.

Vi è dunque una gran quantità di informazioni che si diffonderebbe in maniera contemporanea nella rete. Tuttavia, non è necessario preoccuparsi del fatto che un'informazione venga

trasmessa duplicata tra una coppia di nodi. Ogni volta che un nodo riceve un'informazione, verifica che questa informazione non esista già all'interno della rete. Quando l'ultimo nodo della rete riceve le informazioni, il nodo non trova più nessun altro nodo a cui inviarle; quindi, l'intera trasmissione risulta terminata.

Nella rete Blockchain-LCA, qualsiasi nodo può eseguire il calcolo LCA. Nel momento in cui un nodo riceve informazioni sul flusso di materiale, ne calcola automaticamente l'impatto ambientale. Quindi, l'aggiornamento delle prestazioni ambientali dei prodotti avviene ogni volta che questo nodo riceve informazioni sul flusso di materiale. Tale calcolo è determinato da due parti: distinte base e dati LCI. Entrambe le parti provengono dalla rete e possono essere aggiornate automaticamente se i nodi a monte forniscono informazioni sull'aggiornamento. Questo calcolo potrebbe fornire direttamente i risultati della tabella di inventario ambientale finale del prodotto e trasmetterle all'intera rete.

3.4.5 Verifiche e prerequisiti per il calcolo LCA

Oltre alla trasmissione dei dati tra i diversi nodi, ci sono tre verifiche interne che ogni nodo deve considerare prima di effettuare il calcolo LCA:

1. *Conferma delle distinte base*: il primo passo prima del calcolo è assicurarsi che i dati di input siano validi. Quindi ogni nodo deve verificare se le distinte base in input sono legali e se ogni elemento di questa tabella ha un formato appropriato.
2. *Conferma del set di dati LCI*: il secondo passaggio consiste nel confermare che il set di dati LCI sia aggiornato e contenga tutte le informazioni necessarie per il calcolo. Ciascun nodo dovrebbe avere più versioni del set di dati LCI, incluso il set di dati proveniente direttamente dai nodi a monte e il set di dati che serve per la registrazione dei record. Prima di qualsiasi calcolo, un nodo deve cercare e ordinare il set di dati LCI appropriato.
3. *Ispezione coerente dell'unità*: dopo aver confermato le distinte del materiale e il set di dati LCI, il passaggio successivo consiste nel controllare la coerenza dell'unità. Un'unità diversa potrebbe comportare un impatto significativo sui fattori di prestazione ambientale. L'unità nelle distinte base deve corrispondere all'unità nel set di dati LCI.

Dopo queste verifiche, un nodo esegue una moltiplicazione delle matrici contenenti i dati sui prodotti per calcolare i risultati di impatto ambientale di un determinato prodotto. Più prodotti richiedono più calcoli, con tutte e tre le fasi di preelaborazione per ogni calcolo. Quando un nodo termina un'analisi di impatto ambientale per un prodotto, questo nodo può quindi trasmettere i risultati all'intera rete Blockchain-LCA, di conseguenza tutti i nodi a valle a cui interessano i risultati tratti da questa analisi, possono aggiornare i relativi prodotti. L'intero processo, a partire dal primo nodo che modifica i dati sull'impatto ambientale del prodotto fino al termine dell'aggiornamento dell'ultimo nodo, è chiamato *processo a cascata* (Xuda et al., 2021).

3.4.6 Benefici derivanti dall'integrazione Blockchain-LCA

1. Disponibilità dei dati

Per rendere disponibili i dati accurati dell'inventario ambientale per un prodotto specifico, il primo passo è quello acquisire i dati accurati su ogni articolo nelle distinte base di questo prodotto, il che significa che i nodi a monte (es. i fornitori) dovrebbero fornire informazioni accurate per i loro prodotti. Il modo più semplice per consentire al fornitore rendere disponibili i dati di inventario ambientale per i propri prodotti è portare il fornitore nella rete blockchain. In questo caso, mentre il materiale va da monte verso valle, i dati di inventario ambientale seguono lo stesso flusso di informazioni. Questo è reso possibile appunto, grazie alla rete LCA basata su blockchain: si ha una digitalizzazione di tutto il flusso di materiale e fornitura di dati accurati a tutti i nodi.

2. Riservatezza dei dati

Grazie alla tecnologia blockchain e alle sue caratteristiche base, le informazioni private crittografate possono essere lette o modificate solo dall'utente che ha la chiave, senza eccezioni. La chiave è una stringa contenente le informazioni per decifrare i dati privati dell'utente. Anche il proprietario dei dati crittografati non può leggere tali dati senza la chiave. In questo modo, la privacy dell'utente viene protetta e di conseguenza l'utente stesso è più disposto a condividere i dati di inventario ambientale dei propri prodotti con gli utenti a valle.

3. Prevenzione della contraffazione dei dati

Il risultato desiderato è che tutti i nodi della rete riescano ad avere un impatto ambientale bilanciato sia in ingresso che in uscita, anche considerando l'inventario di stoccaggio. Con la rete blockchain-LCA, la prevenzione della contraffazione dei dati si semplifica: qualsiasi nodo può calcolare l'impatto ambientale in ingresso e in uscita e quindi può dire se si è verificata una manomissione dei dati.

Proprio come nella rete Bitcoin, un utente può conoscere il budget nel proprio account e qualsiasi utente della rete blockchain-LCA è in grado di sapere qual è l'impatto ambientale cumulativo all'interno del suo nodo. Poiché ogni transazione ha un proprio *timestamp*, è possibile tenere traccia del tasso di crescita o di diminuzione dell'impatto ambientale cumulativo e utilizzare un algoritmo per giudicare se quel nodo sta compiendo frode sui dati o meno.

3.5 Esempio di modello sviluppato per il monitoraggio della temperatura e la prevenzione della contraffazione farmaceutica

L'industria farmaceutica è colpita da un numero sempre più crescente di farmaci contraffatti che vengono messi sul mercato. È stato stimato che un farmaco su dieci viene falsificato nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo; nel settore europeo il mercato di prodotti contraffatti ha provocato la perdita di 9,6 miliardi di dollari all'industria farmaceutica europea e conseguente perdita di circa 80 mila posti di lavoro. Gli unici a trarne vantaggio sono stati i contraffattori, con affari mondiali per almeno 4,4 miliardi di dollari.

Il Pharmaceutical Security Institute in un report dedicato all'analisi dei mercati illegali rilasciato dall'OCSE¹⁷, afferma che il 32% dei farmaci contraffatti non contiene principio attivo, il 20% ne contiene quantità non corrette, il 21.4% è composto da ingredienti sbagliati, il 15.6% ha corrette quantità di principi attivi ma un packaging falso, l'8.5% contiene alti livelli di impurità e contaminanti. Dal report, inoltre, appare chiaro come lo strumento più diffuso per vendere e comprare questi prodotti sia Internet e che il fenomeno determini anche perdite di guadagni per le aziende farmaceutiche, che si trovano pertanto a dover investire sempre più risorse per le misure di sicurezza.

Un altro punto fondamentale è che molti prodotti farmaceutici rimangono validi o efficaci solo entro un certo intervallo di temperature. Se la temperatura diventa troppo calda o fredda, questi medicinali diventano inefficaci, perdendo le proprie funzionalità. La potenziale possibilità di verificare le condizioni di temperatura e l'autenticità dei farmaci consentirebbe al medico oppure ai pazienti stessi di scartare i farmaci che non sono più attivi o efficaci.

La supply chain di un determinato farmaco deve essere monitorata da vicino sia per l'autenticità del farmaco sia per mantenere in sicurezza qualsiasi ingrediente del farmaco che sia sensibile alla temperatura. Pazienti, farmacie e ospedali fanno affidamento alla catena di approvvigionamento dei medicinali e alle società di logistica che forniscono tali medicinali termosensibili, come i vaccini o l'insulina. Durante il trasporto di questi medicinali per molti di chilometri, è necessaria una scatola di trasporto *smart* che mantenga la temperatura e registri tutti i cambiamenti mediante un sensore programmato. Il sistema di trasporto e conservazione del vaccino a una certa temperatura dal produttore al punto di consumo è chiamato *Cold Chain*. Gli elementi essenziali di un sistema Cold chain sono: apparecchiature per il trasporto e lo stoccaggio del medicinale o del vaccino e le apparecchiature per monitorare la temperatura (Rajani et al., 2020).

Poiché affinché sia implementato un sistema di questo tipo è necessaria la fiducia tra tutti i partecipanti e le parti interessate nella catena di approvvigionamento o nella Cold Chain, l'incorporazione della tecnologia blockchain dovrebbe essere considerata una soluzione robusta. La tecnologia Blockchain per le sue caratteristiche intrinseche può memorizzare tutti i dati dei sensori e non può essere manipolata. Una tale tecnologia permetterebbe di creare un ecosistema in cui tutte le informazioni importanti e sensibili riguardanti i farmaci verrebbero memorizzate in modo sicuro e rese disponibili per tutti i partecipanti della rete.

¹⁷ OCSE: Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico

3.5.1 Catena di approvvigionamento farmaceutica

La supply chain parte dal fornitore che consegna le materie prime e termina con il cliente finale (ad esempio ospedali, pazienti, farmacie), si occupa del trasporto e dello stoccaggio dei medicinali prodotti dalla fonte verso la destinazione. Un sistema di filiera farmaceutica come rappresentato nella figura 3.6 ha i seguenti elementi importanti:

- Produttori: il produttore riceve ordini da grossisti o distributori e spedisce i farmaci prodotti in grandi quantità ai magazzini dei distributori
- Grossisti: il grossista distribuisce farmaci alle farmacie e agli ospedali. Fa dunque da intermediario consentendo al produttore di risparmiare tempo e risorse nella distribuzione dei farmaci
- Farmacie e ospedali: le farmacie e gli ospedali acquistano i farmaci dai grossisti per essere somministrati o venduti agli utenti finali che sono pazienti.

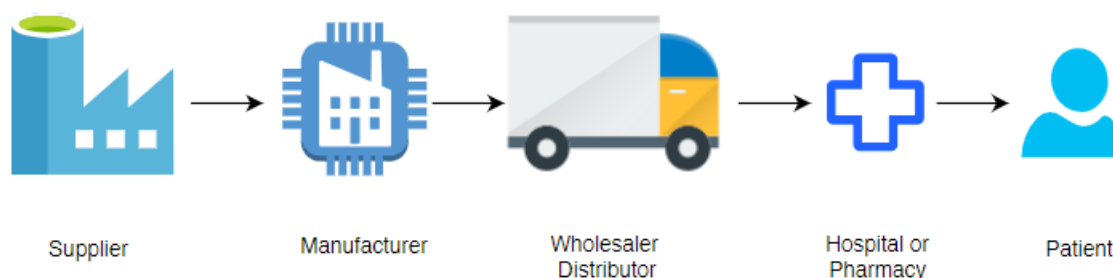


Figura 3.6 – Supply chain farmaceutica

(Articolo: *Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention*)

Come precedentemente discusso determinati farmaci hanno un intervallo di temperatura specifico, sia che siano in deposito sia che siano in transito. È dunque necessario un sistema di monitoraggio della temperatura dei farmaci che è resa possibile appunto dalla Cold Chain, che è costituita nel seguente modo:

- **Stoccaggio a freddo**: è necessario un sistema di raffreddamento per mantenere la temperatura richiesta di farmaci specifici e tale sistema fornisce le strutture per conservare i farmaci per un certo periodo di tempo in cui i farmaci sono in attesa di essere spediti in un mercato lontano oppure si trovano immagazzinati già nelle farmacie o ospedali

- Trasporto a freddo: le compagnie di trasporto non possono investire elevate somme nella produzione di veicoli refrigerati per il trasporto dei prodotti farmaceutici e quindi tali aziende farmaceutiche devono assumersene la responsabilità e sviluppare una sorta di scatola coibentata che mantenga una certa temperatura durante il trasporto.
- Trattamento e distribuzione a freddo: durante la distribuzione dei farmaci, la cold chain deve garantirne le condizioni sanitarie adeguate in fase di trattamento

3.5.2 Limitazioni della supply chain e soluzione proposta

La supply chain farmaceutica può presentare le seguenti problematiche e limitazioni:

- Durante il trasporto i farmaci vengono trasferiti dal fornitore agli utenti finali e i farmaci contraffatti possono essere inseriti a qualsiasi livello della catena. Per ridurre l'impatto dei farmaci contraffatti diverse aziende farmaceutiche utilizzano tecnologie olografiche; tuttavia, tali tecnologie da un lato presentano un costo elevato e, dall'altro, anche gli ologrammi stessi possono anche essere clonati da aziende di contraffazione
- Durante il processo della cold chain, per i medicinali termosensibili come i vaccini e l'insulina, è importante monitorare la temperatura lungo tutto lo sviluppo della catena. Di conseguenza monitorare la temperatura dei farmaci richiede fiducia tra tutte le parti in una catena di approvvigionamento
- Grazie alle sue caratteristiche di funzionalità decentralizzate e di elevata sicurezza, una rete blockchain potrebbe essere la soluzione. Tuttavia, vi sono le seguenti limitazioni che bisogna prendere in considerazione: la blockchain singolarmente non può permettersi una capacità elevata e la scalabilità della rete è bassa
- I dati archiviati sulla blockchain generalmente, sono pubblici e quindi se le organizzazioni vogliono nascondere i propri dati è bene far uso di blockchain di tipo permissioned.
- La sicurezza dei dispositivi sensori è la sfida più grande. È importante assicurarsi che i dati provengano da sensori affidabili e non siano stati manomessi

A tali problematiche vengono sottoposte le seguenti soluzioni e accorgimenti:

- Poiché i farmaci viaggiano attraverso la catena di approvvigionamento e richiedono la piena fiducia di tutte le parti coinvolte, viene integrata la tecnologia blockchain con una serie di accorgimenti. Grazie alla proprietà di decentralizzazione la blockchain crea fiducia all'interno dell'ecosistema digitale.
- Il framework del modello proposto utilizza sensori e scanner di codici QR che consentono il monitoraggio della temperatura e delle informazioni del codice QR dei pacchetti. Se la temperatura del sensore supera la soglia o se i dati del codice QR vengono modificati sui pacchetti, il sistema non accetterà più tali pacchetti. Il codice QR utilizzato nel modello è moderno a prova di clonazione e sicuro.

- Viene realizzata una rete distribuita scalabile con l'applicazione di bloXroute che fornisce un'elevata scalabilità di rete e utilizza l'algoritmo di consenso Raft che permette di aumentare la capacità della rete e rende il sistema adatto ai dispositivi IoT. La blockchain permette di memorizzare tutte le informazioni prodotte dai sensori e dai lettori di codici QR. BloXroute e l'algoritmo Raft verranno discussi nel paragrafo successivo.
- Nel modello proposto risulta semplice fornire la prova che in qualsiasi momento i pacchetti di farmaci i dati dei sensori non siano stati manipolati. E questo viene realizzato utilizzando metodi di firma digitale per la sicurezza dei dati dei sensori

Nella seguente figura è rappresentato il semplice funzionamento della lettura del codice QR per le informazioni e il monitoraggio della temperatura e l'apposito dispositivo di lettura:

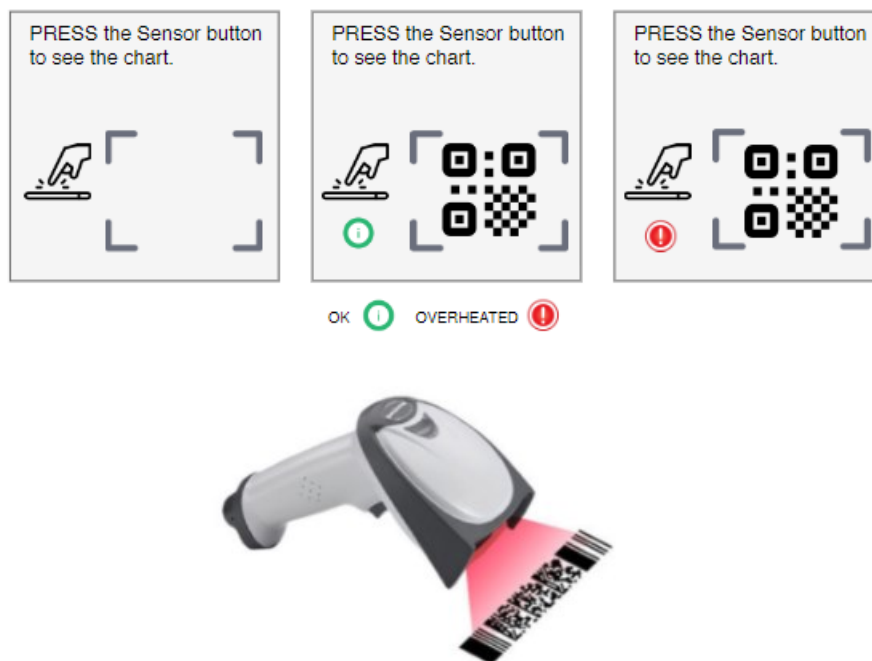


Figura 3.7 – Monitoraggio della temperatura e lettura del QR code

(Articolo: Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention)

3.5.3 Spiegazione tecnica del modello

La scalabilità è considerata come una limitazione da risolvere nella tecnologia blockchain. L'integrazione dei dispositivi IoT nella blockchain risulta dunque impegnativa in quanto generano una grande quantità di dati e le blockchain non possono gestirli a causa della loro bassa capacità e riducono la velocità di esecuzione delle transazioni. Ci sono alcuni algoritmi di consenso disponibili per blockchain che supportano un'elevata capacità; tuttavia,

richiedono prestazioni estremamente elevate per la rete. Nel modello proposto, viene utilizzato l'algoritmo di consenso Raft che fornisce alla rete blockchain elevata capacità; va tenuto in considerazione che tale algoritmo è adatto solo per un numero limitato di partecipanti alla rete. L'aumento dei nodi nella rete diminuisce l'efficienza e causa bassa scalabilità della rete. L'algoritmo Raft prevede una trasmissione dati molto veloce per fornire l'elevata capacità.

Pertanto, per aumentare le prestazioni della rete viene applicato il concetto di server bloXroute, che permettono di propagare i blocchi molto velocemente all'interno rete. Va tenuto presente che bloXroute non è una rete blockchain in sé, ma è una rete distribuita che consente la scalabilità.

Il modello prevede due contributi principali per la sua realizzazione:

- Costruzione di una rete blockchain distribuita (Blockchain Distributed Network) scalabile e ad alta capacità mediante il server bloXroute e l'algoritmo di consenso Raft adatto per dispositivi IoT.
- Realizzazione di una supply chain basata sull'applicazione di sistemi IoT integrati alla rete blockchain.

3.5.3.1 Scalabilità della rete blockchain

Generalmente, la capacità di un protocollo nel sistema blockchain è rappresentata dal numero di transazioni al secondo (TPS) oppure dal numero di blocchi aggiunti nella rete al secondo. Ad esempio, la capacità della blockchain pubblica di Ethereum è di circa 10 - 30 TPS mentre quella di Bitcoin è 3 - 7 TPS. Pertanto, la capacità di rete realizzata da Ethereum o Bitcoin non è adeguata alle applicazioni in cui è richiesto un tasso di capacità più elevato.

Una rete di supply chain privata basata su blockchain richiede almeno 1000 TPS per il funzionamento dell'intero sistema. L'algoritmo di consenso Raft può essere più adatto a tali esigenze grazie alla sua, tuttavia, tali algoritmi sono adatti solo per piccole reti a causa dei suoi requisiti di rete ad alte prestazioni (vedi Tabella 2). La capacità di una rete Blockchain dipende dai seguenti due parametri:

1. *Dimensione del blocco*: rappresenta il numero totale di transazioni all'interno di un singolo blocco ed è indicato con **B**;
2. *Intervallo di tempo tra i blocchi*: è il tempo impiegato dai *miner* per l'estrazione un nuovo blocco ed è indicato con **t_B**.

Ad esempio, la capacità per un blocco contenente 2000 transazioni con un tempo medio di 600s è di 3,33 TPS. Pertanto, per massimizzare tale capacità, è necessario ridurre l'intervallo di tempo tra i blocchi di **t_B** oppure aumentare la dimensione del blocco **B**.

La *tabella 1* permette di mettere a confronto gli algoritmi di consenso Proof of Work, Proof of Stake (discussi nel Capitolo 1) e Raft:

Proprietà	PoW	PoS	Raft
Tipo di blockchain	Pubblico	Pubblico	Privato
Ampiezza del network	Larga	Larga	Ristretta
Capacità	Bassa	Bassa	Elevata
Sicurezza	Elevata	Media	Generica
Tempo di conferma della transazione	Lungo	Medio	Breve
Consumo di energia	Elevato	Medio	Basso

Tabella 1 – Confronto tra i meccanismi di consenso blockchain

A causa della limitata capacità di propagazione della rete P2P, è praticamente impossibile aumentare la dimensione del blocco **B**. La capacità massima attuale è di 1000 TPS. Dopo aver estratto un nuovo blocco, il miner propaga il blocco per la verifica all'interno di tutta la rete. In generale, una rete peer-to-peer è costituita da diversi nodi e la velocità di propagazione è lenta. Pertanto, aumentando la dimensione del blocco il tempo necessario per la propagazione di un blocco aumenterà a sua volta.

Considerando la seconda alternativa, la diminuzione del tempo di propagazione del blocco t_B potrebbe impedire a più nodi di partecipare alla rete blockchain. Per consentire a un massimo di nodi di partecipare attivamente alla rete, il tempo di propagazione all'interno della rete blockchain deve essere inferiore al tempo di propagazione del blocco di soglia (t_B), come mostrato nell'equazione seguente:

$$t_{\text{network}} < t_B$$

Pertanto, il rapporto tra il tempo di propagazione della rete e il tempo di propagazione tra i blocchi deve essere mantenuto in modo appropriato. Dunque, per aumentare la capacità della rete blockchain in questione, è possibile ridurre l'intervallo di tempo tra i blocchi t_B riducendo allo stesso tempo l'intervallo di tempo per l'intera rete blockchain t_{network} in il nostro modello proposto.

3.5.3.2 Gestione della supply chain farmaceutica basata su blockchain e IoT

In una filiera di prodotti farmaceutici, il grossista acquista il prodotto dal produttore e a seconda del livello di domanda, è anche possibile che il grossista acquisti i prodotti da un altro grossista. Dopo aver riconfezionato i prodotti, il grossista li distribuisce alle farmacie o agli ospedali. Quando il prodotto viene trasferito da un'entità ad un'altra entità o da un livello a un altro livello della supply chain, l'asset viene modificato e deve essere assegnata una nuova identità ai prodotti. In questo processo di confezionamento, c'è il rischio che i prodotti contraffatti vengano inseriti a qualsiasi livello della supply chain. Il modello proposto consente di creare un sistema basato su blockchain e IoT che registri il trasferimento delle merci in ogni punto della catena di approvvigionamento. Poiché i farmaci o i vaccini viaggiano attraverso la catena, ogni transazione di prodotti farmaceutici e vaccini deve essere contrassegnata dall'ora con l'attuale proprietario della catena di approvvigionamento. Nella figura 3.8 è possibile osservare come in ogni livello del processo vengano registrate le informazioni riguardanti i farmaci all'interno della rete blockchain:

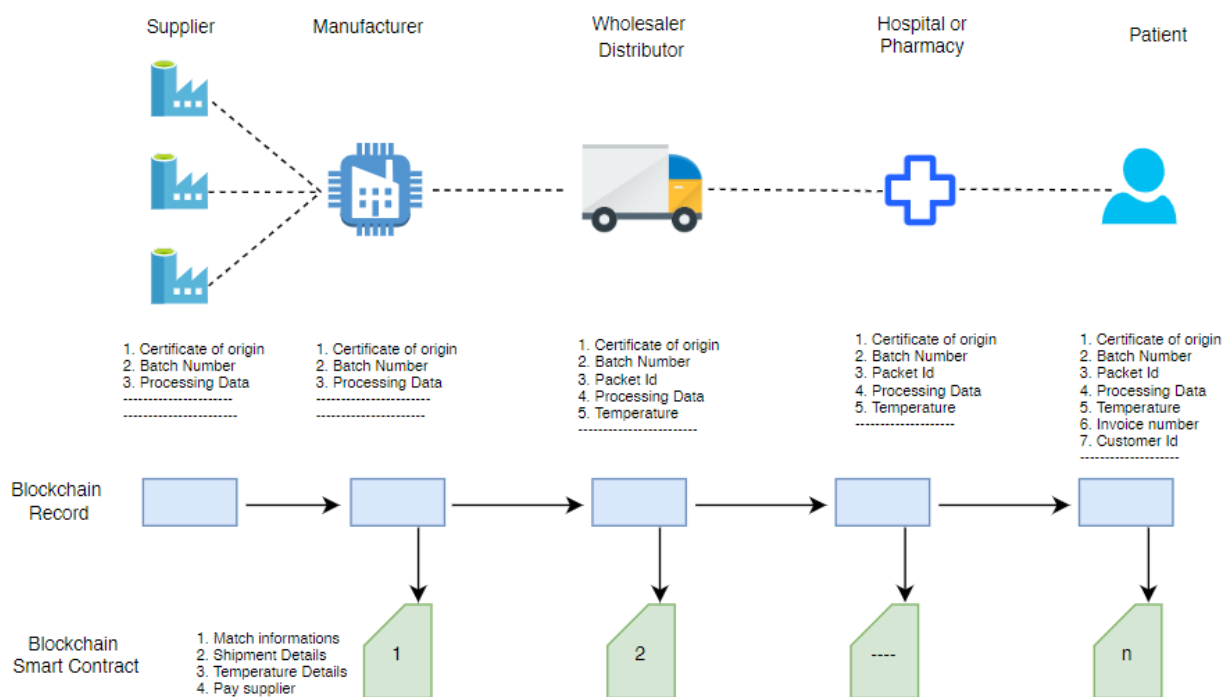


Figura 3.8 – Supply chain farmaceutica basata sulla blockchain

(Articolo: Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention)

Il registro memorizzato nella blockchain viene utilizzato per garantire la sicurezza di tali farmaci di conseguenza, i pazienti, gli ospedali o le farmacie, possono avere accesso allo storico completo. L'altra sfida fondamentale è che molti prodotti, come i vaccini, sono funzionali entro un certo intervallo di temperatura e, nel caso in cui si verificasse un'interruzione della cold chain, il medicinale non sarebbe più efficace.

Il modello viene utilizzato per realizzare tale supply chain viene realizzata mediante le seguenti parti:

- Scanner di codici QR: è necessario uno scanner di codici QR oppure uno smartphone con un'applicazione di scansione di codici QR per leggere le informazioni dei pacchetti e archivarli nella blockchain.
- Creazione degli asset: una volta che un prodotto viene inserito per la prima volta nella catena di approvvigionamento, viene creato un nuovo asset. Tutte le informazioni sul prodotto sono memorizzate nel QR code. Mediante lo scanner dei QR code queste informazioni vengono inserite nella blockchain.
- Sensore: è necessario un sensore per assemblare i prodotti della cold chain che richiedono il monitoraggio della temperatura. Questi sensori sono richiesti principalmente quando i prodotti sono in transito e, una volta che un livello successivo nella supply chain riceve il prodotto, viene scansionato il QR code del sensore e, se surriscaldato, l'entità può negare l'accettazione.
- Trasferimento degli asset: se l'asset viene trasferito da un fornitore a un altro fornitore o da un'entità a un'altra entità nella catena, la blockchain memorizza la modifica delle informazioni.
- Visualizzazione del prodotto scansionato: tutti i partecipanti possono visualizzare i dettagli del prodotto nella catena di approvvigionamento che sono registrati con l'applicazione per telefoni cellulari. Una volta che un utente esegue la scansione del codice QR dai pacchetti di farmaci o dai sensori associati ai pacchetti, l'utente ottiene tutte le informazioni sulla catena di approvvigionamento o sulla cold chain.

Per rendere sicura la catena di approvvigionamento, anche il codice QR deve essere realizzato a prova di clonazione in quanto i codici QR tradizionali sono meno sicuri e possono essere copiati abbastanza facilmente. Negli ultimi anni, sono state introdotte nuove tipologie di QR code con maggiori funzionalità di sicurezza. Nel modello proposto, si consiglia l'uso di codici QR a prova di clonazione basati su filigrana digitale (digital watermark) noti come AR Code (Access Real code) che è appunto, a prova di clonazione e fornisce una soluzione per la tracciabilità e l'anticontraffazione.

Il codice AR è progettato, generato ed emesso utilizzando processi di livello bancario. La filigrana digitale univoca e il DNA di identificazione del prodotto vengono aggiunti a un normale codice QR con serializzazione e protezione crittografica per creare un codice AR. Il codice AR fornisce la funzione di sicurezza a e non può essere replicato. Tale codice può essere stampato direttamente su imballaggi, etichette e documenti del prodotto esistenti. I consumatori non hanno bisogno di conoscenze o strumenti speciali per autenticare il prodotto.

Eseguono facilmente il controllo dell'autenticità del prodotto utilizzando un telefono cellulare standard con una fotocamera, scansionando il codice AR tramite l'app mobile o l'app web.

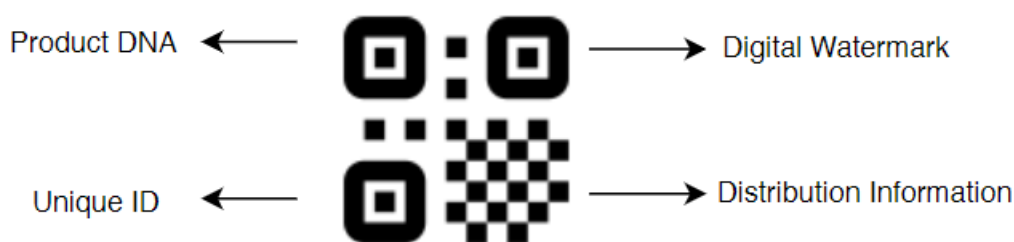


Figura 3.9 – Architettura dell'Access Real Code

(Articolo: Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention)

3.5.4 Analisi della sicurezza del network blockchain

In qualsiasi tipo di modello basato sull'IoT, i progettisti devono soddisfare determinati requisiti di sicurezza. Ad esempio, l'autorizzazione garantisce che solo gli utenti autorizzati utilizzino il sistema, mentre la riservatezza dei dati garantisce che solo questi utenti autorizzati possano accedere ai dati di tale sistema. L'integrità dei dati garantisce che i dati non vengano alterati.

La sicurezza del codice di risposta rapida (codice QR) garantisce che i codici non possono essere clonati. Esistono inoltre, altri requisiti di sicurezza come privacy, anonimato e scalabilità che migliorano il modello di sistema e quindi possono essere utilizzati anche per il caso più generale. Nella Tabella 2, vengono indicati tali requisiti di sicurezza e come vengono affrontati dal modello:

Requisito di sicurezza	Soluzione implementata dal modello
Autorizzazione	Chiave pubblica e firma digitale
Integrità dei dati	Hashing dei blocchi di dati
Confidenzialità dei dati	Crittografia
Scalabilità della rete	Server BloXroute
Capacità della rete	Algoritmo di consenso Raft
Privacy e anonimato	Firma digitale
Sicurezza qr code	Applicazione dell AR code

Tabella 2 – Requisiti e soluzioni di sicurezza

3.6 Soluzioni derivanti dall'applicazione della blockchain ai limiti della supply chain

Nel paragrafo conclusivo del Capitolo 2 sono state esposte le possibili sfide a cui è soggetta una supply chain, dopo aver analizzato nel presente capitolo le funzionalità della blockchain e degli smart contracts applicati alla catena di approvvigionamento in conclusione, è possibile associare a tali problematiche la soluzione opportuna:

1. Monitoraggio dello storico di un prodotto
Ogni nodo della supply ha accesso al rispettivo ledger in cui è registrato lo stato dell'ordine dove può tracciare il prodotto in tempo reale
2. Problemi di differenziali di tariffazione
Registro distribuito *permissioned* (privato) in cui sono presenti le autorizzazioni per transazioni riservate tra le parti
3. Coinvolgimento di più attori all'interno della supply chain
Il consenso tra più parti è mantenuto mediante applicazione degli Smart Contracts
4. Problemi di qualità e conformità
Mediante smart contract è possibile “immagazzinare” il pagamento e nel frattempo le merci e il materiale vengono controllati e sottoposti a test di conformità
5. Interruzioni dovute a fattori inevitabili
Il ledger digitale è indipendente da vincoli geografici come disastri naturali o problemi di natura socioeconomica
6. Centralizzazione
Il rischio di frode viene mitigato utilizzando i nodi per il controllo dello stato di consegna in tempo reale
7. Eventuali frodi da parte degli intermediari
Grazie alla *double signature* che caratterizza gli smart contracts nel sistema non possono verificarsi eventuali frodi di tipo finanziario da parte di intermediari

Capitolo 4 - Analisi di progetti applicativi della blockchain nelle diverse supply chain

Con l'espansione delle industrie a livello globale, le rispettive catene di approvvigionamento sono diventate maggiormente complesse e deframmentate. Nonostante gli enormi investimenti che vengono effettuati per migliorare la tracciabilità delle parti o il tracciamento del valore nelle supply chain, la maggior parte delle aziende dispone ancora di un numero limitato di meccanismi di tracciabilità dei componenti e delle diverse parti. Molte organizzazioni presentano un divario significativo tra i sistemi impiegati all'interno di un'azienda e i sistemi impiegati attraverso le interazioni tra aziende.

Un sistema di tracciabilità è necessario per ottenere una riduzione dei costi, dei tempi di attesa e un miglioramento generale della qualità e del servizio clienti, che consentirebbe alle organizzazioni di sviluppare ulteriormente un vantaggio competitivo. Inoltre, i consumatori oggi sono sempre più interessati a sapere se il prodotto che hanno ricevuto proviene da un background etico.

È inoltre cresciuta l'importanza dell'automazione all'interno dei processi di filiera. Per automatizzare il singolo processo di filiera, è necessario integrare più sistemi che essenzialmente comporta una crescita significativa del volume di dati prodotti. Tali dati sono essenziali per tenere traccia dei prodotti e del loro stato in ogni punto per garantirne la qualità e l'affidabilità.

Nel presente capitolo verranno discussi due casi studio. Il primo caso riguardante il settore automotive su come grazie alla tecnologia blockchain sia possibile ottenere risultati più efficienti nella gestione della filiera. Il secondo caso invece riguarda l'applicazione della blockchain in ambito di sostenibilità della supply chain.

4.1 Settore Automotive

L'industria automobilistica è un settore importante dato il suo impatto considerevole sull'economia nazionale. Oggi, le organizzazioni stanno affrontando diverse sfide in questo settore, in quanto analogamente ad altri settori, anche l'industria automobilistica ha aumentato la propria presenza globale, il che ha portato a frequenti movimenti di parti in tutto il mondo.

In primo luogo, questo comporta importanti complessità nel rintracciare le parti in transito, la produzione interna e i prodotti in consegna. In secondo luogo, sovradimensionamenti in termini di capacità costituiscono un ulteriore problema che si traduce in costi eccessivi che a loro volta influiscono sull'efficienza complessiva delle operazioni della supply chain. Inoltre, come affermato precedentemente i clienti sono preoccupati per la sostenibilità delle parti e sono interessati a conoscere l'origine delle materie utilizzate per la produzione delle diverse merci.

Di conseguenza nell'industria automobilistica, diventa indispensabile la tracciabilità dei componenti e dei semilavorati utilizzati in un particolare veicolo o in una famiglia di prodotti. Non tutti gli stakeholder della catena di approvvigionamento dispongono di un quadro comune di accesso alle informazioni, rendendo il processo di tracciabilità e scambio di informazioni difficile da eseguire in tempo reale.

Un ulteriore aspetto importante da tenere in considerazione è che le organizzazioni della trovano sempre più difficile mantenere il giusto rapporto di qualità dell'inventario (IQR) nei diversi nodi della filiera e questo porta ad altri problemi di tracciabilità. Inoltre, vi sono tempi di fermo della produzione non pianificati a causa dell'esaurimento delle scorte di materie prime e dei guasti alle macchine. Tempi di inattività non pianificata influiscono sul lead time e di conseguenza il tempo di attesa per il cliente aumenta. Pertanto, l'efficienza complessiva della supply chain ne risente.

Mediante la blockchain è possibile affrontare alcuni dei problemi riscontrati dall'industria automobilistica; presenta una soluzione efficace al problema della tracciabilità in quanto può condividere le informazioni attraverso le reti della catena di approvvigionamento con una maggiore sicurezza delle informazioni. Ogni membro della catena di approvvigionamento può visualizzare le stesse informazioni sul ciclo di vita di un prodotto in tempo reale e in modo sicuro ed affidabile.

La blockchain può potenzialmente migliorare i parametri di efficienza della supply chain quali tempi di attesa, costi, riduzione del rischio, velocità, qualità, affidabilità e flessibilità. Con le ampie e complesse reti delle catene di approvvigionamento moderne, le interazioni e le transazioni tra le parti interessate dovrebbero esistere su un sistema di contabilità/database immutabile condiviso, protetto e in grado di fornire l'accessibilità delle autorizzazioni. Di conseguenza un sistema condiviso basato su blockchain facilita una maggiore trasparenza che consente transazioni senza interruzioni e una migliore visibilità. Quindi uno dei vantaggi della blockchain nell'industria automobilistica è proprio la tracciabilità che include la provenienza delle parti, il tracciamento dei veicoli e una migliore logistica degli impianti in entrata e in uscita.

4.1.1 Caso Studio

Il caso studio riguarda una simulazione di applicazione della tecnologia blockchain (Nesrin A., Ethirajan M. et al.) fatta all'interno di un'azienda leader nella produzione automobilistica nel sud dell'India in particolare nella produzione di sistemi di sterzo e sospensione, componenti del treno valvole, prodotti con materiali di attrito come guarnizioni dei freni, pastiglie dei dischi, guarnizioni della frizione.

L'organizzazione in particolare utilizza tecnologie moderne per fornire ai clienti una perfetta integrazione in una varietà di segmenti industriali come veicoli passeggeri, veicoli commerciali e trattori agricoli. Inoltre, l'azienda è stata in grado di mettere in pratica approcci di livello mondiale come *ISO 9001:2015*¹⁸ per i sistemi di gestione della qualità, vincendo il prestigioso "Deming Grand Prize" per le pratiche di qualità della supply chain.

Nel caso in esame l'organizzazione era nella fase di trasformazione digitale per l'ottenimento di visibilità in tempo reale sulla propria supply chain e per una presa decisioni più rapide. L'obiettivo era l'esplorazione della tecnologia blockchain per migliorare l'efficienza operativa della catena di approvvigionamento.

4.1.2 Difficoltà riscontrate dalla società

L'organizzazione in esame stava affrontando degli ostacoli nel mantenere il corretto rapporto di qualità dell'inventario. Inventory Quality Ratio è un approccio di gestione dell'inventario per monitorare gli articoli ad alta movimentazione e mettere in revisione gli articoli a bassa movimentazione e a nulla movimentazione.

L'obiettivo è monitorare l'inventario attivo e ridurre l'inventario lento e a movimentazione nulla nei diversi nodi della catena di approvvigionamento e ottenere un miglioramento dell'IQR. Inoltre, sono da tenere in considerazione anche i momenti in cui la produzione viene interrotta a causa della mancata disponibilità di materiali o eventuali guasti delle attrezzature. Pertanto, l'obiettivo complessivo è il miglioramento dell'IQR e la riduzione dei tempi di attesa in modo da migliorare l'efficienza complessiva delle operations (Nesrin et al., 2021).

Sulla base dei problemi di tracciabilità ed efficienza segnalati, i dati vengono raccolti sotto forma di Key Performance Indicators (KPI) per il calcolo dell'IQR e del tempo di attesa.

- **L'IQR** è calcolato in percentuale (%) misurando l'inventario attivo diviso per l'inventario totale. L'inventario totale comprende scorte attive, a lenta rotazione, in eccesso e obsolete.
- **Il tempo di attesa** (minuti) viene calcolato in base al numero di fermate per turno e al tempo medio perso per turno.

¹⁸ ISO 9001 del 2015: è una norma riconosciuta a livello internazionale per la creazione, implementazione e gestione di un Sistema di Gestione della Qualità per qualsiasi azienda.

Sulla base del calcolo effettuato per il caso in esame sono stati ottenuti i dati, formulati nella seguente tabella 3:

KPI	Factors	Last 12 Months (until June 2021)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IQR (Active Inventory/Total Inventory)	Active, Slow, Excess, Obsolete Inventory (%)	62	67	72	68	65	69	74	70	63	64	71	68
Waiting time	Number of stops/shift	4	5	6	2	3	8	6	7	6	8	5	5
	Average Time lost/shift (Minutes)	10.3	12.6	15.1	5.6	7.5	20.4	13.5	16.7	14.56	20.5	12.7	13.8

Tabella 3 – Stima dei fattori che incidono sull'IQR e sui tempi di attesa lungo il periodo di un anno

Viene proposto un modello illustrato in Figura 4.1 e può essere considerato come una versione semplificata della filiera del caso studio in esame. Abbiamo la fabbrica, il grossista e il rivenditore.

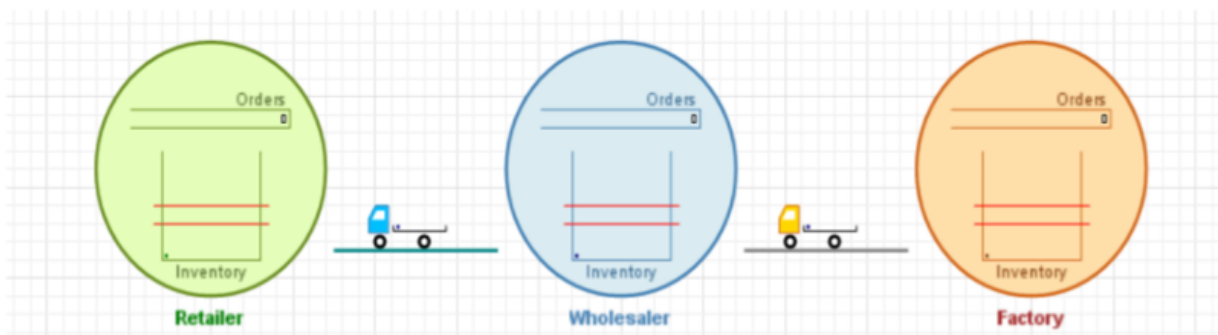


Figura 4.1 – Modello semplificato della filiera

(Articolo: Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain—A Case Study)

Si ha il seguente flusso: dopo aver esaminato l'ordine del cliente, ogni membro della catena di approvvigionamento determina la domanda complessiva che deve essere soddisfatta in termini di quanti articoli devono essere ordinati. Vengono inoltre calcolati diversi tipi di costi, come il costo di trasporto, il costo di scarto e il costo di ordinazione.

All'interno del caso in esame la domanda è randomizzata, si ottiene un output che mostra il costo giornaliero tematico per tutte le parti, nonché la distribuzione dei tempi di attesa per i clienti.

4.1.3 Framework della soluzione proposta

Il framework proposto è multilivello, in quanto collega varie tecnologie oltre che a varie componenti tecniche. L'architettura blockchain del registro distribuito è costituita da varie sottoreti, ciascuna associata a specifici ordini e partner. In questo caso, le transazioni sono denominate in base al loro utilizzo in Hyperledger, che verrà discusso nel seguente paragrafo.

Vi sono quattro parti interessate: il cliente, il produttore, il fornitore e il regolatore, tutti coinvolti nella gestione dell'inventario. Vi sono due asset quali l'ordine in questione e il veicolo che influiscono sulla logistica e due diverse transazioni come *Place Order* e *Update Order Status* che sono associati a due eventi.

Le parti interessate effettuano le transazioni all'interno della rete e ciò può anche essere ampliato per impiegare una rete interoperabile di diverse reti su scala globale, aperta a tutti i partner della supply chain e ai fornitori di servizi logistici di terze parti (3PL, third-part logistics). Pertanto, la rete può servire a controllare gli eventi associati a ciascuna transazione, monetaria o non monetaria

Considerando le complicazioni della supply chain dell'organizzazione in esame viene realizzato un framework per la blockchain flessibile. La soluzione proposta difatti è IBM Hyperledger Fabric.

4.1.4 Implementazione della rete mediante utilizzo di IBM Hyperledger

IBM Hyperledger Fabric è un'infrastruttura blockchain open source, che offre un'architettura modulare per lo sviluppo di sistemi distribuiti, con un'enfasi sul miglioramento dell'affidabilità e delle prestazioni di tali sistemi distribuiti. Fornisce un approccio risolutivo che facilita le prestazioni su larga scala e garantisce contemporaneamente la privacy richiesta per la fornitura di una rete blockchain interoperabile di reti.

La rete in esame dispone di quattro partecipanti, due tipologie di asset e due tipologie di transazione. Il modello che definisce le risorse e i partecipanti è stato sviluppato utilizzando il linguaggio Hyperledger Composure Modeling Language (HCML). Il file di script che definisce la logica di esecuzione delle transazioni è stato sviluppato utilizzando JavaScript. È stato creato un file di controllo dell'accesso e delle autorizzazioni per decidere il livello di accesso per ogni stakeholder.

È presente un server di indicizzazione che ha il ruolo di gestire i vari dettagli dei nodi partecipanti coinvolti nella blockchain, ognuno dei quali riceve un ID univoco. Si ha inoltre un nodo definito *application node* che funge da nodo trasmettitore. In sostanza, significa che il nodo dell'applicazione riceve la comunicazione e la trasmette all'ERP, permettendo di mantenere il corretto scambio di informazioni in corso e a ridurre al minimo gli errori di comunicazione.

Lo stato degli ordini viene convalidato e comunicato nel registro pubblico. Tutti i nodi paritari forniscono informazioni al libro mastro, sotto forma di un record con timestamp degli eventi di transazione. L'architettura mantiene diverse tipologie di eventi per registrare lo stato di un ordine (Nesrin et al., 2021):

1. Inception Event

L'evento di *inception* mostra l'avvio di un ordine e viene attivato dal nodo amministrativo del cliente e comunicato agli altri membri della rete. Il partner della catena di approvvigionamento archivia le informazioni e le comunica internamente. Questa documentazione archiviata internamente può essere manomessa o sottoposta a rischio in caso di violazione della sicurezza, tuttavia, per quanto riguarda l'ordine immesso nella rete blockchain questo rischio è inesistente. Le informazioni nell'evento di *inception* sono disponibili solo per i partner della supply chain. Un valore hash viene generato da questo evento può essere verificato dal cliente e tale valore hash specifico è visibile a tutti i partner.

2. Custody Event

L'evento di custodia viene utilizzato per mantenere lo stato dell'ordine. Mostra lo stato attuale dell'ordine e chi ne è responsabile. Mostra anche gli eventi di comunicazione che accadono tra i partecipanti. Questo evento conserva le informazioni in un registro privato e le condivide tra i membri della catena di approvvigionamento. Anche in questo caso vi è un valore hash generato che risulta visibile a tutti i partner.

3. Monitoring Event

L'evento di monitoraggio indica la posizione dell'ordine, tiene traccia dell'ordine e fornisce le informazioni condivise tra il produttore e il fornitore di servizi logistici. Il valore hash generato dal monitoraggio è visibile a tutti i partner tramite un registro pubblico.

4.1.5 Risultati della simulazione dell'implementazione della rete Blockchain

Nella seguente figura è possibile osservare la variazione del livello di inventario in funzione del numero di giorni. L'input inserito è random e viene simulato nell'arco di un anno. Ciò che si osserva è che sebbene l'inventario della fabbrica venga modificato, è presente un lag, prima del quale l'inventario presso il grossista e il rivenditore vengano modificati. Ciò può essere attribuito alle incertezze che si verificano durante la condivisione delle informazioni tra i rispettivi partner.

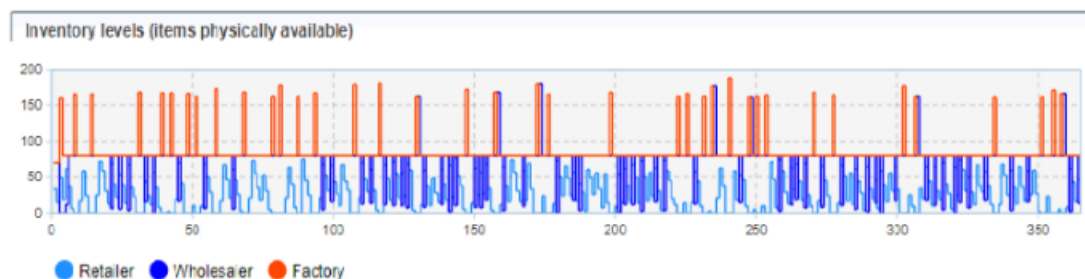


Figura 4.2 – Livelli di inventario prima della simulazione della rete blockchain

(Articolo: Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain—A Case Study)

L'integrazione della blockchain migliorerebbe le operations della catena di approvvigionamento. La condivisione sicura dei dati in tempo reale aiuterebbe ad aumentare il livello di consenso tra i partner della supply chain, con conseguenti frequenti aggiornamenti degli ordini e dell'inventario. Ciò permetterebbe di ridurre i costi giornalieri per tutte le parti interessate tra le quali fabbrica, grossista e rivenditore, nonché ridurre i rispettivi tempi medi di attesa. I tempi di attesa per i clienti finali diminuirebbe grazie alla natura rapida e reattiva della filiera ottenuta mediante la blockchain. La seguente Figura mostra i risultati della simulazione dopo l'integrazione della blockchain. Dai risultati grafici si può vedere che, sebbene l'inventario cambi in modo casuale (input randomizzato), l'inventario del grossista e del dettagliante varia in modo allineato a quello della fabbrica. Ciò può essere attribuito alla migliore condivisione delle informazioni raggiunta dal modello di rete integrato alla blockchain.

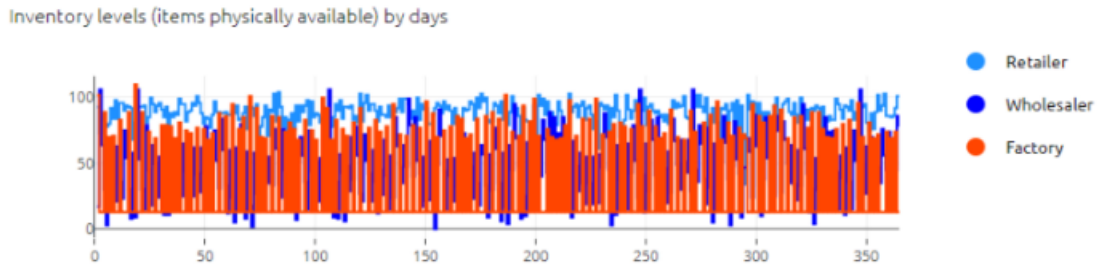


Figura 4.3 – Livelli di inventario ottenuti dopo la simulazione della rete blockchain

(Articolo: *Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain—A Case Study*)

Un confronto tra le Figure rende evidente che c'è meno ritardo nell'aggiornamento dell'inventario per tutti i partner della catena di approvvigionamento dopo l'implementazione della blockchain, segno di una migliore comunicazione e tracciabilità.

Sono state poi effettuate ulteriori simulazioni per analizzare i diversi costi associati all'inventario, in particolare: costi di ordine, detenzione e stoccaggio associati rispettivamente al dettagliante, grossista e fabbrica. Nella figura 4.4 vengono mostrati il tempo medio di attesa e il costo giornaliero totale della supply chain prima dell'applicazione della blockchain mentre la Figura 4.5 mostra il risultato della simulazione dopo l'integrazione di blockchain

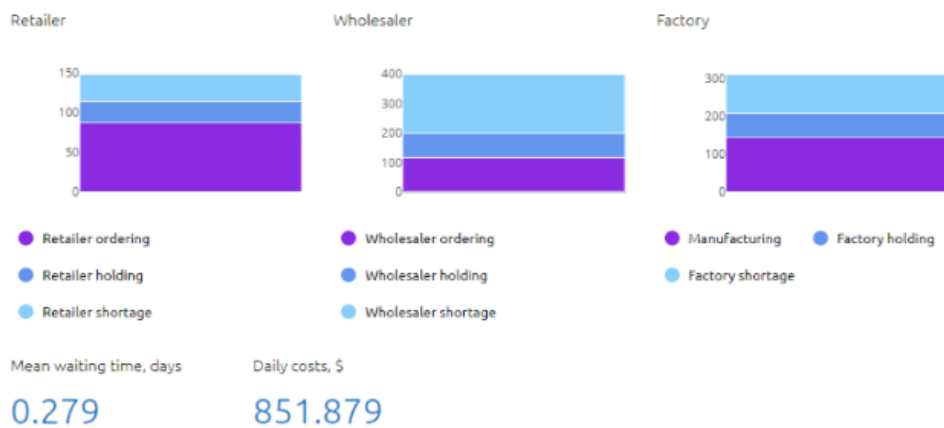


Figura 4.4 - Panoramica dei costi operativi giornalieri e tempo di attesa medio prima dell'implementazione della blockchain

(Articolo: *Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain—A Case Study*)

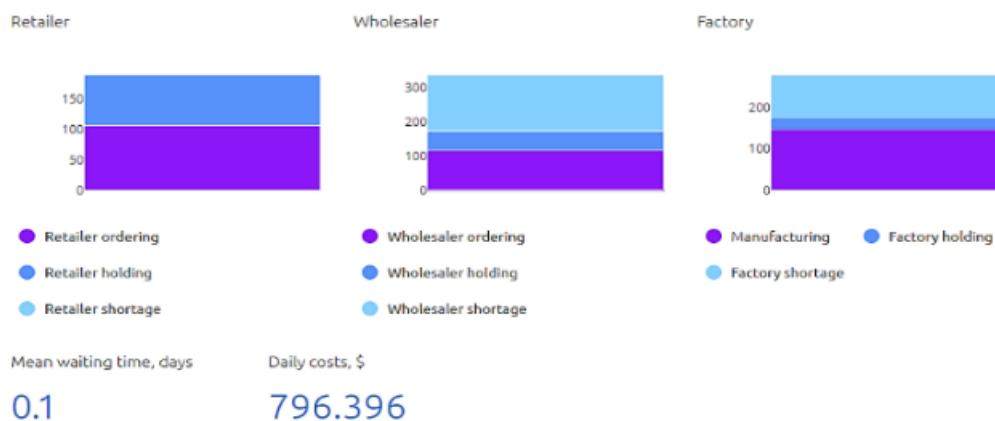


Figura 4.5 - Panoramica dei costi operativi giornalieri e tempo di attesa medio dopo l'implementazione della blockchain

(Articolo: Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain—A Case Study)

Si può dedurre dal confronto delle figure che il costo di stoccaggio per il rivenditore è drasticamente diminuito; tuttavia, i costi di mantenimento sono aumentati. Inoltre, i costi di holding per la fabbrica e per il grossista sono diminuiti in modo significativo. Il tempo di attesa medio è diminuito da 0,279 a 0,1 giorni (riduzione del 61,29%) e i costi giornalieri sono diminuiti da 851,87 \$ a 796,39 \$ (riduzione del 6%).

Pertanto, l'integrazione della rete con blockchain migliora la tracciabilità degli articoli e riduce i tempi di attesa, migliorando così l'efficienza operativa della catena di approvvigionamento. Tutte le informazioni vengono archiviate in un registro digitale immutabile e decentralizzato caratterizzato da diversi livelli di accesso per diverse parti. Se implementata su scala globale, questa rete ha il potenziale per migliorare le operazioni complessive delle diverse supply chain dell'industria automotive.

L'implementazione della blockchain può potenzialmente superare i problemi affrontati dall'industria automobilistica, come i problemi di tracciabilità nei vari nodi della filiera. Il consenso tra più parti viene mantenuto attraverso gli smart contracts che aiutano a fornire le informazioni richieste. Inoltre, sempre grazie agli smart contracts sono consentiti i pagamenti solo quando entrambe le parti sono soddisfatte e il rischio di frode è mitigato dall'utilizzo dei nodi per il controllo dello stato di consegna.

4.2 Sostenibilità della Supply Chain – Caso studio

Dal cambiamento climatico alla perdita di biodiversità, dagli impatti sulla salute umana all'impatto sugli ecosistemi e sulle risorse, l'attività industriale è stata riconosciuta come uno dei principali motori del nostro impatto sull'ambiente. Pertanto, le imprese industriali oggi avvertono la necessità di allinearsi a diversi e ambiziosi obiettivi di sostenibilità fissati per far fronte all'emergenza ambientale alla quale è confrontata l'umanità. Vi è da far fronte sia all'inasprimento delle normative ambientali sia all'aumento delle aspettative dei consumatori sulla sostenibilità dei prodotti che acquistano.

L'impatto delle attività della supply chain rappresenta circa il 90% dell'intero impatto ambientale delle aziende di manifatturiera. Pertanto, per migliorare la sostenibilità della filiera (Sustainable Supply Chain, SSC) e identificare la leva principale per una produzione sostenibile, è indispensabile raccogliere dati accurati e affidabili a monte della produzione. La sfida principale nella creazione di una SSC è la crescente complessità delle catene del valore globalizzate e la crescente frammentazione. La dispersione geografica delle catene del valore aumenta il rischio di vulnerabilità e rende estremamente complessa la tracciabilità dei prodotti, il tracciamento dei diversi eventi produttivi e la gestione del rischio. Secondo un'analisi fatta dall'UNECE¹⁹, solo il 34% dei prodotti di abbigliamento commercializzati nel mondo possiede una tracciabilità e, tra questi, solo il 6% ha una tracciabilità totale che risale lungo l'intera catena del valore. Questa complessità impedisce anche la misurazione e la gestione dell'impatto ambientale nelle diverse fasi della produzione (*Carrières et al., 2022*).

Come discusso nel Capitolo 3 il metodo più comune utilizzato per valutare l'impatto ambientale dei prodotti industriali lungo la supply chain è l'analisi LCA che tiene conto dei dati sulle emissioni e sul consumo di risorse da parte di tutte le attività coinvolte nel ciclo di vita di un prodotto e li sintetizza in indicatori ambientali significativi come ad esempio il cambiamento climatico, la qualità dell'ecosistema, la salute della popolazione umana e l'esaurimento delle risorse. Tuttavia, è richiesta una grande quantità di dati di produzione specifici e affidabili per modellare adeguatamente tutti gli input e gli output di un sistema industriale nelle varie fasi di produzione.

La globalizzazione e l'aumento di complessità delle supply chain dei settori industriali ha fatto sì che i dati sul ciclo di vita dei prodotti siano spesso sparsi, manchino di trasparenza o semplicemente non siano resi disponibili. Circa l'80% del tempo e delle risorse assegnate ai progetti LCA viene speso in raccolta dei dati.

La mancanza di accessibilità e affidabilità dei dati in tutte le catene di approvvigionamento ha recentemente incoraggiato le aziende industriali a investire in sistemi di tracciabilità in modo tale da migliorare la visibilità. Le principali caratteristiche della blockchain, tra cui trasparenza, immutabilità e sicurezza, l'hanno resa una delle principali tecnologie per la realizzazione di sistemi robusti e decentralizzati di tracciabilità dei prodotti. Utilizzata e sperimentata dalle aziende per monitorare la qualità, la sicurezza e l'autenticità dei propri prodotti, la tracciabilità blockchain è stata messa in pratica anche per monitorare la sostenibilità ambientale supportando gli inventari del ciclo di vita nell'analisi LCA.

¹⁹ UNECE: United Nations Economic Commission for Europe

Le caratteristiche decentralizzate dei sistemi di tracciabilità blockchain potrebbero rispondere ai problemi di raccolta dei dati in LCA e quindi contribuire a rendere la valutazione d'impatto più rappresentativa delle varie pratiche industriali.

4.2.1 Caso Studio: applicazione della Blockchain a supporto dell'analisi LCA per prodotti tessili

Il caso studio proposto nel presente paragrafo ha come scopo quello di valutare come i dati di tracciabilità blockchain permettano di migliorare il Life Cycle Assessment dei prodotti tessili e lo scopo di misurare il valore effettivo dello sfruttamento di questi dati di tracciabilità specifici.

Il progetto in esame è stato condotto dalla collaborazione di due società: Crystalchain, che è un'azienda esperta nella tracciabilità di prodotti industriali mediante la rete blockchain, che sviluppa e implementa una piattaforma di tracciabilità blockchain collegata a strumenti di visualizzazione e gestione delle attività per i propri clienti industriali. Crystalchain si basa sulla tecnologia di Ethereum utilizzando una piattaforma blockchain permissioned privata con consenso PoA, e ciò permette di abbassare notevolmente il consumo energetico complessivo rispetto ad altre blockchain, come spiegato paragrafo 1.4.1 del Capitolo 1. La seconda società è Chargeurs Luxury Materials (CLM), leader mondiale nella lavorazione della lana ed ha fornito i dati di produzione specifici necessari per eseguire l'analisi LCA

L'obiettivo era quello di valutare l'impatto ambientale della fabbricazione di lotti di lana pettinata e per misurare il contributo dei dati di tracciabilità blockchain alla realizzazione dell'analisi, il progetto è stato condotto in due fasi: è stata condotta una prima analisi LCA secondo gli standard ISO 14040 modellata utilizzando i dati generici del database Ecoinvent e i dati primari di base della società CLW stessa. In una seconda fase è stata eseguita un'analisi LCA con dati di produzione specifici forniti dalla piattaforma di tracciabilità Blockchain.

4.2.2 Modelli di analisi LCA: generico e specifico

Il focus dell'analisi era sullo stabilimento di pettinatura di proprietà di CLM in Cina con fornitura di lana da proveniente da tre aziende agricole a monte della catena: due fornitori in Australia e uno in Nuova Zelanda. Le caratteristiche e modalità di produzione delle tre aziende agricole in questione sono riportate nella Tabella 4:

	<i>Farm 1</i>	<i>Farm 2</i>	<i>Farm 3</i>
<i>Tipologia di agricoltura</i>	<u>Convenzionale Media</u>	<u>Convenzionale Intensiva</u>	<u>Organica Estensiva</u>
<i>Location</i>	Nuova Zelanda	Australia	Australia
<i>Stock Rate</i>	1.2 pecore/ettaro	12 pecore/ettaro	0.1 pecore/ettaro
<i>Produzione cotone</i>	67 t/annue	47.5 t/annue	28.5 t/annue
<i>Energia usata per pecora</i>	Bassa	Media	Elevata
<i>Acqua usata per pecora</i>	Bassa	Media	Elevata

<i>Impiego fertilizzanti</i>	Basso	Elevato	-
<i>Impiego pesticidi</i>	Basso	Medio	-
<i>Impiego tratt. Chimici</i>	Basso	Medio	-

Tabella 4 – Caratteristiche e modalità di produzione dei tre fornitori di CLM

Due fonti principali di dati vengono utilizzate:

- dati di fabbrica raccolti dalla società industriale CLM
- La piattaforma di tracciabilità basata su blockchain di Crystalchain

Il modello di analisi LCA viene strutturato in tre fasi principali del ciclo della lana: produzione di lana da allevamento, trasporto e lavorazione in pettinatura. L'unità funzionale analizzata è 1 Kg di lana pettinata ottenuta a fine lavorazione. La lana grassa viene prodotta nelle tre diverse aziende e trasportata nella fase di pettinatura. In seguito, a seconda delle esigenze specifiche del cliente, la lana può essere lavorata tramite un processo di super lavaggio, tramite un processo di ri-pettinatura oppure direttamente imballato per essere spedita alle successive fasi di trasformazione.

Nella seguente figura è possibile osservare il modello generico LCA realizzato per l'analisi del flusso di produzione:

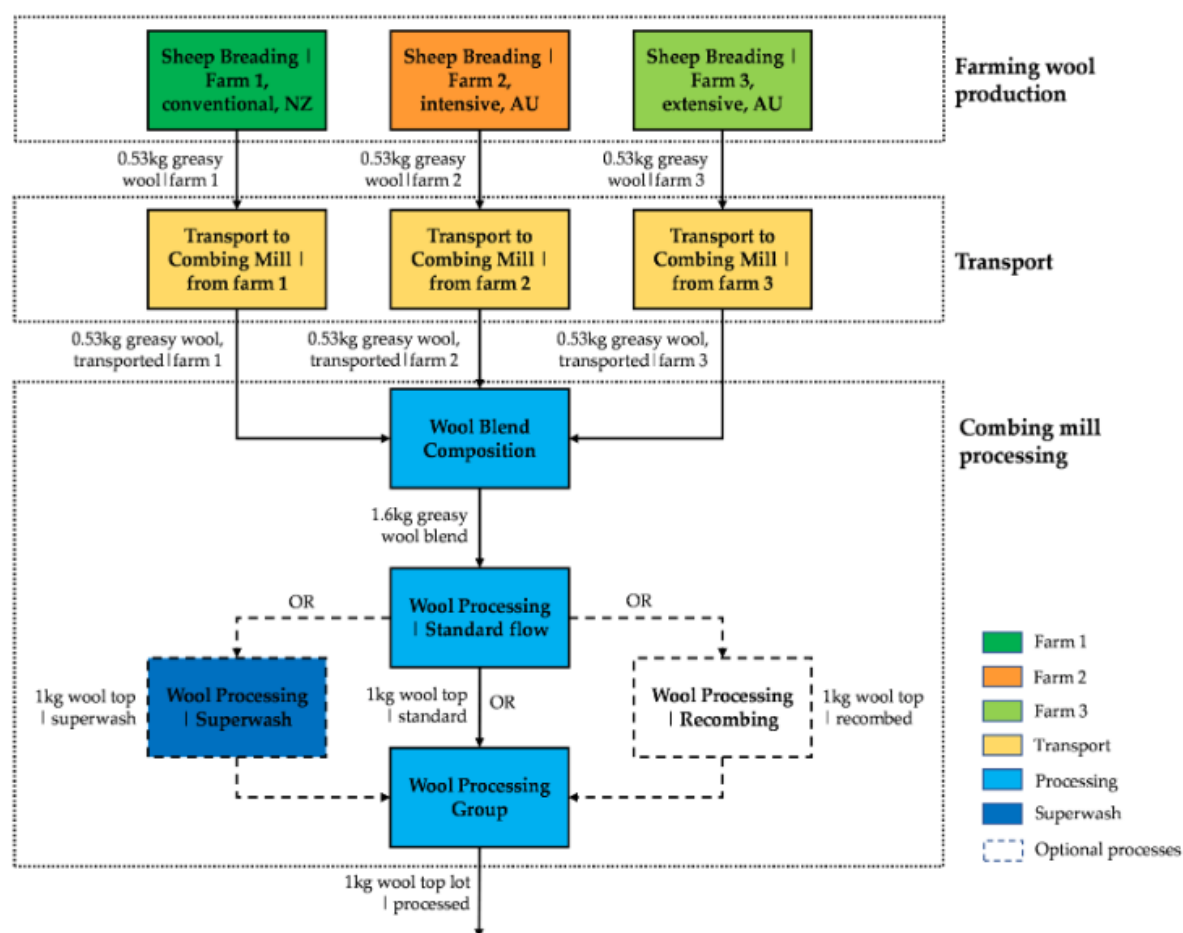


Figura 4.6 – Modello LCA strutturato nelle tre fasi principali del ciclo di vita della lana: produzione in allevamento, trasporto e lavorazione in pettinatura

(Articolo: Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products)

Il modello generico LCA può essere rielaborato, adattato e perfezionato in un modello specifico LCA, e questo viene ottenuto integrando la tracciabilità della blockchain dove vengono forniti dati specifici quali, volumi di produzione, energia e acqua consumata, sostanze chimiche utilizzate, rifiuti generati, imballaggi utilizzati acquisti di materie prime ed emissioni dirette generate.

Il processo di conduzione dell'analisi specifica LCA coinvolge il partner industriale, l'esperto in analisi LCA e l'esperto in tracciabilità e avviene nei seguenti step:

1. Analisi del tipo di dati raccolti e modellazione dei processi
2. In funzione del tipo di dati si effettua uno dei seguenti step:
 - Dati specifici: creazione di un processo LCA specifico partendo da zero
 - Dati semi-specifici: adattamento del processo LCA generico
 - Dati mancanti: creazione di un processo generico basato sui dati della letteratura
3. Bozza del modello ipotetico creato: viene creato un documento in cui viene giustificato il modello LCA ipotetico realizzato
4. Revisione del modello ipotetico
5. Creazione di collegamenti tra i processi basati sulla catena di tracciabilità: viene creato un documento che la modellazione del flusso della catena di tracciabilità
6. Finalizzazione e controllo del modello LCA
7. Lancio di un calcolo LCA statico e visualizzazione dei risultati: in funzione della coerenza dei risultati si hanno due possibilità:
 - Coerenza dei risultati: validazione del processo LCA basato sulla blockchain
 - Risultati non coerenti: valutazione degli errori nella modellazione dei processi e ri-esecuzione dell'intera procedura
8. Nel caso in cui il modello basato sulla blockchain venga validato, si giunge alla fine del processo, altrimenti si effettuano ulteriori step:
9. Utilizzo dei risultati del calcolo LCA statico: creazione del report dei risultati
10. Revisione dei risultati e verifica del fatto che siano o meno di interesse per l'analisi LCA basata sulla BC:
 - Se sono di interesse, fine del processo
 - Altrimenti, singola valutazione dell'impatto ambientale associato al prodotto

I risultati di questa LCA specifica sono stati confrontati con quelli della LCA generica per quantificare il contributo di un approccio integrato di calcolo della tracciabilità LCA-blockchain. La figura 4.7 rappresenta la schematizzazione dei vari step per la realizzazione del modello LCA specifico:

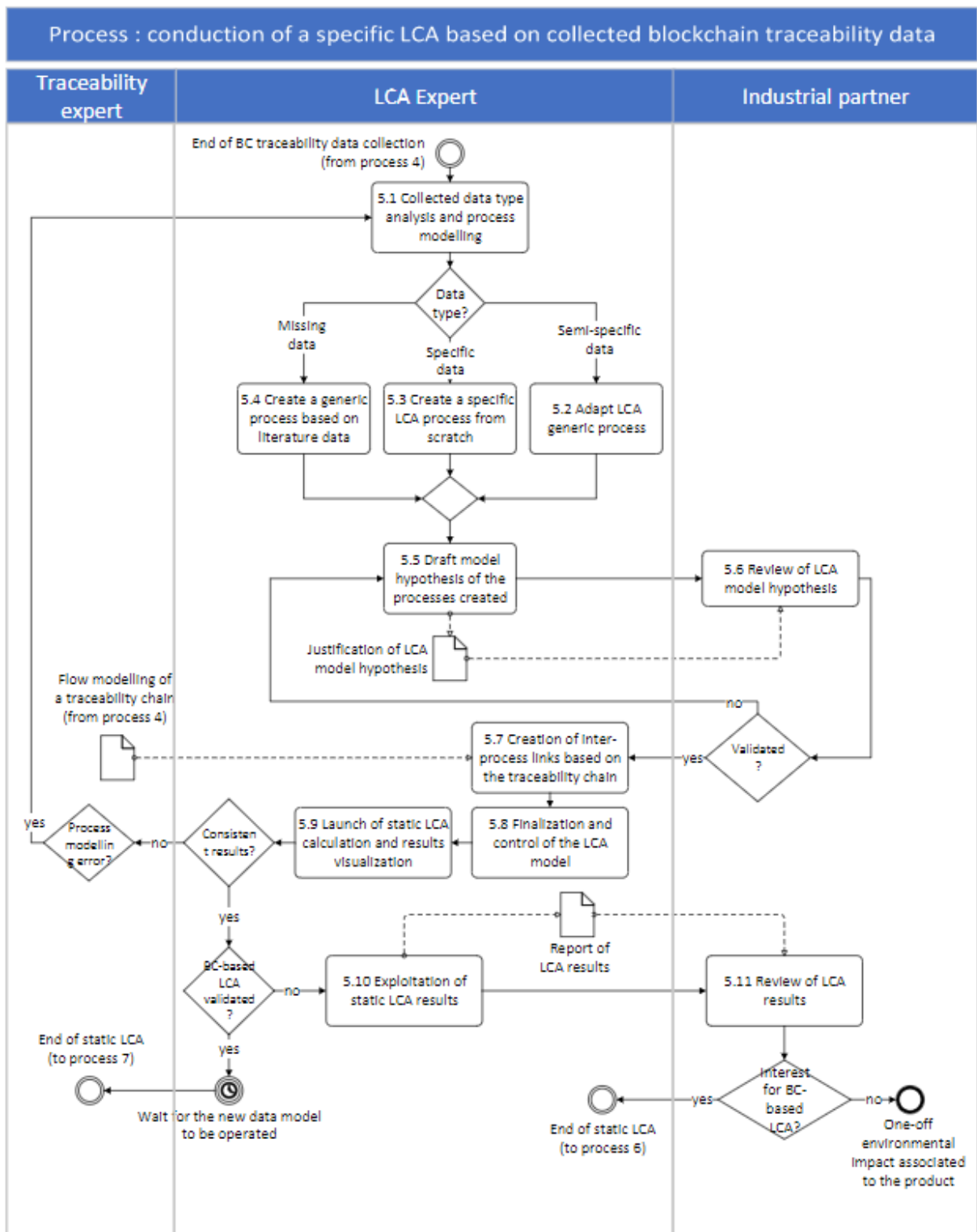


Figura 4.7 – Schematizzazione del processo di analisi LCA specifico

(Articolo: Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products)

4.2.3 Analisi dei risultati

Viene proposto il confronto risultati tra modelli di analisi LCA generica e specifica:

Per realizzare il confronto è stata utilizzata la metodologia di valutazione dell'impatto ReCiPe con l'unità funzionale di 1 kg di lana pettinata valutata nelle diverse fasi del processo: produzione di lana da allevamento, trasporto e lavorazione in pettinatura. Tale metodologia definisce tre macrocategorie che sono qualità dell'ecosistema, salute umana e risorse che a loro volta sono suddivise seguenti aree di impatto ambientale:

- Cambiamento climatico e qualità dell'ecosistema (CC, EQ)
- Acidificazione terrestre (TA)
- Esaurimento dell'acqua e qualità dell'ecosistema (WD, EQ)
- Cambiamento climatico e salute umana (CC, HH)
- Tossicità per gli umani (HT)
- Formazione di particolato (PMT)
- Esaurimento dell'acqua e salute umana (WD, HH)
- Esaurimento delle risorse fossili (FRD)
- Esaurimento delle risorse minerali (MRD)

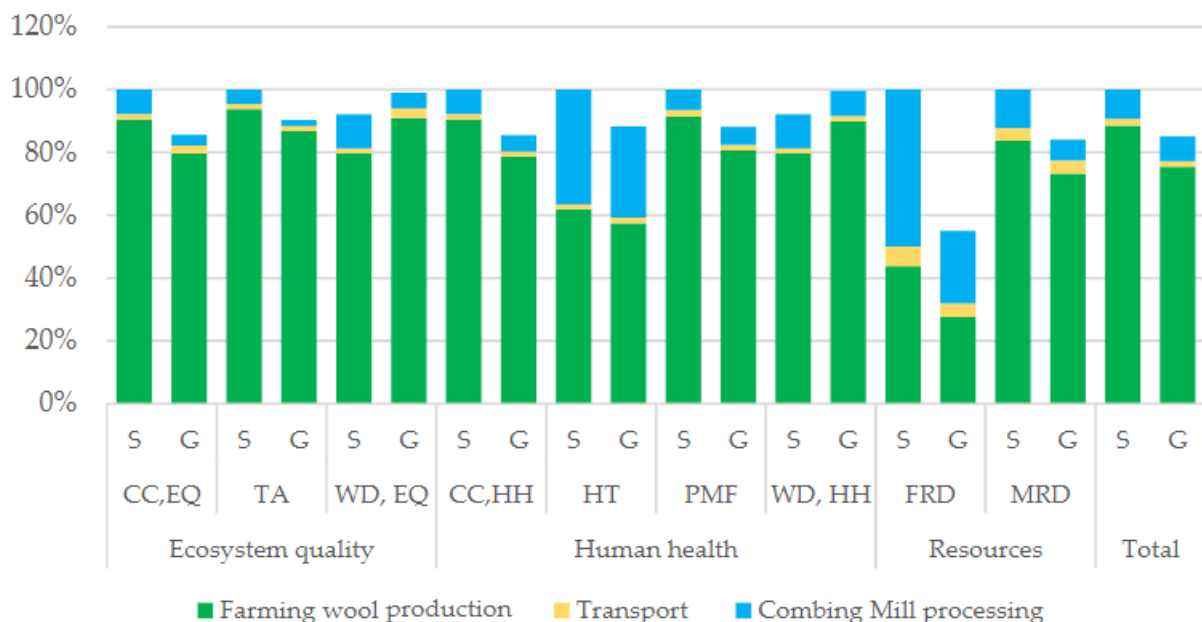


Figura 4.8 – Analisi del contributo di impatto tra LCA basate su dati specifici (S) e generici (G)

(Articolo: Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products)

La colonna *Total* della Figura indica la differenza relativa tra LCA generico e specifico ottenuto aggregando tutti gli indicatori di impatto in un unico punteggio utilizzando i fattori di ponderazione gerarchici di ReCiPe (40% Salute umana, 40% Qualità dell’ecosistema e 20% risorse). La differenza che si osserva nei punteggi di impatto per le diverse categorie tra i due modelli LCA può essere spiegata nel seguente modo:

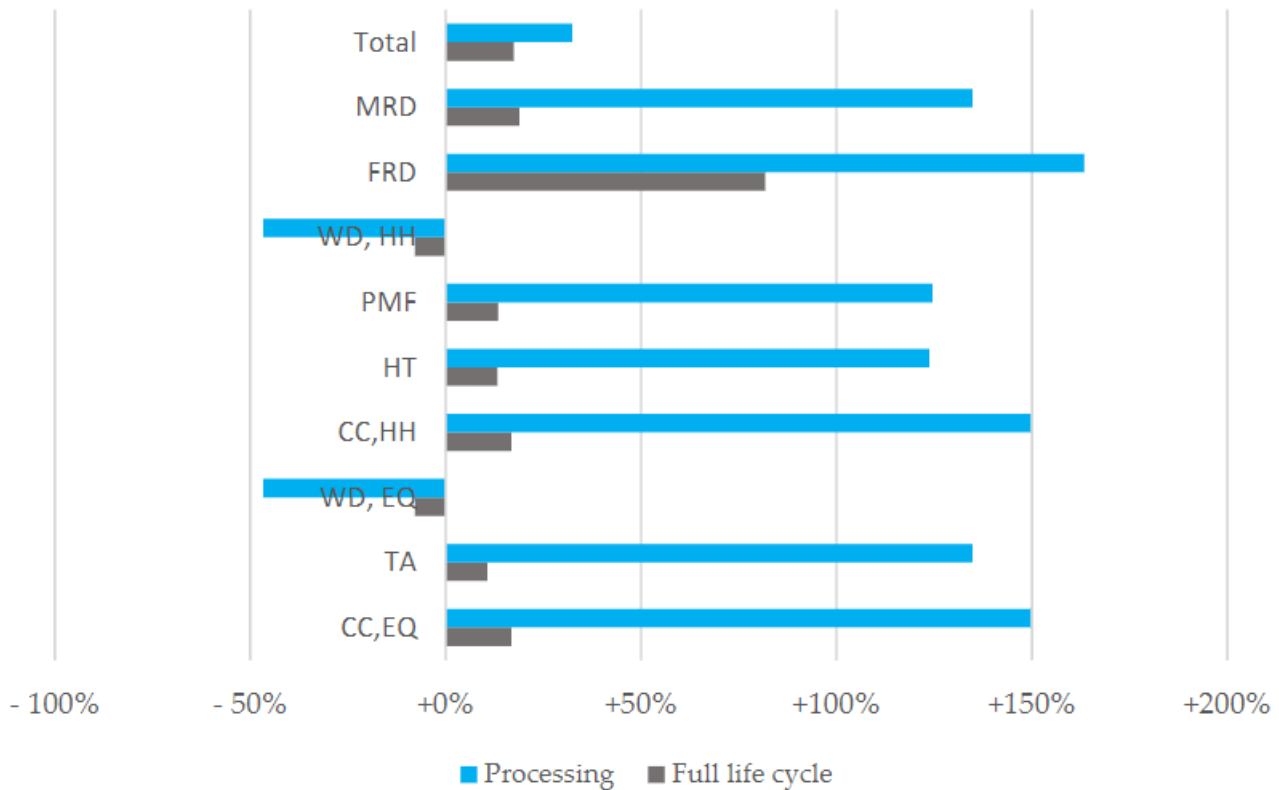
- In primo luogo, la fornitura di dati specifici per la fase di lavorazione in pettinatura consente di specificare in modo più rappresentativo l’energia e le specifiche sostanze chimiche e imballaggi utilizzati nel processo dalla società CLM
- Inoltre, i dati specifici forniscono tassi di perdita di lana più accurati durante la fase di lavorazione della pettinatura. Vengono segnalate perdite durante i lavaggi, con le masse di sostanza organica, e la lanolina eliminata è contabilizzata nella massa di lana grassa in ingresso. Inoltre, si registrano perdite aggiuntive dovute a fibre troppo corte e a causa dei diversi scarti di lana.
- Dai dati di tracciabilità sui volumi di produzione annui si potrebbe stimare un rendimento di 0,7 nella lavorazione di pettinatura, che differisce dal rendimento di 0,85 inizialmente determinata dalla LCA generica. Queste differenze di rendimento modificano proporzionalmente l’impatto ambientale, poiché minore è il rendimento e più lana grassa deve essere acquistata per produrre 1 kg di lana pettinata.

Per una miglior comprensione del gap tra LCA generico e specifico viene definito un tasso di variabilità:

$$\tau_{var} = 100 * \frac{Score_{specifique} - Score_{generique}}{Score_{generique}}$$

Permette di misurare la differenza proporzionale del dato specifico dal dato generico per ogni categoria di impatto.

La figura 4.9 riporta il tasso di variabilità calcolato per ogni categoria e tra i dati più salienti si osserva che la variabilità dei punteggi di impatto per la fase del ciclo di vita del processo di pettinatura aumenta del 36% se fornita dai dati di tracciabilità e del 20% complessivamente se si tiene conto dell’intero ciclo di vita (produzione di lana in allevamento, trasporto e lavorazione in pettinatura). Nella categoria di impatto del cambiamento climatico, la variazione è fino a +150% all’interno della fase del ciclo di vita del processo di pettinatura (*Carrières et al., 2022*).



*Figura 4.9 – tasso di variabilità per le singole aree di impatto tra modelli LCA generico e LCA specifico
(Articolo: Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products)*

4.2.4 Osservazioni sui risultati ottenuti

L'analisi del caso studio in esame consente di dare tre affermazioni sulla produzione di lana pettinata:

1. I dati specifici forniti dai sistemi di tracciabilità blockchain consentono di caratterizzare l'impatto dei lotti di lana in modo molto più granulare e rappresentativo rispetto ai dati generici, in quanto tali dati non forniscono una comprensione sufficiente degli impatti in gioco in un sistema produttivo, poiché la specificità dei dati porta ad un aumento quasi sistematico dell'impatto sui diversi indicatori. Pertanto, dati di tracciabilità specifici forniscono un quadro più accurato sull'impatto della produzione.
2. I sistemi di tracciabilità blockchain sono rilevanti per il calcolo dell'LCA solo se implementati nel processo di produzione agricola a monte, che è la fase più importante del ciclo di vita per l'impatto ambientale della pettinatura dei lotti di lana.
3. L'impatto dei lotti di lana pettinata dipende fortemente dall'origine delle materie prime nel lotto e dai processi di trasformazione facoltativi seguiti. Queste informazioni possono essere fornite in modo differenziato per ogni lotto dalle piattaforme di tracciabilità blockchain

Si può quindi sostenere che la tracciabilità blockchain faciliti la creazione di inventari LCA e consenta di associare ogni catena di tracciabilità, e quindi ogni lotto di prodotto, ad un impatto ambientale unico.

Inoltre, se si considera che sarà legalmente obbligatorio comunicare una classificazione ABCDE che rappresenti l'impatto ambientale dei propri prodotti tessili, la tracciabilità blockchain potrebbe essere un facilitatore per la valutazione della conformità degli attori industriali di questo punto di vista, fornendo un supporto per migliorare l'impatto ambientale dei nuovi prodotti.

Il caso in esame mirava a valutare come la tracciabilità blockchain potesse migliorare la validità dei risultati LCA dei prodotti tessili migliorando la raccolta di dati primari e quantificando questo potenziale di miglioramento rispetto a un modello LCA generico. Dai risultati ottenuti è possibile concludere che i dati di tracciabilità blockchain potrebbero fornire una migliore comprensione e caratterizzazione degli impatti di un prodotto per lotto unitario. Questa maggiore comprensione permetterebbe di migliorare la sostenibilità ambientale della supply chain, guidare l'eco-design del prodotto e aumentare la trasparenza sull'impatto del ciclo di vita del prodotto per il cliente finale.

Capitolo 5 – Conclusione

La potenziale applicazione della tecnologia blockchain può essere fondamentale impiegata in tutti i settori in cui siano richieste sicurezza, trasparenza e fiducia nei dati.

Sebbene la tecnologia offra numerosi vantaggi agli utenti, non ha ancora sperimentato un livello di adozione elevato a causa di varie sfide e limitazioni, tra le quali principalmente abbiamo, scalabilità, elevata energia e potenza di calcolo impiegate, limiti di capacità, latenza, costi di installazione elevati e mancanza di standardizzazione.

Ad esempio, i protocolli di consenso utilizzati per mantenere l'integrità della blockchain devono essere eseguiti ogni volta per aggiungere nuovi blocchi. Tuttavia, con i nuovi blocchi aggiunti continuamente alla catena, questa diventa più grande, consumando più energia e richiedendo maggiore potenza di calcolo. Rendendo estremamente difficile l'integrazione della tecnologia con dispositivi IoT a bassa potenza e le aziende potrebbero incontrare problematiche significative nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. L'aumento della potenza di calcolo richiesta può anche portare a tempi di elaborazione più lunghi che rendono inefficiente il sistema.

La problematica della scalabilità è dovuta al fatto che per mantenere le caratteristiche principali della decentralizzazione, sono necessari molti nodi partecipanti specialmente in una blockchain pubblica. Come affrontato nel Capitolo 3 all'interno della blockchain, la capacità si riferisce alla velocità con cui vengono elaborate le transazioni, in altre parole, può essere definito come il numero di transazioni al secondo. Secondo uno stress test condotto nel 2014, la rete VISA ha la capacità di gestire 56.582 transazioni al secondo nei suoi momenti di picco massimo (sebbene in media gestisce circa 2000 transazioni al secondo), mentre la rete Bitcoin impiega circa 10 minuti per confermare una transazione e può gestire solo da tre a sette transazioni al secondo, il che rende evidente il problema della scalabilità e della capacità della rete.

Per latenza che è anche indicata come tempo di blocco, ci si riferisce al tempo impiegato per generare il prossimo blocco di transazione da aggiungere alla catena e la latenza attuale è di circa 10 minuti, che è molto più alta rispetto ai sistemi tradizionali. Avere più blocchi di conferma nella rete aggrava ulteriormente il problema. La presenza di un gran numero di nodi, ognuno diffuso in tutto il mondo con diverse capacità di networking e computazionali in una blockchain pubblica, aumenta la latenza in quanto ogni nodo richiede l'accesso alla blockchain per raggiungere il consenso. Poiché un nodo completo ha un'intera copia della blockchain, richiede un enorme contributo all'hardware, al software e all'intera infrastruttura di rete.

La bassa velocità di elaborazione delle transazioni e l'elevata latenza sono problemi comunemente segnalati nell'implementazione di dispositivi IoT su blockchain da integrare alla supply chain.

Una nozione comune usata per denotare le sfide associate a tutte le reti decentralizzate è chiamato il trilemma della Blockchain. Secondo il teorema di coerenza, disponibilità e tolleranza della partizione (CAP), una rete decentralizzata può ottenere solo due dei vantaggi tra decentralizzazione, sicurezza e scalabilità in un dato momento, compromettendo il terzo. Pertanto, ottenere la scalabilità senza compromettere la decentralizzazione o la sicurezza è estremamente difficile e allo stesso modo, raggiungere insieme sicurezza e scalabilità è un problema, poiché si oppongono l'una all'altra. Poiché la sicurezza e la decentralizzazione non possono essere compromesse, la scalabilità è spesso vista come il rischio più elevato per la crescita della tecnologia blockchain. Alcuni studiosi ritengono che nei progetti futuri tutti e tre i vantaggi possano essere raggiunti senza compromessi. La figura 5.1 rappresenta in maniera grafica il conetto del trilemma della blockchain:

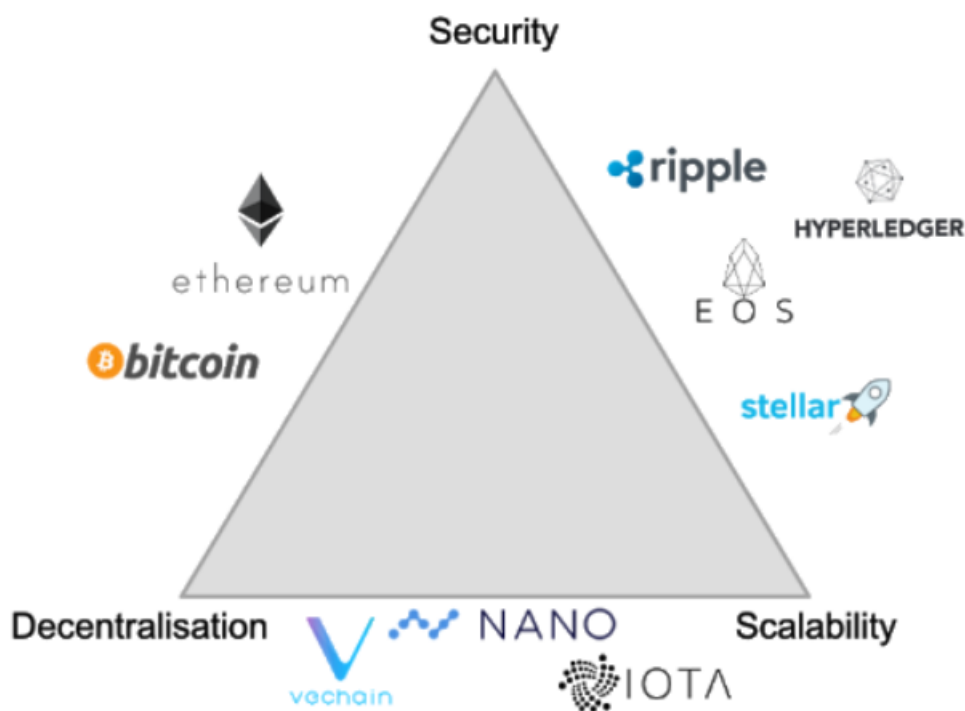


Figura 5.1 – Il trilemma della blockchain

(Sito: BingxBlog, *The Blockchain Trilemma – The Imperfection of Cryptocurrencies*)

La maggior parte delle sfide discusse riguarda il caso della blockchain pubblica, di conseguenza, possono essere affrontate tramite l'implementazione della blockchain privata adatta per applicazioni industriali come la gestione della supply chain e la logistica. Questo, tuttavia, comporta che il costo necessario per la creazione di una rete blockchain privata per l'intera catena di approvvigionamento diventi elevato e oneroso in termini di gestione. Per affrontare tale sfida, alcuni fornitori di servizi informatici come IBM hanno sviluppato una rete blockchain basata su cloud come servizio per una facile implementazione, che può ridurre in una certa misura i costi di installazione con ogni fornitore di servizi che sviluppa i propri protocolli e le proprie architetture blockchain.

5.1 Progetti e sviluppi futuri della Blockchain

A differenza di altri settori, le sfide di una supply chain sono uniche, a causa della rete complessa e multilivello, che coinvolge più soggetti che operano da diverse parti del mondo con diversi standard etici e di conformità. Pertanto, la sfida unica di riunire l'intera catena di approvvigionamento sotto lo stesso tetto richiede una tecnologia unica come la blockchain in grado di fornire un livello elevato di tracciabilità, trasparenza, immutabilità e sicurezza dei dati.

Tuttavia, quando si tratta di aziende che adottano una nuova tecnologia, la prima e più importante domanda che viene posta è: "Tale tecnologia può aggiungere valore alla catena di approvvigionamento e migliorare la redditività?" La risposta nel caso della blockchain è "sì" e le tre potenziali aree in cui può aggiungere valore sono le seguenti:

- Migliorare la velocità e ridurre i processi manuali nelle pratiche attuali, in particolare tra i fornitori che si trovano al livello più basso della supply chain che spesso passano inosservati o sono difficili da rintracciare.
- Migliorare la tracciabilità e la provenienza dell'intera supply chain per mitigare i costi derivanti dall'utilizzo di componenti di qualità inferiore, contraffatti o provenienti da mercati non regolamentati, semplificare la logistica inversa, fornire supporto all'economia circolare e aderire a parametri di conformità ed etica.
- Fornire informazioni trasparenti, affidabili e sicure a tutti i partecipanti alla catena di fornitura in tempo reale, eliminando errori nei registri di inventario, spedizioni mancanti o pagamenti duplicati.

Le ricerche mostrano chiaramente che la blockchain non è solo un'altra tecnologia che svanirà una volta che il *buzz* intorno alla tecnologia digitale si sarà calmata, ma i suoi enormi vantaggi mostrano chiaramente che si tratta di una tecnologia che rimarrà nel tempo. Anche se non c'è dubbio sui numerosi vantaggi apportati da essa, potrebbe volerci del tempo per affinché si evolva per affrontare varie sfide del mondo reale e mostrare proposte di valore significative prima di ricevere l'accettazione a livello globale.

Quello che segue è il riepilogo delle principali sfide e delle problematiche future da affrontare della tecnologia blockchain:

- Attualmente, non tutti i partner commerciali sono partecipanti alla blockchain. Estendere la rete a tutti i partner della catena di approvvigionamento sarebbe costoso, consumerebbe più energia e richiederebbe un'enorme potenza di rete e di calcolo.
- Poiché l'interoperabilità tra due reti diverse è un ostacolo la selezione di una specifica tecnologia blockchain vincola gli utenti ad essa. Ad esempio, l'interoperabilità blockchain attualmente funziona per le diverse blockchain della stessa rete, ma tra reti diverse (chiamate anche interoperabilità cross-chain o cross-blockchain).
- Ridurre le dimensioni della blockchain senza perdere informazioni, l'ottimizzazione della dimensione del blocco, il raggiungimento una blockchain leggera per ridurre la latenza delle transazioni e la potenza di calcolo, un nuovo standard per rappresentare le transazioni in un blocco e nuove regole di governo per soddisfare le esigenze industriali, rappresentano alcuni potenziali studi futuri.

- L'integrazione di dispositivi abilitati all'IoT con blockchain privata potrebbe aprire le porte di nuove possibilità se i problemi di scalabilità e costi vengono affrontati poiché ogni dispositivo IoT genera una gran quantità di dati in breve tempo.
- I contratti digitali abilitati alla blockchain eseguibili automaticamente ovvero gli smart contracts, hanno il potenziale per diventare il futuro di tutte le transazioni digitali fornendo transazioni sicure e trasparenti.
- Un incremento nel numero di nodi partecipanti comporta sfide quali scalabilità, latenza, capacità della rete, privacy dei dati, costi e consumi energetici elevati. Quindi, una blockchain privata è adatta per attività multi-organizzative come supply chain e logistica. Tuttavia, le ricerche sulla blockchain ibrida, una fusione di una blockchain pubblica e privata che fornisce flessibilità sulla visibilità dei dati senza compromettere la sicurezza, mostrano un potenziale immenso.

5.2 Implicazioni manageriali e step implementativi per progetti Blockchain

All'interno di una supply chain ogni organizzazione che ne fa parte si caratterizza per livello di partenza, ed essere consapevoli di tale livello di partenza è essenziale per lo sviluppo di strategie di digitalizzazione e implementazione di progetti. Tali livelli di partenza vengono definiti come stadi di maturità dei partner della supply chain:

- *Novizio digitale*: si tratta di aziende che devono ancora intraprendere progetti di digitalizzazione. I loro processi all'interno della catena di approvvigionamento rimangono discreti, svolti dai singoli dipartimenti e unità aziendali
- *Integrato verticalmente*: in questa fase le aziende integrano i diversi processi della catena di approvvigionamento internamente, tra dipartimenti e tra le diverse funzioni aziendali.
- *Integrato orizzontalmente*: le aziende sono ad un livello in cui collaborano con i loro partner della supply chain per fissare obiettivi aziendali, definire ed eseguire processi comuni e raggiungere un giusto grado di trasparenza nella catena.
- *Campione digitale*: queste aziende hanno raggiunto il massimo livello di collaborazione con i partner e trasparenza nelle operazioni, sviluppando al contempo processi e tecniche analitiche reciprocamente vantaggiose per ottimizzare l'intera catena di approvvigionamento

I primi due fanno parte della fase di transizione mentre gli ultimi due fanno parte della fase di maturità. La chiave per diventare un campione digitale e sfruttare appieno i vantaggi della digitalizzazione della supply chain risiede nello sviluppo di un processo ordinato per l'implementazione e l'integrazione delle numerose tecnologie e risorse richieste.

Nel caso particolare della tecnologia blockchain, si hanno i seguenti step implementativi:

1. *Re-imagine*: vi è una vision strategica di come la Blockchain possa supportare un'opportunità di business, all'interno di uno specifico ambito applicativo. In questa fase, vi è lo sviluppo di un piano esecutivo per intraprendere un vero e proprio progetto innovativo. Se un'impresa o un consorzio d'aziende appartenenti ad un determinato settore, definiscono in autonomia la vision strategica nello step successivo (Proof of concept) potrebbe essere necessario il supporto di una società di consulenza tecnologica che supporti l'evoluzione del progetto d'implementazione fino al go-live.
2. *Proof of Concept*: piano progettuale definito e concreto per lo sviluppo di una soluzione Blockchain all'interno di una precisa area di business. Inoltre, in questo step implementativo, tendenzialmente le imprese (in accordo con società di consulenza tecnologica) sviluppano dei piani esecutivi per lo sviluppo di test di fattibilità;
3. *Pilot (Progetto pilota)*: studio approfondito di un reale caso applicativo, in cui si formalizzano i flussi informativi attraverso la creazione di assessment di progetto formali, in accordo tra azienda finanziatrice della soluzione Blockchain e l'azienda di consulenza tecnologica, e si effettuano i primi test di fattibilità;
4. *Scale (Progetto operativo)*: Implementazione end-to-end dell'applicazione Blockchain, in linea col piano di progetto definito negli stadi precedenti;
5. *Expand & Manage (Adozione di massa)*: Adozione della piattaforma da parte di un numero cospicuo di attori, ed espansione della soluzione Blockchain in altre aree applicative (alto grado di maturità della piattaforma).

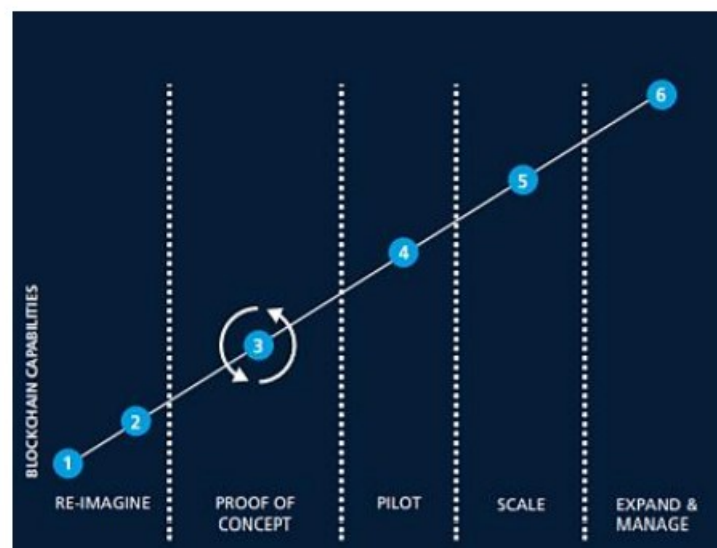


Figura 5.1 – Step implementativi di un progetto blockchain

(Articolo: *Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry*)

Bibliografia e Sitografia

Bellini M., 2021, *Blockchain: cos'è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia*, sito:
<https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-cosi-importante/>

Berneis M., Bartsch D., Winkler H., 2021 *Applications of Blockchain Technology in Logistics and Supply Chain Management—Insights from a Systematic Literature Review* Production and Operations Management, Brandenburg University of Technology, Academic Editor: Robert Handfield

Bertramm P., Schrauf S., 2016, *How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused*

Carrières V., Lemieux A, Margni M., Pellerin R e Cariou S., 2022, *Measuring the Value of Blockchain Traceability in Supporting LCA for Textile Products*, Academic Editor: Anna Mazzi

Chung G., Kuckelhaus M., 2021, *BLOCKCHAIN IN LOGISTICS: Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry*, DHL Customer Solutions & Innovation

Comandini Gian Luca, 2020, *Da Zero alla Luna: Quando, come e perché la Blockchain sta cambiando il mondo*, D. Flacovio Editore, Palermo

Hellani H., Sliman L., Samath Abed E., Exposito E., 2021, *On Blockchain Integration with Supply Chain: Overview on Data Transparency*, Academic Editor: Robert Handfield

Heutger M. e Kückelhaus M., 2018, *Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry*

Menon S., Shah S., *An Overview of Digitalisation in Conventional Supply Chain Management*, 2019, Institute of Management, University of Bolton, United Kingdom

Nesrin A., Ethirajan M., Kumar A., Vimal K., S. P. Nadeem, Kazancoglu Y., Kandasamy J., 2021, *Blockchain Technology for Enhancing Traceability and Efficiency in Automobile Supply Chain — A Case Study*, Academic Editors: Helena Carvalho e Ripon Kumar Chakraborty

Rajani S., Ashutosh D. e Gautam S., 2020, *Internet of Things Based Blockchain for Temperature Monitoring and Counterfeit Pharmaceutical Prevention*

Reghelin A., *Smart Contract e Blockchain: funzionamento, esempi e normativa*, 2019

Sito: https://blog.osservatori.net/it_it/smart-contract-in-blockchain?hsLang=it-it

Xuda L., Xin L., Kulkarni S., Zhao F., 2021, *The Application of Blockchain-Based Life Cycle Assessment on an Industrial Supply Chain*, Academic Editor: Alessio Ishizaka

Tijan E., Aksentijevi'c S., Ivani'c K. e Mladen J., 2019, *Blockchain Technology Implementation in Logistics*

Varriale V., Cammaranno A., Michelino F., Caputo M., 2021, *Sustainable Supply Chains with Blockchain, IoT and RFID: A Simulation on Order Management*, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Salerno

Vinelli A., Danese P., Romano, *Gestione delle Operations e dei Processi*, 2013, Pearson Italia, Milano - Torino